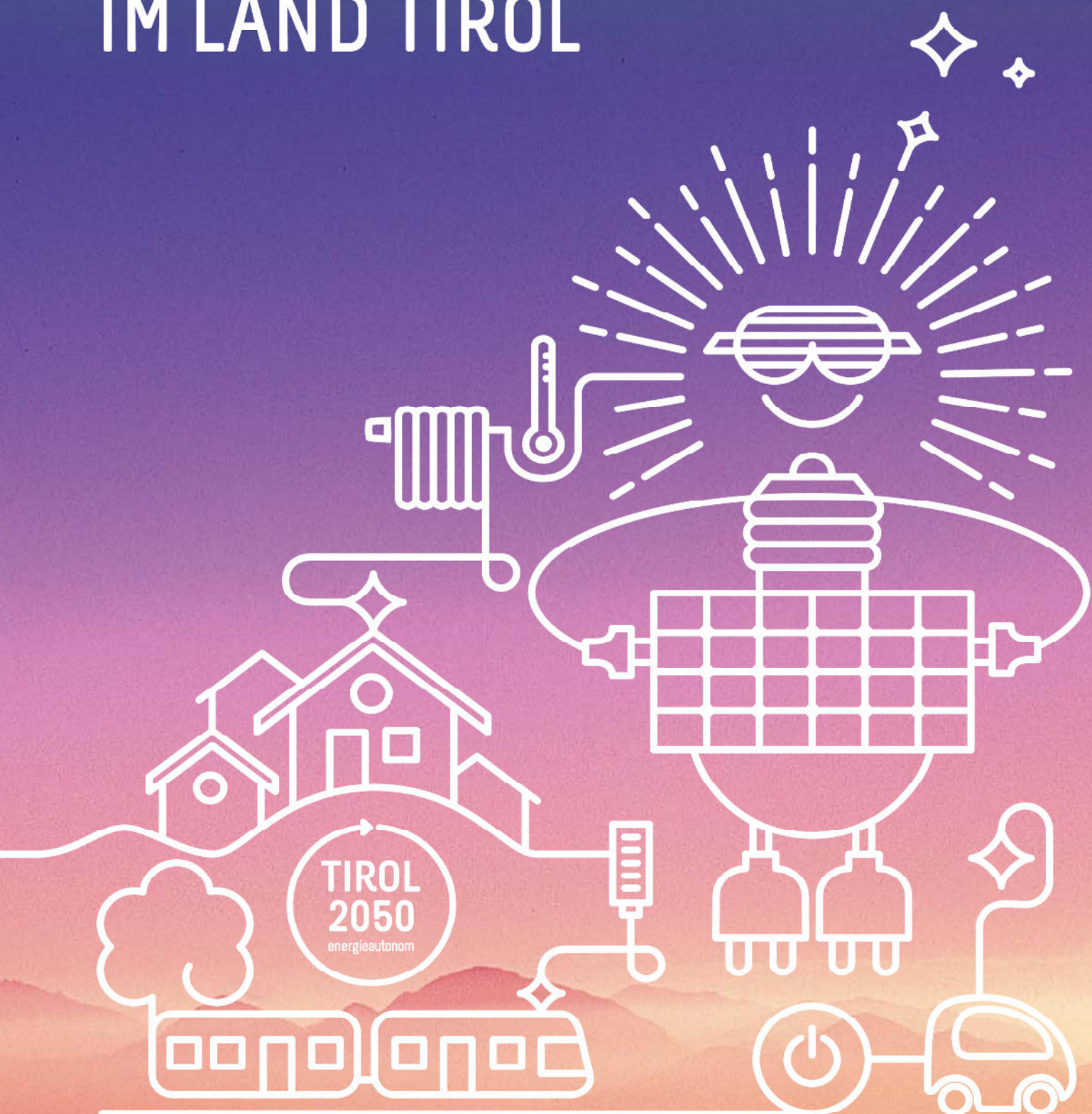


# SOLARPOTENZIALE IM LAND TIROL



# IMPRESSUM

---

## SOLARPOTENZIALE IM LAND TIROL

### TECHNISCHER BERICHT TIROL

Dieser Bericht wurde im Auftrag des Amtes der Tiroler Landesregierung, fachlich vertreten durch das Sachgebiet Landesstatistik und TIRIS, Heiliggeiststraße 7-9, 6020 Innsbruck erstellt.



### DIE AUTOREN

☀️ Mag. Markus Posch, BSc. | STEPS e.U.

☀️ Ing. Michael Braitto | Energie Tirol

Die Geobasisdaten (Digitales Geländemodell und Oberflächenmodell) wurden vom Amt der Tiroler Landesregierung, Abteilung Geoinformation, bereit gestellt.

Geografische Aufbereitung und statistische Analysen wurden vom Amt der Tiroler Landesregierung, Sachgebiet Landesstatistik und TIRIS, Bearbeiter Mag. Hannes Niedertscheider und MMag. Mario Stadler, erstellt.

Projektleitung und Redaktion Dipl.-Ing. Manfred Riedl

Innsbruck, im Juli 2015



SOLAR TIROL ist ein Projekt im EFRE-Förderprogramm Interreg IV Italien-Österreich im Rahmen des Ziels Europäische territoriale Zusammenarbeit für die Periode 2007-2013. Der Projektinhalt entspricht dem Thema Erneuerbare Energien in der Priorität 2 "Raum und Nachhaltigkeit".

# INHALTSVERZEICHNIS

---

|                                                                     |           |
|---------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>VORWORT .....</b>                                                | <b>4</b>  |
| <b>1 EINLEITUNG .....</b>                                           | <b>5</b>  |
| Projektrahmen.....                                                  | 5         |
| Zielsetzungen .....                                                 | 6         |
| Synergien mit anderen Forschungsprojekten.....                      | 6         |
| <b>2 GESELLSCHAFTSPOLITISCHER RAHMEN IN TIROL.....</b>              | <b>9</b>  |
| Die Vision .....                                                    | 9         |
| Die Aufgabe.....                                                    | 9         |
| Die Bedeutung der Solarenergienutzung .....                         | 11        |
| <b>3 GEOGRAPHISCHE ANALYSE UND BILANZIERUNG.....</b>                | <b>12</b> |
| Datengrundlage .....                                                | 12        |
| Bilanzierung der Solarpotenziale in Tirol.....                      | 14        |
| Geographische Aufbereitung in tirisMaps .....                       | 18        |
| Konzipierte Geographische Aufbereitung: WebGIS SEPL Tirol .....     | 20        |
| <b>4 METHODIK DER ERMITTLUNG UND BERECHNUNG.....</b>                | <b>21</b> |
| Anwendung Rasterdatensätze.....                                     | 21        |
| Neuerungen in der Solarpotenzialberechnung .....                    | 22        |
| Solarenergieeinstrahlung und Korrektur .....                        | 23        |
| Der Einfluss von Wolken .....                                       | 24        |
| Sonnenscheindauer .....                                             | 25        |
| Ermittlung der Gebäudeumringe/Dachflächen anhand von ALS-Daten..... | 26        |
| Ableitung der Eignungsflächen von Dächern .....                     | 31        |
| GIS-technische Ableitung von Solarenergie-Nutzungspotenzialen.....  | 34        |
| Anwendung im TIRIS .....                                            | 36        |
| <b>GLOSSAR .....</b>                                                | <b>37</b> |
| <b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>                                   | <b>41</b> |



# VORWORT

---

Die technische Nutzung der Solarenergie unterstützt in vielfacher Hinsicht eine zukunftsfähige Landesentwicklung und insbesondere die Vision Tirol 2050 energieautonom.

Im Projekt SOLAR TIROL wurden die Potenziale dieser Energieform genau erhoben und werden in Folge öffentlich publiziert. Die Durchführung dieses Projektes verlief in drei Phasen:

Am Beginn stand die genaue Erfassung der Oberflächenformen unserer Siedlungsgebiete aus der Luft. Alle Objekte wie Bäume und Gebäude sowie das freie Gelände wurden mittels Radarmessungen nach Lage und Höhe erfasst und in mathematisch definierte Gelände- und Oberflächenmodelle überführt.

Auf dieser Grundlage und der mathematischen Modellierung des täglichen Sonnenganges im Jahreszyklus wurden für jeden Quadratmeter in Tirol die Solarstrahlung und die Besonnungsdauer berechnet.

Nach dem virtuellen Ausschneiden und Formen aller Gebäudedächer werden die kleinflächigen Ergebnisse der Solarkartierung in Eignungsflächen für die Solarenergienutzung zusammengefasst und klassifiziert. Für alle diese Flächen liegen nunmehr beschreibende Attribute zur Solarstrahlung und Besonnungsdauer als auch die potenziellen Energienutzungswerte für verschiedene Technologien und Zeitspannen vor.

Das Projekt SOLAR TIROL wurde von Juli 2012 bis Juli 2015 in partnerschaftlicher Zusammenarbeit von öffentlichen und wissenschaftlichen Institutionen aus Südtirol und Tirol ausgeführt. Die Europäische Akademie in Bozen und die Universität Innsbruck brachten wichtige Innovationen in das Projekt ein. Die Ämter der Landesregierungen stellten Datengrundlagen und Informationstechnologien zur Verfügung. Maßgeblicher Anteil an der wegen riesiger Datenmengen sehr fordernden Projektausführung oblag als Auftragnehmern privaten Unternehmen aus Tirol, darunter die Bietergemeinschaft Vermessung AVT ZT / Milan Geoservice GmbH., Laserdata GmbH. und STEPS e.U.

Etliche Ergebnisse von SOLAR TIROL werden bereits unter [www.tirol.gv.at/solartiro1](http://www.tirol.gv.at/solartiro1) publiziert. Im universellen Kartendienst des Landes Tirol tirisMaps 2.0, zugänglich unter [www.tirol.gv.at/tiris](http://www.tirol.gv.at/tiris) sind wichtige Ergebnisse der Solarkartierung bereits geografisch dargestellt. Nach Aufbereitung aller Daten werden alle Ergebnisse von SOLAR TIROL, darunter auch die Eignungsflächen zur Solarenergienutzung, sowohl unter [www.tirol.gv.at/data](http://www.tirol.gv.at/data) als öffentlich verfügbare Daten zur eigenen Verarbeitung, als auch in einem zusätzlichen tiris-Kartendienst des Landes Tirol namens Solarenergiepotenziale Land Tirol (SEPL Tirol) veröffentlicht werden.

Innsbruck, im Juli 2015

Dipl.-Ing. Manfred Riedl  
Projektleiter

# 1 EINLEITUNG

---

In den regionalen Energiestrategien des Landes Tirol und der Autonomen Provinz Bozen wird die Nutzung erneuerbarer Energien, unter anderen auch der Solarenergie, forciert. Die bisher verfügbaren Informationen über die Potenziale dieser Energieform sind allgemein gehalten und in der Auflösung zu grob, um für Berggebiete spezifische und räumlich konkrete Aussagen zum Potenzial der Nutzung von Solarenergie zu ermöglichen.

Die Zusammensetzung des Sonnenspektrums, die Sonnenscheindauer und der Winkel, unter welchem die Sonnenstrahlen auf die Oberfläche fallen, beeinflussen die eingestrahlte Energie. Die Energiepotenziale unterscheiden sich daher nicht nur infolge der Höhenlage oder durch das Ausmaß an Bewölkung, auch auf engstem Raum finden sich deutliche Abstufungen wie etwa bei Verschattung durch Vegetation und Gebäude. Auf Grundlage von hochauflösenden digitalen Oberflächenmodellen lassen sich die theoretischen Strahlungswerte für jeden Quadratmeter der Erdoberfläche berechnen. Die atmosphärische Korrektur dieser Werte erfolgt mittels einer kleinräumigen Zeitreihe von Bewölkungsdaten aus Satellitenbeobachtung.

Die Nutzung der Solarenergie wird durch bestimmte Techniken vorgenommen, mit welchen die nicht-erschöpfliche Ressource der Solarstrahlung direkt nutzbar gemacht werden kann. Die Solarthermie nutzt das Prinzip der Absorption und wandelt in Solarkollektoren die elektromagnetischen Wellen der Solarstrahlung in Wärme um. Die Photovoltaik wandelt die elektromagnetische Strahlung der Sonne mittels Solarzellen in elektrische Energie um.

Bevorzugte Standorte für die Installation von Solarenergieanlagen sind Dachflächen, wobei nach Möglichkeit die Anordnung solcher Anlagen parallel zur Dachfläche erfolgen soll. Die Form der in Folge der Solarpotenziale am besten geeigneten Dachflächen bestimmt die optimale Belegung durch Solarmodule.

## PROJEKTRAHMEN

SOLAR TIROL ist ein Projekt im grenzüberschreitenden Gebiet der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol und des Landes Tirol. Öffentliche Stellen und wissenschaftliche Einrichtungen (Universität Innsbruck und der Europäischen Akademie Bozen) schaffen frei zugängliche, georeferenzierte Datenbanken zum Thema Solarpotenzial und erstellen Berichte zur Bedeutung der Solarenergie und deren Nutzungsmöglichkeiten im Land Tirol und der Autonomen Provinz Bozen-Südtirol.

Die Laufzeit des Projektes dauert von Juli 2012 bis Juli 2015. Die budgetierten Gesamtkosten betragen 1,16 Mio. Euro. Das Projekt wird durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) und nationale öffentliche Beiträge gefördert.





## ZIELSETZUNGEN

Im Internet frei zugängliche, georeferenzierte Datenbanken ermöglichen öffentlichen und privaten Nutzern, die Solarpotenziale auf Dachflächen und die für die Nutzung optimale Technologie zu ermitteln. Die Datenbanken sollen als Open Data die Entwicklung von Anwendungen und Auswertungen zur Nutzung der Solarenergie ermöglichen.

Es werden Empfehlungen zur Bedeutung der Solarenergie und der Nutzung dieser Energieform gegeben. Im Vordergrund steht dabei die lokale Ebene der Städte und Gemeinden.

## SYNERGIEN MIT ANDEREN FORSCHUNGSPROJEKTEN

Einerseits kann für die Auswertung der Daten die Methodik von in Forschungsprojekten entwickelten Methoden und Algorithmen zurückgegriffen werden. An einigen Stellen mussten neue, der aus der Messmethodik generierten Datenlage angepasste Methoden entwickelt werden.

SOLAR TIROL liefert damit eine solide Datenbasis für weitere Forschungsprojekte. Folgende 3 Projekte der Projektpartner werden hier vorgestellt, die mittel- und unmittelbar von den Ergebnissen profitieren.

### ENERALP – ENERGIERAUM ALPEN

Projektleitung: alps

Projektpartner:

- ☀ Wissenschaft: Energieinstitut Vorarlberg, Fachhochschule Vorarlberg GmbH, Universität Innsbruck
- ☀ Wirtschaft: Vorarlberger Illwerke AG, Regionalentwicklung Vorarlberg eGen, Stadtwerke Feldkirch, Gemeindewerke Telfs GmbH
- ☀ Ämter und Behörden: Vorarlberger Landesregierung, Amt der Tiroler Landesregierung, Stadt Feldkirch, Region Vorderland, Marktgemeinde Telfs

Ein effizientes und resilientes Energiesystem stellt das Rückgrat für die nachhaltige Entwicklung von Kommunen und Regionen im Alpenraum dar. Unter dem Aspekt des fortschreitenden Klimawandels sowie sich verändernder energiepolitischer Rahmenbedingungen wurde im Projekt EneRALp das Konzept „Energienmasterplan“ sowie mehrere konkrete technische Lösungsansätzen zur nachhaltigen Nutzung erneuerbarer Energieressourcen entwickelt und pilothaft umgesetzt.





**ABBILDUNG 1: 3D-VISUALISIERUNG EINER GEMEINDE**

Der Energiemasterplan dient dazu den gegenwärtigen Gebäudebestand, die bestehende Infrastruktur sowie das Mobilitätsverhalten und den jeweils damit verbundenen Energiebedarf in einer zentralen Geodatenbank zu erfassen und zusammen mit den regional vorhandenen erneuerbaren Energiequellen zu integrieren und räumlich abzubilden. Auf Basis definierter Szenarien lassen sich mögliche zukünftige Entwicklungen von Energieverbrauch und -produktion abzuschätzen und konkrete Ziele, Handlungsfelder und Umsetzungsmaßnahmen zur Systemoptimierung definieren.

Hier bindet auch SOLAR TIROL an: Das Projekt profitiert von den entwickelten Modellen zur Bewertung und Visualisierung und liefert im Gegenzug eine solide Datenbasis für die Bewertung von Solarpotenzialen.

## **MOUNT++ – ENTWICKLUNG EINER VORBILDREGION FÜR ZUKUNFTSWEISENDEN ENERGIEEFFIZIENTEN ALPINTOURISMUS**

Projektleitung: alpS

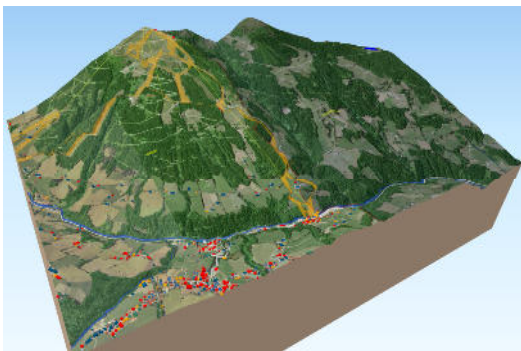
Projektpartner:

- ☀ Wissenschaft: Universität Innsbruck, Universität für Bodenkultur Wien
- ☀ Wirtschaft: Alpbacher Bergbahn GmbH & Co KG, Doppelmayr Seilbahnen GmbH, Kässbohrer Geländefahrzeug AG, TechnoAlpin Austria GmbH, Tourismusverband Alpbachtal Seenland Tourismus
- ☀ Ämter und Behörden: Gemeinde Alpbach
- ☀ Sonstige Partner: Congress Centrum Alpbach, CSR & Medien, Standortagentur Tirol

Die Anpassung einer Pionierdestination, nach dem Leitbild der Nachhaltigkeit, an die Prozesse des Wandels bietet vielfältige Herausforderungen und Chancen.

Am Beispiel des Alpbachtales werden auf wissenschaftlicher Basis Konzepte und Vorgehensweisen zum zukunftsweisenden Umgang mit Ressourcen - insbesondere mit Energie - entwickelt, versuchsweise umgesetzt und bewertet.

Das somit entstehende „lebendige Labor“ dient als Maßstab für zukunftsweisenden Alpentourismus und bahnt den Weg zu einer energieautonomen Vorbildregion.



Die sektorübergreifende räumliche Analyse und Gegenüberstellung von Energiesenken (Gemeinde, Bergbahn, Hotellerie) und Energiepotenzialen (Solar, Wind) sowie des Verkehrsaufkommens (Anreise und Binnenverkehr) in der gesamten Untersuchungsregion bildet die Datengrundlage des Projektes. Dies dient als Entscheidungsgrundlage zur Umsetzung von energetischen und ökonomischen Maßnahmen.

**ABBILDUNG 2: 3D-MODELL DES SYSTEMS**

Sozialwissenschaftliche Erhebungen bei Gästen, Einheimischen und Entscheidungsträgern liefern darüber hinaus Anhaltspunkte zur Umsetzbarkeit von Innovationen, zielgruppengerechte Kommunikationsformen setzen die Ergebnisse in Wert.

## **SOLCLIM – OPTIMIERUNG DER PRODUKTIVITÄT VON SOLARENERGIEANLAGEN DURCH KLIMA- UND MATERIALANALYSEN**

Projektleitung: alpS

Projektpartner:

☀ Wissenschaft: EURAC Research - Europäische Akademie Bozen, Universität Innsbruck

☀ Wirtschaft: Colexon Energy AG, Hilber Solar

Eine wesentliche Anpassungsmaßnahme an den globalen Klimawandel und an die gleichzeitige Steigerung des Energiebedarfes ist die Erhöhung des Anteils der erneuerbaren Energie (z.B. Solarenergie) an der Gesamtenergieproduktion. Der Lebensraum Alpen wird aufgrund seines Wasserreichtums oft mit Wasserkraft in Verbindung gesetzt, doch sonnige hochalpine Lagen eignen sich auch bestens für den Betrieb von Photovoltaikanlagen.

Im Projekt SolClim soll der Zusammenhang zwischen den meteorologisch-/physikalischen Bedingungen und der Produktivität der Solarenergieanlagen an zwei realen Standorten, einer Höhenlageca. 1.850 m (Alpbach) sowie einer Tallage auf rund 700 m (Absam), näher untersucht und entsprechende Modelle entwickelt werden, auf deren Basis die Ertragsprognosen von PV-Anlagen insbesondere im Alpenraum verbessert werden sollen. Hierbei wird der Einfluss des Klimawandels auf die Produktivität der Anlagen in verschiedenen Lagen und Regionen untersucht, um die bestehenden Modelle zur Ertragsberechnung an die veränderte Situation anzupassen.



**ABBILDUNG 3: MESSTATION ABSAM, SEPTEMBER 2014**



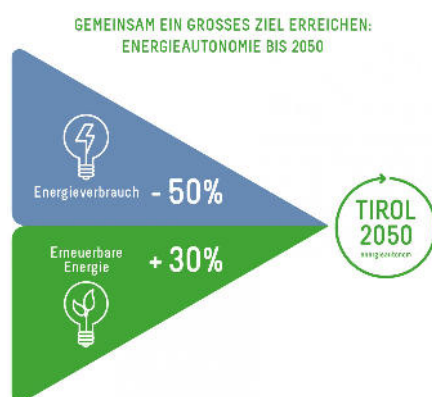
## 2 GESELLSCHAFTSPOLITISCHER RAHMEN IN TIROL

„TIROL 2050 energieautonom“ bildet das zentrale energiepolitische Programm der Tiroler Landesregierung und hat eine Abkehr von fossilen Energieträgern und eine autonome Energieversorgung bis zum Jahr 2050 zum Ziel. Auf nationaler Ebene hat sich Österreich die Energieautarkie bis zum Jahr 2050 zum Ziel gesetzt.

Die größte Herausforderung besteht darin, das Bewusstsein für die notwendige Veränderung zu bilden. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es erforderlich, dass möglichst alle Tirolerinnen und Tiroler mitmachen: von öffentlichen Institutionen und Forschungseinrichtungen über die privaten Haushalte sowie den Unternehmen.

Die Koordination der Initiative liegt bei der unabhängigen Beratungseinrichtung des Landes Tirol Energie Tirol ([www.energie-tirol.at](http://www.energie-tirol.at)).

### DIE VISION



Innerhalb einer Generation soll bis zum Jahr 2050 der Energieverbrauch in Tirol halbiert und der Anteil an erneuerbaren Energieträgern um 30 % erhöht werden. In Tirol sind die Möglichkeiten der schonenden Nutzung erneuerbarer Energieträger, wie Wasser, Holz, Sonne und Umweltwärme besonders vielfältig.

Neben den technologischen Innovationen bezieht die Initiative vor allem die gesellschaftliche Komponente, und somit die individuelle Wirkungsebene, mit ein. Die Menschen müssen für sich die Vorteile erkennen, die sich aus einem ressourcenschonenden Umgang mit Energie und effizienteren Energieeinsatz sowie aus dem Erschließen erneuerbarer Energiequellen ergeben.

### DIE AUFGABE

Wenn das Ziel verständlich ist, können die Menschen eigene Schritte setzen, um ihre Energiezukunft zu gestalten. Um die Öffentlichkeit einzubinden und für dieses Zukunftsthema zu mobilisieren, braucht es Maßnahmen, die über reine Werbung hinausgehen. Die Herausforderung besteht darin, einen breit angelegten Veränderungsprozess zu starten, der mehrere Generationen gleichzeitig ansprechen muss und so einen regen Dialog erforderlich macht. Es ist wichtig, den Grundgedanken von einer autonomen, eigenständigen Energieversorgung von Tirol in allen Bevölkerungsschichten zu verankern. Dafür braucht es ausreichend Zeit und eine effiziente Kommunikation, die alle Beteiligten auf den verschiedenen Ebenen erreicht.



## SICHTBAR MACHEN

### Bewusstsein und Wahrnehmung der Öffentlichkeit für die politischen Schwerpunkte

Schon jetzt gibt es in Tirol zahlreiche Einzelinitiativen und Maßnahmen, die einen Beitrag zur Energieunabhängigkeit leisten. Unter dem Dach von TIROL 2050 energieautonom werden die bestehenden Maßnahmen gebündelt, sichtbar gemacht und mit neuen Initiativen ergänzt.

Bestehende Strukturen werden dabei bestmöglich genutzt und auch in neue Kommunikationskanäle wie die Projektplattform [www.tirol2050.at](http://www.tirol2050.at), den Newsletter-Versand, den digitalen Veranstaltungskalender sowie die soziale Netzwerke (Facebook, Twitter, Youtube, ...) integriert. Es wird laufend über die zahlreichen Fortschritte aus den verschiedenen Bereichen berichtet.



## EINBINDEN

### Vernetzung und Stärkung von Schlüsselpersonen und Impulsgebern

Zur Steuerung des Prozesses wird eine eigene Arbeitsgruppe mit Schnittstellenfunktion eingesetzt.

- ☀ Land Tirol: Abteilung Öffentlichkeitsarbeit, Klimaschutz- und Mobilitätskoordinator, Energiebeauftragter, Büro Energielandesrat LHStv Geisler und Büro Klimaschutzlandesrätin LHStv<sup>in</sup> Felipe
- ☀ Standortagentur Tirol: Cluster Erneuerbare Energie und Stelle für Presse und Medien
- ☀ Energie Tirol: Geschäftsführung, Öffentlichkeitsarbeit, Koordination TIROL 2050 energieautonom

Mit Hilfe von Beteiligungsprozessen, welche unter anderem regelmäßig in Form der Dialoggruppen stattfinden, werden sowohl die Öffentlichkeit als auch ausgewählte Schlüsselpersonen, aus den folgenden Bereichen eingebunden: Unternehmen aus dem Cluster Erneuerbare Energien, Tourismus- und Freizeitwirtschaft, Netzwerk aus dem Themenbereich Energieberatung, regionale Energieversorger und -lieferanten, usw.

Ziel ist, die Vision von TIROL 2050 energieautonom zu verbreiten und Resonanz für den Prozess herzustellen, um weitere Möglichkeiten zu schaffen, sich am Prozess zu beteiligen.



## MITWIRKEN

### Die Umsetzung konkreter Maßnahmen

Die Tiroler Bevölkerung kann ihre Projekte mit Vorbildwirkung direkt über die Plattform [www.tirol2050.at](http://www.tirol2050.at) einbringen. Von der Solaranlage am Dach, das Firmen E-Bike bis zum Gemeindeprojekt zählt jeder Beitrag, und soll so andere inspirieren und zum Nachahmen einladen.

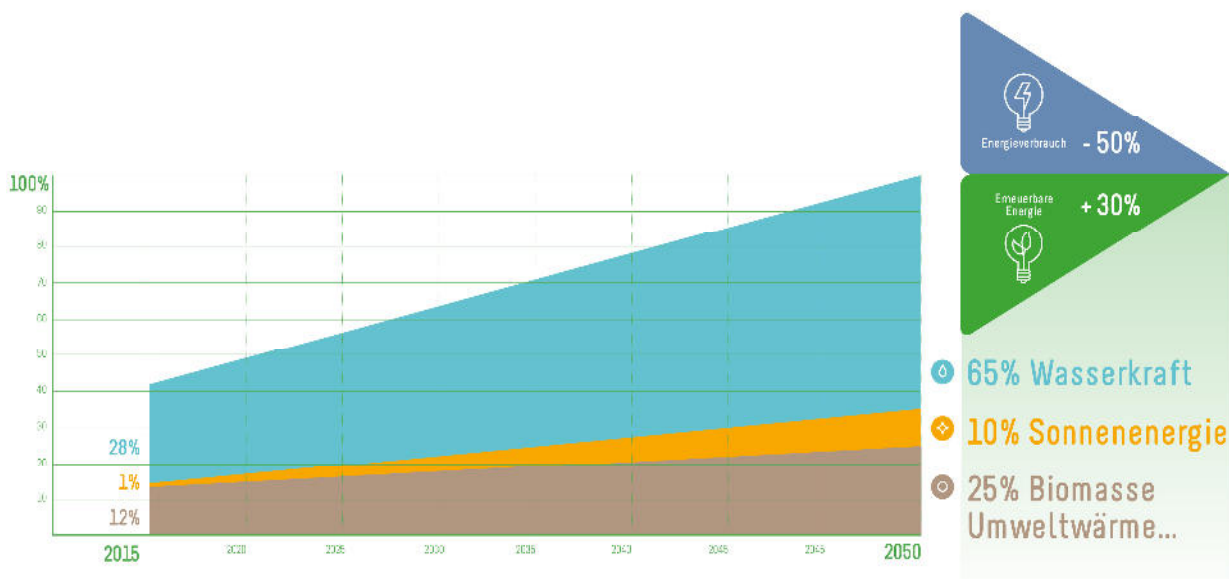
Ein weiterer Teil dieses Aktivierungsprozesses ist der Ideenkanal Tirol ([www.ideenkanal.at](http://www.ideenkanal.at)), der Ideen für eine enkeltaugliche Zukunft sucht. Die Ideengeber werden sowohl finanziell als auch inhaltlich durch ein Netzwerk von Mentoren aus Tirol bei der Umsetzung unterstützt.

## DIE BEDEUTUNG DER SOLARENERGIE NUTZUNG



„Tirol 2050 energieautonom“ will mit bewusstseinsbildende Maßnahmen bei der Bevölkerung ein hohes Verantwortungsbewusstsein schaffen und verfolgt neben hoch effizienten Systemen (minus 50%) auch die Bereitstellung der Energie mit umweltverträglichen Energieträgern.

Für das große Ziel, den Anteil an erneuerbaren Energieträgern bis zum Jahr 2050 um 30% zu erhöhen, stehen neben Wasserkraft, Biomasse und Umweltwärme auch die Sonnenenergie zur Verfügung.



**ABBILDUNG 4: ENTWICKLUNG ERNEUERBARER ENERGIETRÄGER +30 % BIS 2050 (TIROLER ENERGIEMONITORINGBERICHT 2013, EIGENE BERECHNUNGEN)**

Mit der Sonne ist sowohl Wärme (Solarthermie) als auch Strom (Photovoltaik) gewinnbar, der Deckungsbeitrag soll bis 2050 bei zumindest 10 % liegen (in Abhängigkeit der Szenarien auch deutlich größer). Die Technologien für die Solarthermie wie auch für die Photovoltaik sind erprobt und stehen auch in großen Maßstäben zur Verfügung.

Mit dem Projekt SOLAR TIROL werden die Potenziale der Solarenergie auf den Dächern von Tiroler Gebäuden sichtbar und verständlich gemacht : Jeder kann im öffentlichen Zugang von tirisMaps und SEPL Tirol seine Gemeinde, aber auch sein eigenes Haus betrachten und erhält sofort mögliche Nutzungspotenziale graphisch präsentiert. Dadurch wird die Zielsetzung aus „Tirol 2050 energieautonom“, zum Mitmachen an zu regen, voll unterstützt.

SOLAR TIROL bindet Akteure, Beratungseinrichtungen und Impulsgeber ein, die Datengrundlage für Umsetzungskonzepte auf kommunaler und Regionsebene stehen zur Verfügung. Damit werden fundierte Aussagen und belegbare Planungen möglich und unterstützen die Entscheidungsfindung für Veränderungen und Innovationen.

### 3 GEOGRAPHISCHE ANALYSE UND BILANZIERUNG

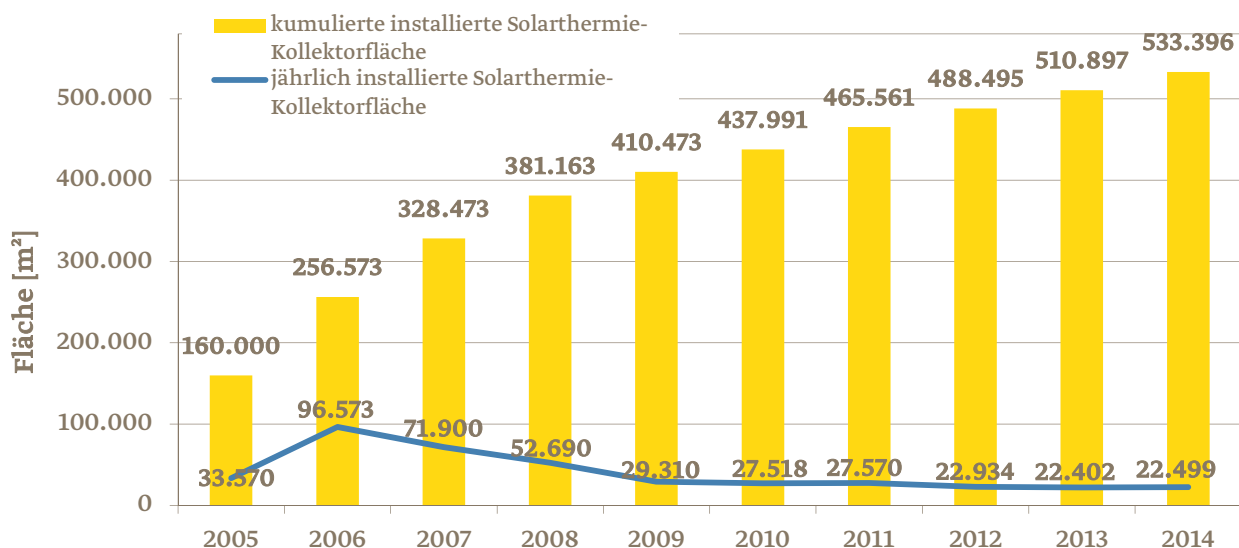
#### DATENGRUNDLAGE

Mit dem Projekt SOLAR TIROL wurden Potenziale der Solarenergienutzung erhoben und mittels geeigneter Methoden (siehe Kapitel 4) ausgewertet. Teile dieser Potenziale werden bereits genutzt, das erfolgt derzeit auf 1,3 %<sup>1</sup> der Tiroler Dachflächen. Geht man davon aus, dass bereits geeignete Flächen genutzt hat, liegt der Anteil bereits genutzter Dachflächen in den Kategorien 2 bis 4 bei 2,2 % Anteil der Dachflächen. Diese Aussagen sind eine grobe Abschätzung, da die Erhebung der Bestandsdaten einige statistische Unschärfen aufweist. Diese werden auch im Tiroler Energiemonitoring beschrieben, der alljährlich im Auftrag des Landes Tirol von Wasser Tirol erstellt wird.

Ein weiterer wichtiger Aspekt in Bezug auf SOLAR TIROL ist der Standort der Anlage: So können Anlagen auch freistehend oder etwa gebäudeintegriert an der Fassade angebracht sein. Eine Abschätzung darüber ist mit den öffentlich bekannten Daten nicht möglich. Dies verzerrt insbesondere den Vergleich mit der Summe der Tiroler Dachflächen.

#### THERMISCHE SOLARANLAGEN

Thermische Solaranlagen erfreuen sich in Tirol einer langen Tradition. In den vergangenen Jahren ist hier eine **Stagnation bzw. rückläufige Entwicklung** (ca. +0,4% von 2014 zum Vorjahr) erkennbar. Seit 2012 werden zudem geförderte thermische Solaranlagen von der Tiroler Wohnbauförderung mit der Aperturfläche(=Nettokollektorfläche) erfasst, nicht mit der Bruttokollektorfläche.

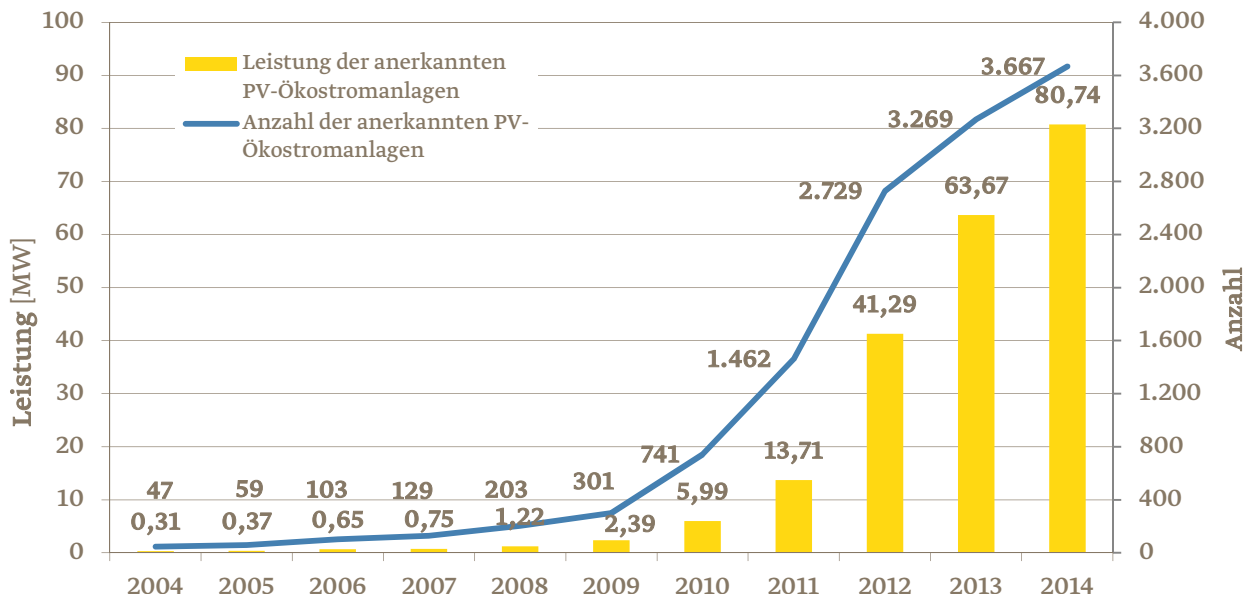


**ABBILDUNG 5: KUMULIERTE FLÄCHE UND FLÄCHE THERMISCHER SOLARANLAGEN (VERGLASTE KOLLEKTOREN) IN TIROL 2005 - 2012 (ENERGIEMONITORING 2013. ABB. 69; BIERMAYR ET AL. (2013, 2014)**

<sup>1</sup> Solarthermie: 533.396 m² (2014), Summe Leistung anerkannter Photovoltaik-Ökostrom-Anlagen = 80.740 kWp. Daraus ergibt sich eine Gesamtfläche von  $533.396 + 80.740 \cdot 7 = 1.098.576$ . Der tatsächliche Bestand ist größer, aber nicht dokumentiert.

## PHOTOVOLTAIK-ANLAGEN

Zur Datenlage wurde im Tiroler Energiemonitoring 2014 festgestellt, dass diese Statistik lediglich die Anzahl der eingereichten Ökostromanlagen-Anerkennungsbescheide darstellt. Seit Inkrafttreten des Ökostromgesetzes 2012 mit 1. Juli 2012 sind für Anlagen  $\leq 5 \text{ kW}_{\text{peak}}$  allerdings keine Bescheide mehr erforderlich.



**ABBILDUNG 6: KUMULIERTE ANZAHL UND LEISTUNG ANERKANNTER PHOTOVOLTAIK-ÖKOSTROM-ANLAGEN IN TIROL 2004 – 2014, TIROLER ENERGIEMONITORING 2014. ABB. 40**

Dieser Umstand könnte eine Erklärung für den Knick des Trend vom Jahr 2012 auf 2013 sein, der größte Zuwachs lag zwischen 2011 und 2012 bei einer Verdreifachung (!) der Bestandsleistung. Auch interessant: Während bis 2008 die durchschnittliche Engpassleistung bei ca.  $6 \text{ kW}_{\text{peak}}$  lag, ist diese seither stetig gestiegen und liegt derzeit bei  $22 \text{ kW}_{\text{peak}}$  (auch hier Achtung: Kleinere Anlagen scheinen nicht mehr auf). Dennoch ist ein **klarer Aufwärtstrend** der Anzahl an Anlagen und Anlagengröße erkennbar, ein sattes Plus von +26,8% Anschlussleistung schlägt sich hier zu Buche.

Weiters sind Inselanlagen, also nicht an das Stromnetz gekoppelte Anlagen, in dieser Statistik nicht erfasst. Dies könnte insbesondere mit der Weiterentwicklung von Solarspeicherzellen (z.B. Solarbatterien) zukünftig zu großen Abweichungen in der Erfassung führen.



# BILANZIERUNG DER SOLARPOTENZIALE IN TIROL

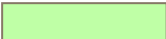
Im Rahmen des Projektes wurden ca. 3,5 Millionen Eignungspolygone mit einer durchschnittlichen Fläche von knapp 25 m<sup>2</sup> ermittelt. Für jedes Polygon sind 231 Attribute vorhanden, davon sollen 164 Attribute publiziert werden. Diese Fülle an Daten wurde nach wohlüberlegten Kriterien ausgewertet, um einerseits eine sinnvoll Detailtiefe an Informationen bereitstellen zu können und andererseits dabei die Rechenkapazität nicht auszuschöpfen.

|                                  | Alle Kategorien            | Kategorie 2 - 4<br>(≥ 950 kWh/m <sup>2</sup> a) | Anteil der<br>geeigneten<br>Kategorien |
|----------------------------------|----------------------------|-------------------------------------------------|----------------------------------------|
| Anzahl Gebäude                   | 177.745                    |                                                 |                                        |
| Anzahl Dachflächen               | 1.069.847                  | 700.047                                         | 65 %                                   |
| Fläche Dachflächen               | 86.194.235 m <sup>2</sup>  | 49.588.798 m <sup>2</sup>                       | 58 %                                   |
| Solarpotenzial Jahressumme       | 69.713 GWh                 | 50.929 GWh                                      | 73 %                                   |
| Anzahl Eignungsflächen           | 3.481.648                  | 2.807.649                                       | 81 %                                   |
| Eignungsfläche Maximalwert       | 1.762 kWh/m <sup>2</sup> a |                                                 |                                        |
| Eignungsfläche Durchschnittswert | 1.056 kWh/m <sup>2</sup> a | 1.125 kWh/m <sup>2</sup> a                      |                                        |

ABBILDUNG 7: ECKDATEN TIROL – ALLE KATEGORIEN UND GEEIGNETE EIGNUNGSFLÄCHEN

## KLASSIFIZIERUNG

Die Klassifizierung der Ergebnisse in Kategorien (Zonen) wurde so gestaltet, dass eine Mindesteinstrahlung von ≥ 950 kWh/m<sup>2</sup>a und einer damit verbundenen Mindestfläche von ≥ 5 m<sup>2</sup> zusammenhängend (egal in welche Richtung oder Form) als nötig erachtet wird, um eine technisch und ökonomisch sinnvolle Umsetzbarkeit sicher zu stellen. Diese Werte wurde in Abstimmung mit den beratenden Institutionen im Land Tirol angesetzt, um die Effizienz von Solaranlagen nochmals zu verbessern und jene Fläche mit einer Ertragssicherheit auszuweisen.

 **Kategorie 1** (< 950 kWh/m<sup>2</sup>a)

Diese Kategorie ist auf Basis der ausgewerteten Parameter für solare Nutzung wenig geeignet. Mögliche Gründe liegen häufig in der Nah- und Fernverschattung.

 **Kategorie 2 “geeignet”** (≥ 950 bis 1.100 kWh/m<sup>2</sup>a)

Eine solare Nutzung ist möglich und bereits sinnvoll

 **Kategorie 3 “gut geeignet”** (≥ 1.100 bis 1.300 kWh/m<sup>2</sup>a)

Bereits sehr attraktive potenziell erzielbare Erträge.

 **Kategorie 4 “bestgeeignet”** (≥ 1.300 kWh/m<sup>2</sup>a)

Die Kategorie beinhaltet die Spitzenwerte der Jahressumme an Einstrahlung. Der Anteil an allen Eignungsflächen beträgt 14%, für solche Flächen bietet sich aufgrund der hohen Werte auf jeden Fall eine solare Energienutzung an.

## STATISTISCHER AUSZUG TIROL

In der folgenden Tabelle sind die vier festgelegten Bereiche der Eignungsklassen ersichtlich. Für jede Kategorie wurde die Summe der Polygonflächen (=Dachflächen) sowie der Jahresumme der Solarstrahlung angegeben.

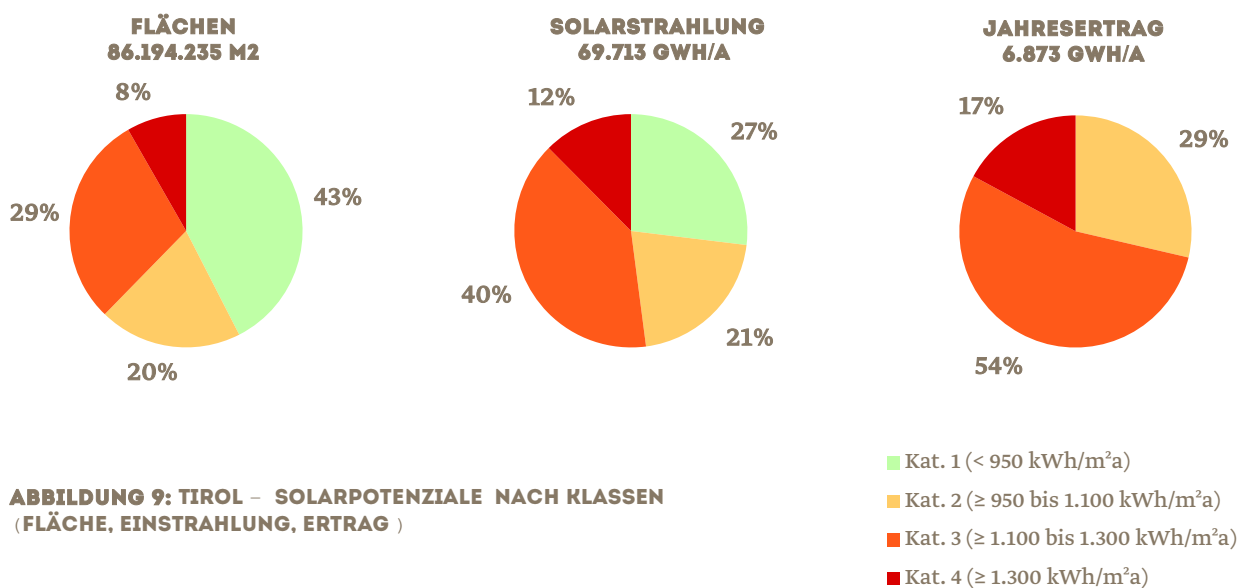
| Politischer Bezirk | Kategorie 1<br>< 950 kWh/m²a |               | Kategorie 2<br>≥ 950 - 1.100 kWh/m²a |               | Kategorie 3<br>≥ 1.100 - 1.300 kWh/m²a |               | Kategorie 4<br>≥ 1.300 kWh/m²a |              |
|--------------------|------------------------------|---------------|--------------------------------------|---------------|----------------------------------------|---------------|--------------------------------|--------------|
|                    | A in [m²]                    | E in[GWh]     | A in [m²]                            | E in[GWh]     | A in [m²]                              | E in[GWh]     | A in [m²]                      | E in[GWh]    |
| Innsbruck-Stadt    | 2.743.392                    | 1.260         | 929.083                              | 790           | 2.139.860                              | 2.402         | 653.337                        | 774          |
| Imst               | 3.350.854                    | 1.774         | 1.635.547                            | 1.453         | 2.311.842                              | 2.518         | 620.705                        | 757          |
| Innsbruck-Land     | 7.601.827                    | 3.857         | 3.313.410                            | 2.919         | 5.500.305                              | 6.047         | 1.655.987                      | 2.017        |
| Kitzbühel          | 4.387.047                    | 2.369         | 2.511.133                            | 2.176         | 3.260.206                              | 3.548         | 701.680                        | 859          |
| Kufstein           | 5.476.139                    | 2.971         | 2.838.338                            | 2.491         | 3.856.902                              | 4.223         | 739.086                        | 895          |
| Landeck            | 2.603.566                    | 1.358         | 1.057.686                            | 856           | 1.611.247                              | 1.654         | 678.283                        | 820          |
| Lienz              | 3.086.377                    | 1.321         | 1.443.918                            | 982           | 2.129.525                              | 2.258         | 1.023.208                      | 1.260        |
| Reutte             | 2.522.175                    | 1.339         | 1.096.428                            | 963           | 1.459.164                              | 1.582         | 312.454                        | 374          |
| Schwaz             | 4.834.058                    | 2.534         | 2.254.814                            | 2.005         | 3.101.181                              | 3.389         | 753.470                        | 917          |
| <b>TIROL</b>       | <b>36.605.436</b>            | <b>18.784</b> | <b>17.080.357</b>                    | <b>14.634</b> | <b>25.370.232</b>                      | <b>27.621</b> | <b>7.138.209</b>               | <b>8.674</b> |

**ABBILDUNG 8: DACHFLÄCHEN (A<sub>REAL</sub>) UND JAHRESSUMME DER EINSTRALUNG (E) AUF BEZIRKSEBENE**

Diese Daten sind für jede der 279 Tiroler Gemeinden verfügbar, damit sind auch Regionalbetrachtungen (z.B. NUTS-3, Täler, KEM-Regionen,...) ableitbar. Die geografischen Daten und beschreibenden Attribute dieser Eignungsflächen werden voraussichtlich ab Oktober 2015 unter [www.tirol.gv.at/data](http://www.tirol.gv.at/data) als OPEN DATA publiziert.

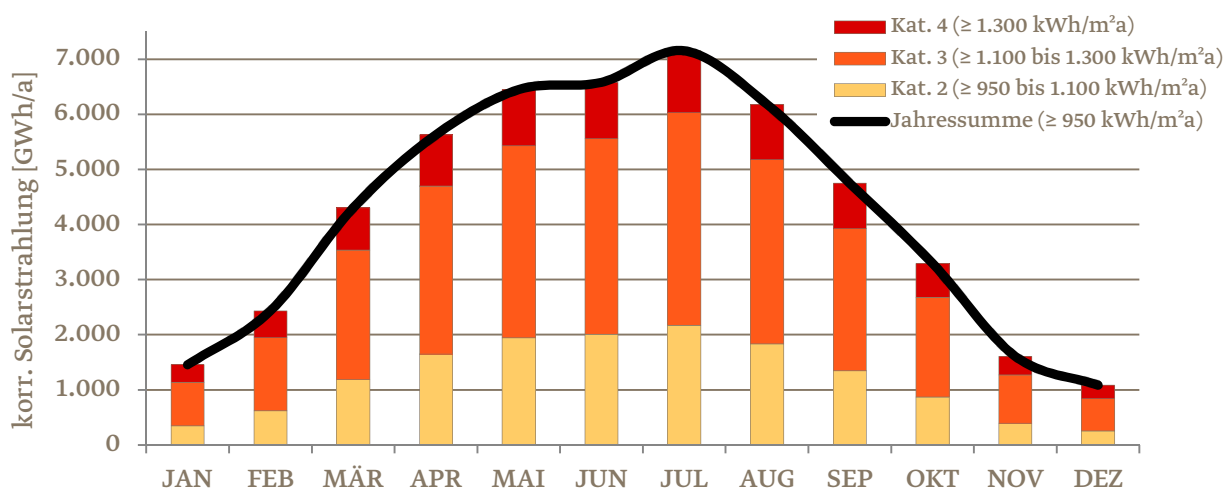
Auf den 177.745 Gebäuden in Tirol wurden 1.069.847 Dachteilflächen ermittelt, das sind ca. 6 Dachteilflächen je Gebäude. Daraus wurden 3.381.648 abgegrenzte und klassifizierte Eignungsflächen ermittelt, das entspricht 19,5 Eignungsflächen je Gebäude<sup>2</sup>. Diese Zahlen beschreiben den Detailierungsgrad aufgrund des hochauflösenden Rasters der Solarkartierung von 1 x 1 m, der selbst nach Reduktion der Datenmenge durch Festlegung von Parametern (Vektorisierung, Klassifizierung,...) noch noch eine sehr hohe Detailstufe aufweist.

<sup>2</sup> Im Rahmen von SOLAR TIROL ermittelte Dachflächen beziehen sich auf sämtliche Dachflächen, unabhängig der Nutzung, dh. z.B. auch Carports, Heustadel, Müllhäuser, etc.



**ABBILDUNG 9: TIROL – SOLARPOTENZIALE NACH KLASSEN**  
(FLÄCHE, EINSTRahlung, ERTRAG)

Während die Kategorie 1 nicht mehr weiter betrachtet wird (wenig geeignete Flächen<sup>3</sup>), liegt der Großteil des Solarertrags mit 54 % (bei 40 % Flächenanteil) in der Kategorie 3. Die Summe des möglichen Ertrages, falls alle Tiroler Dächer der Kategorien 2 bis 4 vollflächig mit Photovoltaik bestückt wären, liegt für die Simulation von polykristallinen Photovoltaik-Anlagen<sup>4</sup> bei 6.873 kWh. Das Potenzial der Solarstromerzeugung auf geeigneten Dachflächen in Tirol entspricht somit in seiner Größenordnung dem aktuellen regionalen Stromverbrauch.<sup>5</sup>

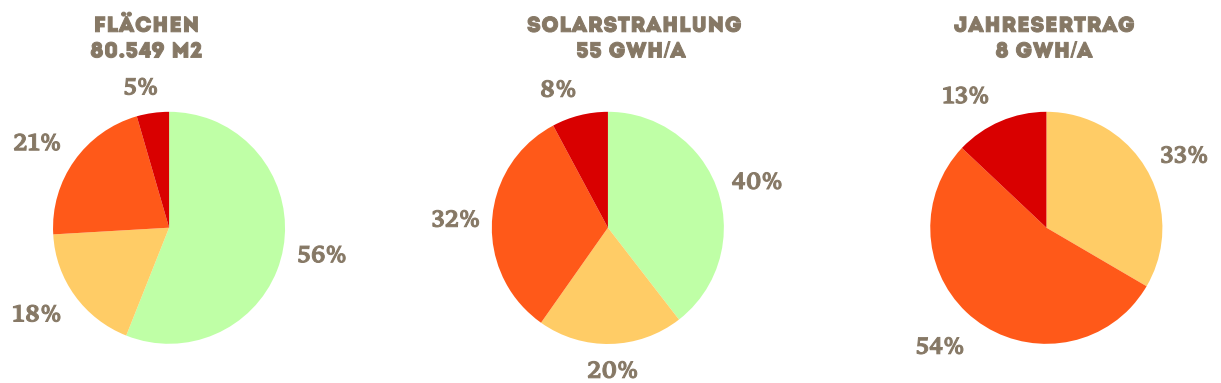


**ABBILDUNG 10: MONATSMITTELWERTE DER KORRIGIERTEN SOLARSTRAHLUNG NACH KLASSEN, TIROL**

<sup>3</sup> Der Fokus für den Standort der Solaranlage liegt bei SOLAR TIROL auf den Dachflächen. Nicht zu unterschätzen ist aber auch das Potenzial von fassaden- und dachintegrierten Modulen auf weniger geeigneten Flächen, so kann neben der funktionellen Nutzung (z.B. Fassadenverkleidung, Dacheindeckung) auch "nebenbei" Energie erzeugt werden (=Doppelnutzen).

<sup>4</sup> 92% der 2014 installierten Solarzellentypen in Österreich sind polykristallin, Vgl. BIERMAYR et al.: „Innovative Energietechnologien in Österreich - Marktentwicklung 2014“, Abb. 7.3

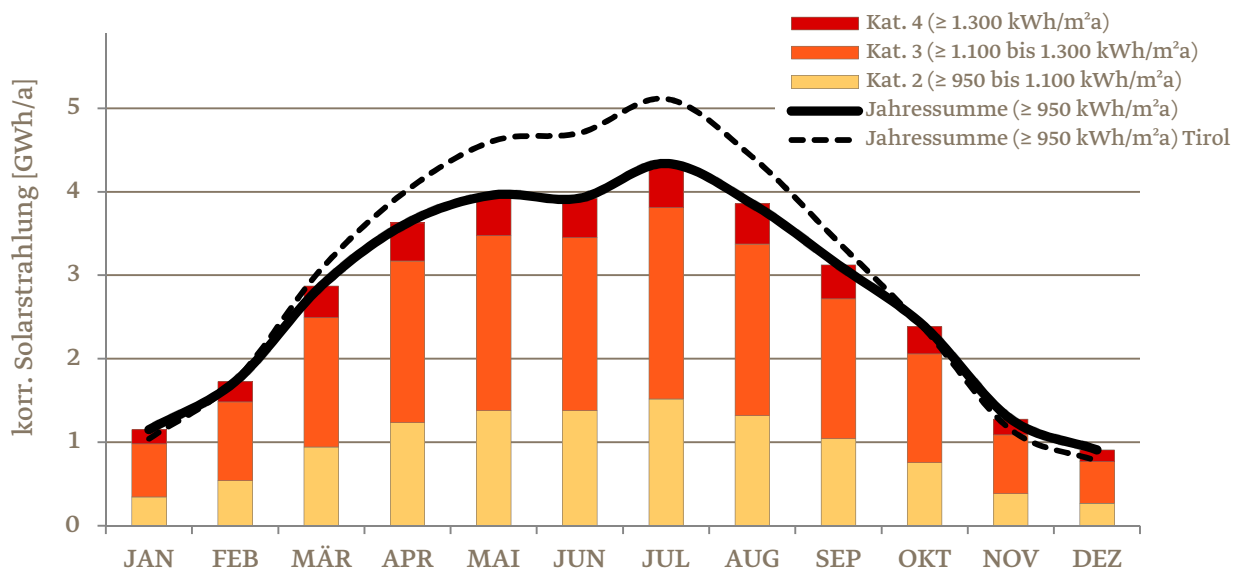
<sup>5</sup> Dieser lag 2013 mit einer Steigerungsrate von +0,95 % zum Vorjahr bei 5.293 GWh (Endenergieeinsatz - ohne Netzverluste), Vgl. STATISTIK AUSTRIA: „Bundesländer Energie-Bilanzen, Tirol 1988 bis 2013“



**ABBILDUNG 11: BEISPIELGEMEINDE – GEGENÜBERSTELLUNG DER GEWÄHLTEN KLASSEN (FLÄCHE, EINSTRALUNG, ERTRAG)**

- Kat. 1 (< 950 kWh/m²a)
- Kat. 2 (≥ 950 bis 1.100 kWh/m²a)
- Kat. 3 (≥ 1.100 bis 1.300 kWh/m²a)
- Kat. 4 (≥ 1.300 kWh/m²a)

Betrachtet man die Situation in einzelnen Gemeinden, kann die Aussage unterschiedlich ausfallen: Für eine Beispielsgemeinde ist der Anteil der wenig geeigneten Flächen größer und der Anteil der Flächen in der Kategorie 4 steigt erheblich, dies ist in Folge auch beim Jahresertrag ersichtlich. Der Anteil der wenig geeigneten Flächen ist auch in der Jahressumme bemerkbar: Hier liegt die Beispielsgemeinde unter der zu erwartenden Einstrahlung im Tiroler Durchschnitt (strichlierte Linie).



**ABBILDUNG 12: MONATSMITTELWERTE DER KORRIGIERTEN SOLARSTRAHLUNG NACH KLASSEN, BEISPIELGEMEINDE MIT ÜBER DACHFLÄCHE UMGEGLEGTEN TIROLER DURCHSCHNITTSWERT**

Dies zeigt erneut die Wichtigkeit der Solarkartierung auf, da lokal deutliche Abweichungen vom Durchschnitt auftreten können. Eine nähere Untersuchung der Solarpotenziale der einzelnen Monate zeigt nicht nur die Verschiebung der Anteile der Eignungsflächen, sondern auch Abweichungen in den einzelnen Monaten. Mögliche Ursachen liegen hier in der Geländeform (Täler, Einschnitte,...) und Fernverschattung sowie möglicherweise klimatische Bedingungen (Bewölkungsgrad).

## GEOGRAPHISCHE AUFBEREITUNG IN TIRISMAPS

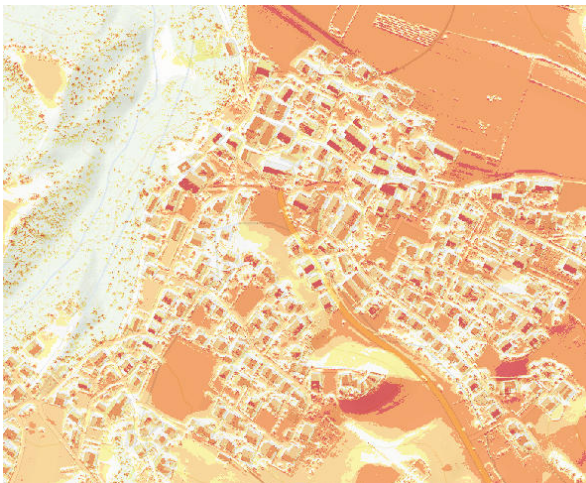
Die geographische Aufbereitung der Daten erfolgt zum Teil bereits in tirisMaps 2.0 unter der Adresse [www.tirol.gv.at/tiris](http://www.tirol.gv.at/tiris).

Tiris ist das geografische Informationssystem des Landes Tirol. In den Verwaltungsbereichen werden Geodaten über raumbezogene Sachverhalte im tiris Datenpool systematisch gespeichert. Daraus entstehen Geoinformationen wie tirisMaps und Geodatendienste für die amtliche und öffentliche Nutzung im Internet.

Im Rahmen dieser Plattform für Geoinformationen des Landes werden verschiedenste Fachthemen angeboten, das “Solarpotenzial Tirol” ist hierbei dem Themenbereich Raumordnung zugeordnet.

Derzeit sind dabei folgende Daten für Tirol flächendeckend bereits graphisch auswertbar:

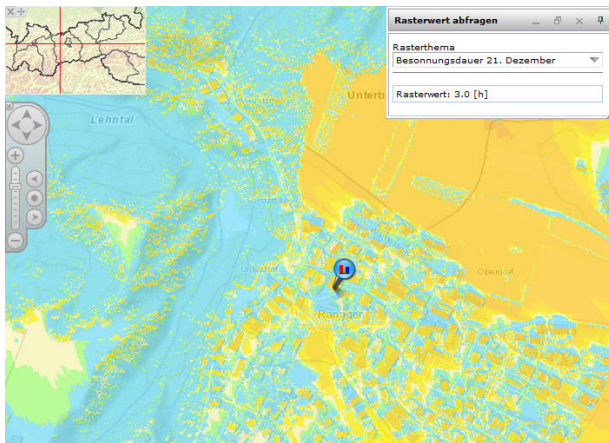
- ☀ Solarstrahlung pro Jahr
- ☀ Solarstrahlung Winterhalbjahr
- ☀ Solarstrahlung Sommerhalbjahr
- ☀ Besonnungsdauer am 21. Tag der Monate Dezember, Februar, April, Juni



Durch die Farbabstufung in Klassen bietet sich schnell ein guter Überblick der Solarstrahlung

**ABBILDUNG 13: SOLARSTRAHLUNG PRO JAHR**





Durch den Befehl “Rasterwert abfragen” können für jeden Punkt alle verfügbaren Werte abgefragt werden. Die Auswahl einer Rasterebene erlaubt ein Durchklicken aller Rasterwerte auf einer bestimmter Dachfläche.

**ABBILDUNG 14: SONNENSTUNDEN AM 21. DEZEMBER**



Noch nicht implementiert: In dieser Grafik werden die Eignungsflächen auf den Dächern angezeigt und ausgewertet. Dies erlaubt eine schnellere Navigation durch geringere Datenmengen und zudem eine zielorientierte Suche geeigneter Dachflächen.

**ABBILDUNG 15: SOLARPOTENZIAL PRO JAHR**



## KONZIPIERTE GEOGRAPHISCHE AUFBEREITUNG: WEBGIS SEPL TIROL

Der eigenständige Web-Kartendienst Solarpotenziale SEPL Tirol ermöglicht den freien Zugang zu vielen Ansichten und interessanten Informationen über die Solarpotenziale im Land Tirol. Dieser Netzdienst ist auch für mobile Endgeräte geeignet.

Der Kartendienst ist konzipiert, die Erstellung durch die Daten-Verarbeitung-Tirol DVT GmbH steht noch aus.

☀ [www.tirol.gv.at/tiris](http://www.tirol.gv.at/tiris)

☀ [www.tirol.gv.at/solartiro1](http://www.tirol.gv.at/solartiro1)

☀ [www.tirol2050.at](http://www.tirol2050.at)

### LISTE DER VERFÜGBAREN ANSICHTEN

- ☀ Eignungsflächen Dach (Polygon) in Farbe klassifiziert mit Solarstrahlung Jahressumme in Schwellwerte SW klassifiziert (Grid 1m)
- ☀ Solarstrahlung Jahressumme in Farbe klassifiziert (Grid 1 m)
- ☀ Solarstrahlung Sommerhalbjahr in Farbe klassifiziert (Grid 1 m)
- ☀ Solarstrahlung Winterhalbjahr in Farbe klassifiziert (Grid 1 m)
- ☀ Sonnenscheindauer Jahressumme in Farbe
- ☀ Sonnenscheindauer 21. Februar, April, Juni, Dezember in Farbe klassifiziert

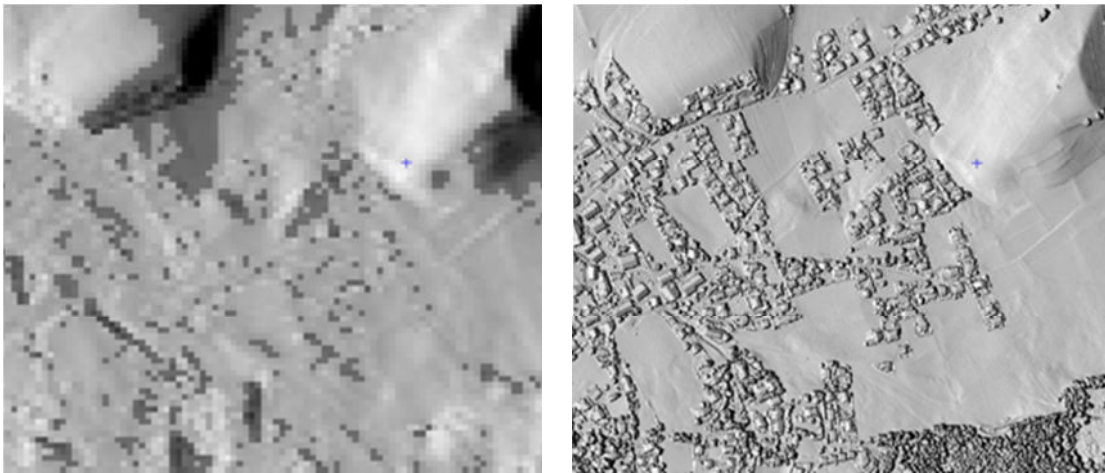
### LISTE DER ABRUFBAREN E-PAPER UND DOWNLOADS

- ☀ Solarstrahlung für Eignungsflächen von Dächern
- ☀ Nutzungspotenziale Thermie für Eignungsflächen von Dächern
- ☀ Nutzungspotenziale Voltaik für Eignungsflächen von Dächern
- ☀ Sonnenscheindauer für Eignungsflächen von Dächern
- ☀ Abbildung des jährlichen Sonnenganges mit Nah- und Fernverschattung bezogen auf Koordinate und Höhenangabe
- ☀ Download Nah- und Fernverschattungslinie bezogen auf Koordinate und Höhenangabe
- ☀ Abbildung Potenzial Sonnenscheindauer und Sonnenscheinzeiten für bestimmte Kalendertage bezogen auf Koordinate
- ☀ Download der Solarernergie-Nutzungspotenziale für Eignungsflächen von Dächern



## 4 METHODIK DER ERMITTLUNG UND BERECHNUNG

Bisherige Ansätze zur Berechnung des Solarpotenzials gingen von mittel aufgelösten Geländemodellen ( $\geq 10$  m Rasterzellweite) aus. Im hochgenauen Simulationsbereich zur innerstädtischen Besonnung existierten CAD und GIS-Anwendungen, die aufgrund der hohen Rechenanforderungen allerdings maximal für einzelne Straßenzüge oder Stadtviertel geeignet waren. Im Zuge verschiedener forschungsnaher Projekte wurden Softwaremodule entwickelt, welche die Verarbeitung großflächiger und gleichzeitig hochauflösender Datensätze auf Rasterbasis mit Rasterzellweiten bis  $\leq 1$  m ermöglichen.



**ABBILDUNG 16: VERGLEICH DER DETAILGENAUIGKEIT - BISHER VERFÜGBAR (LINKS) UND AUS LASERSCANNING GENERIERTES DIGITALES GELÄNDEMOMELL (RECHTS)**

Im Zuge von SOLAR TIROL wurde eine Neuaufnahme der Oberfläche für den Dauersiedlungsraum (=Aktualisierung) durchgeführt und mit den schon bestehenden ALS-Daten im 1 m-Raster für die restliche Landesfläche verschnitten. Ausgenommen von der Neuaufnahme waren der Bezirk Osttirol und Landeck, welche bereits bestehenden Solarkartierungen auf hochauflösten Oberflächenmodellen besitzen. Hier wurden die vorliegenden Ergebnisse mit der neuen Methode der Wetterkorrektur nachbearbeitet, um eine lückenlose und konsistente Aussage für das Land Tirol zu erhalten.

### ANWENDUNG RASTERDATENSÄTZE

Für alle in diesem Projekt erzeugten Rasterdatensätze und Ergebnisse gilt: in Abhängigkeit der Ausrichtung (Neigung und Exposition) und der Geländeoberfläche (z. B. Dachfläche) wurde die kurzweilige Einstrahlung als Summe der direkten Strahlung und der diffusen Himmelsstrahlung berechnet.

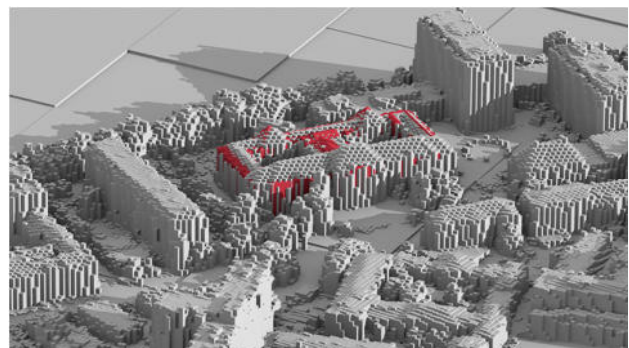
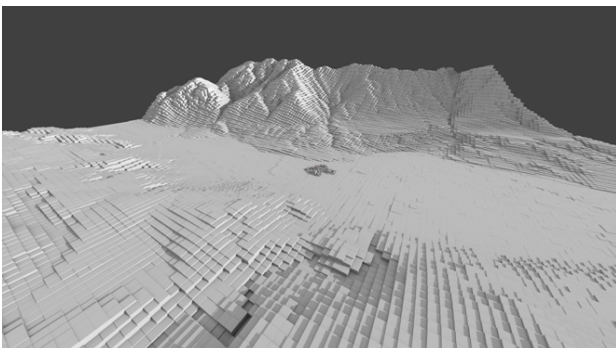
- ☀ Die Berechnung wurde zunächst unter Annahme einer Standardatmosphäre ohne Bewölkung für einen Zeitpunkt (i.e. Sonnenstand) durchgeführt.
- ☀ Für die Bestimmung der diffusen Himmelsstrahlung wurde die Größe der wirksamen Himmelsfläche ermittelt, die einerseits von der Ausrichtung der Dachfläche, andererseits von der Horizontüberhöhung infolge der umliegenden Topographie abhängt.
- ☀ Zusätzlich zur Berücksichtigung des Sonnenstands in Relation zur Flächennormalen des Zielobjekts wurde die Abschattung durch umliegende Objekte oder entfernte Topographie berücksichtigt.
- ☀ Um Summen des Solarpotenzials über die Zeiträume (Tages-, Monats-, saisonale oder Jahressummen) zu erhalten, wurden diese instantanen Solarpotenzialwerte iterativ für mehrere Zeitpunkte pro Tag (halbstündlich) und im Jahresgang (5-tägig) berechnet und die erzielten Einzelergebnisse aufsummiert.
- ☀ Diese Ergebnisse wurden in weiterer Folge mit Bewölkungsdaten (auf Monatsbasis) korrigiert und so an die lokalen Gegebenheiten angepasst.

Diese Ergebnisse ermöglichen die Angabe des Solarpotenzials in kWh/m<sup>2</sup> für jede Rasterzelle und stellen somit eine adäquate Planungsgrundlage für die Errichtung von solartechnischen Anlagen dar. Auf Basis dieser räumlich und zeitlich hochaufgelösten Ergebnisse können anschließend Generalisierungen (räumlich und/oder zeitlich) durchgeführt werden:

- ☀ Solarpotenzial einschließlich Statistik für jede Dachfläche
- ☀ Statische Analysen für Zeiträume (Jahresgang), z. B. energietechnisch besonders relevante Zeiträume wie die Übergangsjahreszeiten
- ☀ Klassifikation in geeignete und weniger geeignete (Dach-)flächen

## NEUERUNGEN IN DER SOLARPOTENZIALBERECHNUNG

Im Zuge des Projektes konnten Verbesserungen der Simulationsgeschwindigkeit erzielt werden. Mit der multiskalaren Solarpotenzialerhebung können erstmals hochaufgelöste Kacheln des Laserscan-Oberflächenmodells (1 m-Raster) mit umliegenden gröberen Kacheln (10 m-Raster) ummantelt werden, was zu einer deutlich Zeitreduktion bei gleichen Ergebnissen führt.



**ABBILDUNG 17: HOCHAUFGELOSTE KACHELN DES LASERSCAN-OBERFLÄCHENMODELLS MIT UMLIEGENDEN GRÖßEREN**



Jahresdurchschnitt  $1.367 \text{ W/m}^2$ . Weiterhin hat der Einfallswinkel der Strahlung entscheidenden Einfluss auf die Strahlungsleistung.

Der Einfluss der Atmosphäre auf die Strahlung ist wesentlich komplexer. Es werden dabei die drei Prozesse Streuung, Absorption und Reflexion unterschieden. Absorption und Reflexion zurück ins Weltall vermindern die Strahlungsleistung am Erdboden. Reflexion und vor allem Streuung tragen aber auch dazu bei, dass auf die Erdoberfläche nicht nur direkte Sonnenstrahlung trifft, sondern zusätzlich diffuse Strahlung. Diffuse Strahlung unterscheidet sich zum einen spektral von der direkten Strahlung, und zum anderen ist sie anders als die direkte Strahlung gerichtet und trägt deshalb anders als die direkte Strahlung zum photovoltaischen und solarthermischen Potenzial bei. Es ist deshalb sehr wichtig den direkten und diffusen Strahlungsanteil zu bestimmen. Die größten atmosphärischen Einfluss auf die Strahlung haben aber Wolken.

## DER EINFLUSS VON WOLKEN

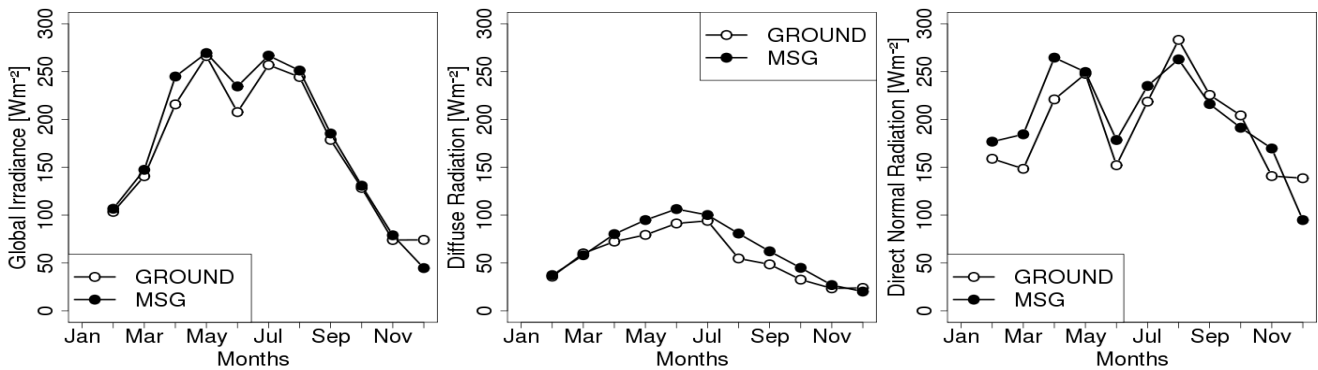
Die mikrophysikalischen Prozesse der Wolkenbildung, die eng verknüpft sind mit dem Strahlungstransfer durch Wolken sind (noch) sehr unzureichend verstanden. Modelle, die realistisch den Strahlungstransfer in Wolken beschreiben können, werden derzeit nur in der Grundlagenforschung bei Fallstudien angewendet. Um den Einfluss der Wolken flächendeckend zu berücksichtigen wird deshalb meist eine extrem starke Vereinfachung bzw. Parametrisierung vorgenommen. Dabei werden weder Wolkendicke, noch die Tröpfchengröße und der Flüssigwassergehalt der Wolken berücksichtigt. Allein die vom Weltall gemessene Reflexivität beschreibt die Wolken.

Um den Einfluss von Wolken zu berücksichtigen wurden Satellitendaten des Geostationären Meteosat Satelliten aus den Jahren 2004 bis 2012 verwendet. Diese Daten bilden eine homogene Zeitreihe mit einer zeitlichen Auflösung von 15 Minuten und einer räumlichen Auflösung von  $0,02^\circ$  (ca. 2 km).

Der Satellit misst die von der Erdoberfläche reflektierten Strahldichten. Wolken reflektieren sehr stark, dunkle Oberflächen sehr wenig. Besonders im alpinen Gelände ist es schwer zwischen Wolken und hellem (z.B. schneebedecktem) Untergrund zu unterscheiden. Im Projekt CMSAF (<http://www.cmsaf.eu>) wurden die Algorithmen zur Wolkenerkennung schrittweise verbessert. Meteoswiss entwickelte zusätzlich einen modifizierten Algorithmus, der eine besonders hohe Genauigkeit im alpinen Gelände aufweist. Im Projekt SOLAR TIROL stehen der von Meteoswiss berechnete Wolkenindex für Nord und Südtirol zur Verfügung. Der Wert der Bewölkungsstärke wird als Clear Sky Index (CI) bezeichnet. Dieser Wert wird verwendet, um die wolkenlose Bestrahlungsstärke zu korrigieren.

Um die Genauigkeit der vorhandenen Algorithmen zu testen, wurden die Messdaten von 11 Stationen in Südtirol verwendet. Es stehen Messdaten aus dem Jahr 2011 zur Verfügung. Die Monatsmittelwerte der horizontalen Bestrahlungsstärke wurde verglichen. Es zeigte sich, dass der modifizierte Meteoswiss Algorithmus (Heliomont) signifikant bessere Ergebnisse liefert. Das liegt vor allem an der verbesserten Wolkenerkennung. Am Flughafen Bozen wird nicht nur die globale Bestrahlungsstärke gemessen,

sondern auch die einzelnen Komponenten (direkte und diffuse) Bestrahlungsstärke. Die beiden Komponenten tragen unterschiedlich zum photovoltaischen und solarthermischen Ertrag bei.



**ABBILDUNG 20: VERGLEICH VON GEMESSENER UND BERECHNETER BESTRAHLUNGSSTÄRKE (MONATSMITTELWERTE) AM FLUGHAFEN BOZEN. (LINKS — GLOBALSTRAHLUNG, MITTE — DIFFUSE STRAHLUNG, RECHTS — DIREKTE STRAHLUNG)**

In den Grafiken wird deutlich, dass es möglich ist, auch die direkte und diffuse Strahlung getrennt mit dem einfachen Clear Sky Index Ansatz zu bestimmen, allerdings ist die Genauigkeit bei der Globalstrahlung höher. Eine fehlerhafte Beschreibung der Wolken wirkt sich wesentlich stärker auf die direkte und die diffuse Strahlung aus, als auf die globale Strahlung.

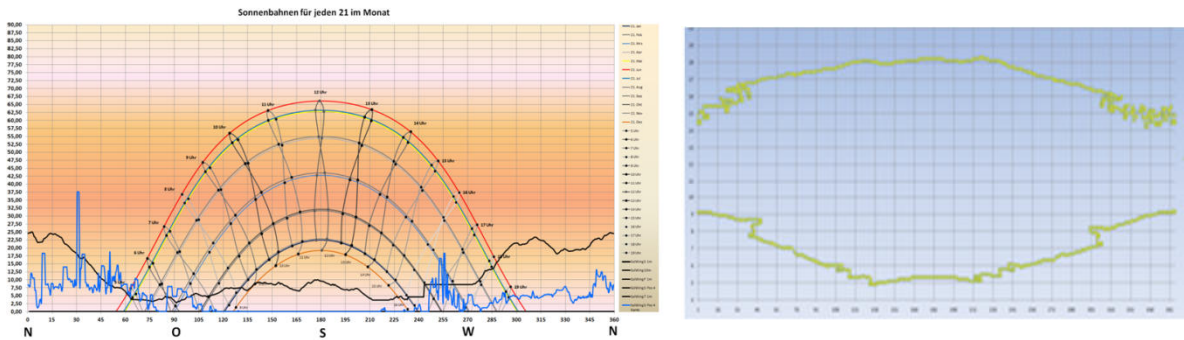
## SONNENSCHINDAUER

Neben der solaren Einstrahlung wurde für jeden  $\text{m}^2$  im Projektgebiet auch die Sonnenscheindauer sowie der erste Sonnenaufgangs- und der letzte Sonnenuntergangszeitpunkt unter Berücksichtigung sämtlicher Verschattungsquellen erhoben. Die Sonnenscheindauer wurde rein durch den direkten Sonnenstrahl inkl. aller zwischenzeitlichen Teilverschattungen pro Rasterzelle zu Stundenwerten summiert. D.h. in den Sonnenstundensummen sind auch die durch z.B. Bäume auftretenden Schattenwürfe enthalten.

Diese Analysen wurde an sieben Tagen (21. Dez bis 21. Jun) in 10-Minuten-Schritten durchgeführt, um eine exakteren ersten Sonnenauf/-untergang und Sonnenstundensumme zu erzielen. Diese Informationen liegen im Rasterformat vor und wurden sowie die Einstrahlungsergebnisse auch in die zonalen Statistiken eingebettet. Dies ermöglicht erstmals die Berücksichtigung des lokalen Nutzerverhaltens (BewohnerIn) bzw. eine verbesserte Abschätzung der solartechnischen Verwendung und der Zeiträume der potenziellen Energieerträge.

Die Ergebnisse aus dieser Simulation sind keine wetterdatenkorrigierten Informationen. Das bedeutet, dass die Ergebnisse die potenziell maximal möglichen Sonnenstunden darstellen. Der erste Sonnenaufgang und letzte Sonnenuntergang ist ebenfalls nicht wetterkorrigiert und entspricht dem der Exaktheit des Oberflächenmodells und des ersten Zeitpunktes in einer Genauigkeit von 10 Minuten und größer.





**ABBILDUNG 21: SONNENBAHNDIARAMM MIT HORIZONTLINIE AUF LASERSCAN- UND 10M-DATEN UND VISUALISIERUNG DES SONNENAUF UND SONNENUNTERGANGSZEITPUNKTE FÜR EIN JAHR AN EINEM PUNKT**

Die Abbildungen zeigen ein Sonnenbahndiagramm und eine Darstellung mit mehreren Sonnenauf- und Untergangszeiten welche durch die Nahverschattungen auftreten können.

## ERMITTLUNG DER GEBÄUDEUMRINGE/DACHFLÄCHEN ANHAND VON ALS-DATEN

Einer der zentralen Themen war die Ableitung von Gebäudeformen aus den Rohdaten der ALS-Punktwolke. In den folgenden Punkten werde die wichtigsten Schritte der entwickelten Methode aufgezeigt. Eine vollständige Beschreibung ist unter <https://www.tirol.gv.at/statistik-budget/tiris/tiris-anwendungen/solar-tirol/ergebnisse-und-zugaenge/> zu finden.

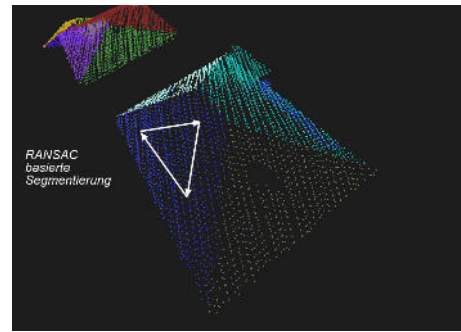
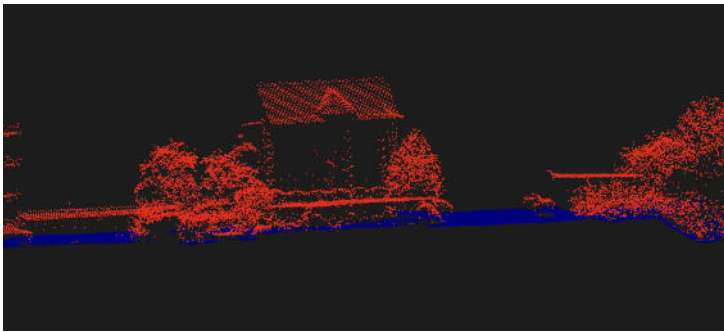
Die Ableitung von Gebäudeformen wurde in zwei Hauptthemengebieten entwickelt:

- ☀ Die Klassifikation der Rohpunkte bzw. die Extraktion von Gebäudeobjekten und Teildachflächen aus den Rohpunkten
- ☀ und die Ableitung von Polygon-Gebäudelayern aus den klassifizierten Rohdaten für die komfortable Analyse, Verwaltung und Visualisierung in Standard GIS-Software und WebGIS-Services.

### KLASSIFIKATION UND GEBÄUDEEXTRAKTION

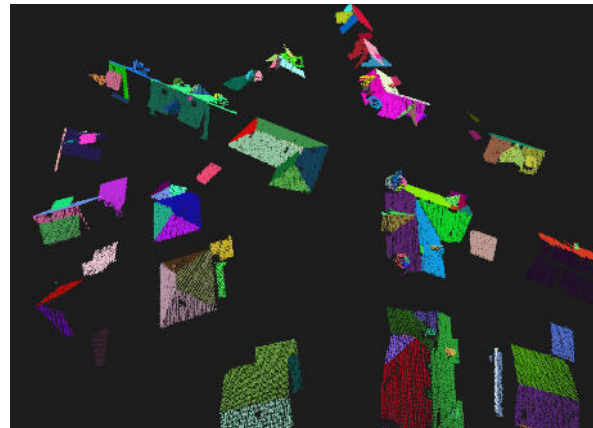
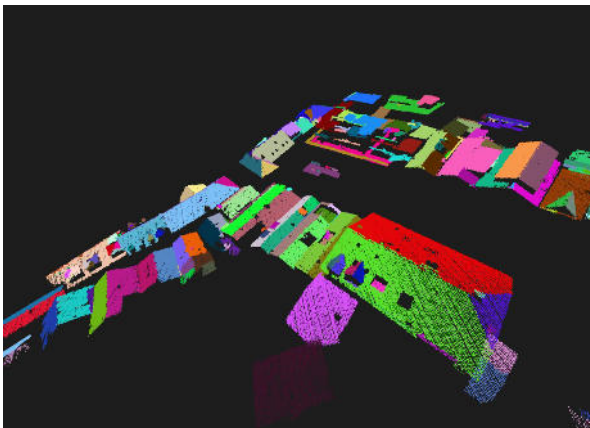
Unter diesem Themenkomplex ist der Prozess der Bedeutungszuweisung auf Basis von lokalen geometrischen Eigenschaften in den Rohdaten zu verstehen. Dieser ist erforderlich, da es sich bei den Rohdaten lediglich um eine dichte Ansammlung an eingemessenen 3D-Punkten handelt, die keinerlei Objektbedeutung inne haben.

Für eine Klassifikation der durch die LiDAR-Befliegung akquirierten Punkte als Gebäudepunkte, kann lediglich die geometrische Verteilung der eingemessenen Punktwolke für eine entsprechende Zuordnung herangezogen werden. Dieser Umstand erfordert die Verwendung spezieller Algorithmen zur Bodenklassifikation, Segmentierung und Gebäudeklassifikation. Zu Beginn steht die Ausscheidung von Bodenpunkten aus der Gesamtpunktwolke, was die Grundlage für die Bestimmung von Gebäudehöhen darstellt. Dies geschieht auf Basis der Analyse von unterschiedlichen Punkthöhen in Relation zu einander.



**ABBILDUNG 22: BEISPIEL EINER TRENNUNG VON OBJEKT UND BODENPUNKTEN UND REINE DACHPUNKTE**

Als künstliche Bauwerke können Gebäude durch ihre regulären Formen von anderen Objekten auf der Erdoberfläche unterschieden werden. Hier bieten sich vor allem planare Dachflächen als Unterscheidungsmerkmal an. Dafür müssen zunächst lokale Punktnachbarschaften ausgewertet und homogene geometrische Grundeinheiten (Segmente) erkannt werden. Letzterer Prozess wird auch als Segmentierung bezeichnet, der in diesem Fall auf Ebenen basiert. Die saubersten Teilflächenunterscheidungen von Gebäudedächern wird durch den Random Sampling Consensus Ansatz (RANSAC) erzielt. Er basiert auf der iterativen Ebenensuche in einer Ansammlung von Punkten. Da eine Ebene durch minimal drei Punkte beschrieben werden kann, werden unterschiedliche Dreipunktkombination getestet und wird solange wiederholt bis sämtliche Punkte zugewiesen sind.



**ABBILDUNG 23: BEISPIEL EINER EBANENSEGMENTIERUNG IM ALTSTADTBEREICH VON KUFSTEIN**

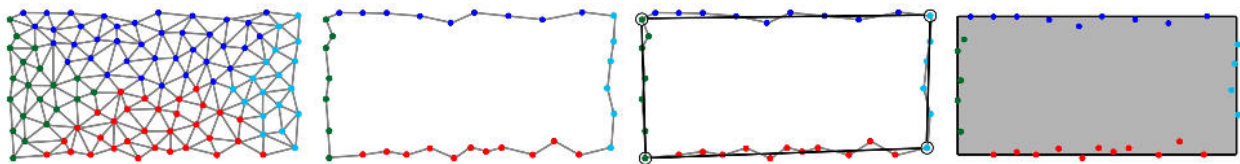
## VEKTORISIERUNG UND GEBÄUDELAYERERZEUGUNG

Unter diesem Prozess ist die Datenvereinfachung und Datenkondensation gemeint. Er beinhaltet

- ☀ die Eliminierung der sehr redundanten Information der Ausgangspunktwolke
- ☀ die Reduktion des Datenvolumens
- ☀ die Überführung in gebräuchliche Austauschformate wie sie von Standard-GIS-Software verarbeitet werden und dementsprechend komfortabler verwaltet werden können.

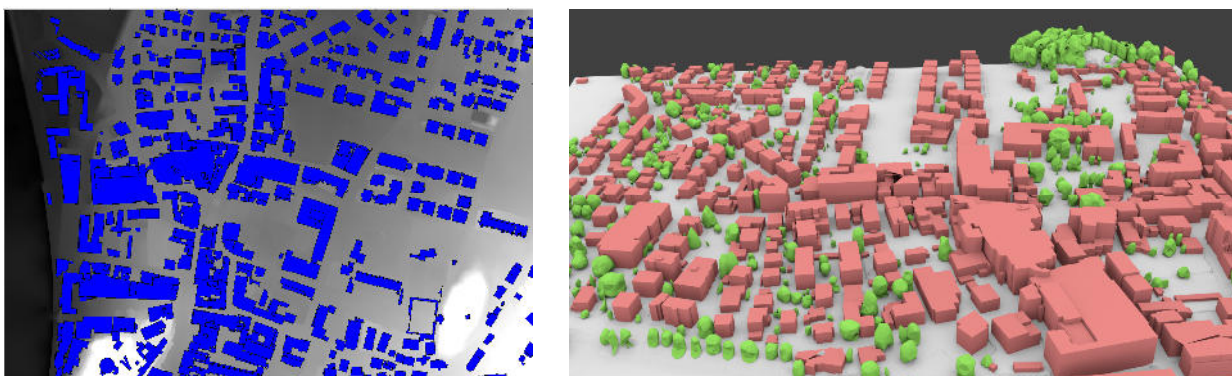
Die hier beschriebene Überführung in Polygon-Layer beinhaltet zudem eine räumliche Diskretisierung, welche eine einfachere Datenanalysen und detaillierte gebäude- und teildachspezifische Auswertungen zulässt. Um allerdings die ursprünglich hochgenaue geometrische Information nicht zu verfälschen, mussten spezielle Algorithmen und Arbeitsketten entwickelt werden, die es ermöglichen, geometrisch korrekte Gebäude- und Teildachpolygone abzuleiten.

Die im Rahmen des Projektes erarbeitete Arbeitskette beinhaltet das Alphashaping, Polygon-Simplifizierung, Polygon-Rektifizierung, Extrudierung von Gebäudeblöcken, sowie die orientierungsberücksichtigende Ableitung von Teildachflächen. Für jeden Gebäudekomplex beziehungsweise jede Teildachfläche wird zunächst eine Triangulierung aller Punkte vorgenommen. Von dieser Triangulierung werden, von außen nach innen wandernd, Dreiecke entfernt, welche Kanten aufweisen, die in ihrer Länge, die durchschnittlichen Punktabstände klar überschreiten. Dies erzeugt Triangulierungen, welche Konkave Hüllen zulassen und durch die Simplifizierung zu Linienelementen bzw. Gebäudeumringe führen.



**ABBILDUNG 24: SCHEMATISCHE DARSTELLUNG DES ABLAUFES**

Da über die Erzeugung eines DGMs und der eingemessenen Punkthöhen die Gebäudehöhen bestimmbar sind, lassen sich die Kartenlayer zu 3D Gebäudeblockmodellen aufwerten. Für die Erzeugung eines LOD1-Models wird zum einen die niedrigste unter einem Gebäude vorkommende Höhe verwendet. Auf der anderen Seite wird die Referenzhöhe eines Gebäudes entweder als durchschnittliche Höhe aller Dachpunkte, als maximale Höhe aller Dachpunkte (Giebelhöhe) oder als minimale Höhe aller Dachpunkte (Traufhöhe) bestimmt. Die Gebäudehöhe definiert sich dann entsprechend als Differenz zwischen Referenzgebäudehöhe und minimaler Geländehöhe. Diese daraus abgeleiteten Gebäudeinformationen (Umringe) bilden die Basis für die Ableitung der zonalen Statistiken und solartechnischen Berechnungen.

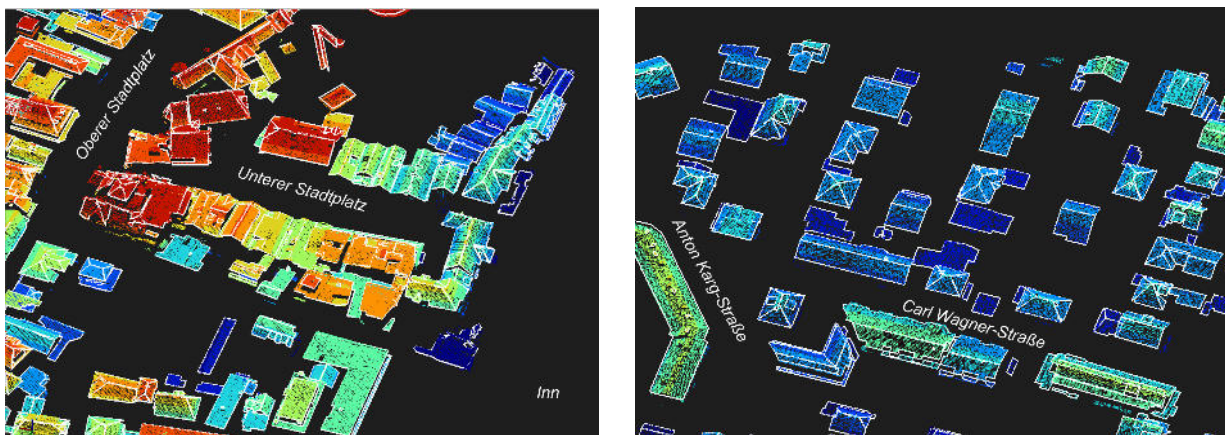


**ABBILDUNG 25: ERGEBNISSE (KUFSTEIN) FÜR DIE GEBÄUDEUMRISSABLEITUNG (LOD0) UND GEBÄUDEBLÖCKE (LOD1)**



Um eine potenzielle Verbesserung der Gebäudeableitungen (LOD2) zu untersuchen wurden weiter Algorithmen entwickelt. Während die Ableitung von Gebäudegrundrissen in der Draufsicht bzw. Kartenprojektion geschieht, weisen Teildachflächen allerdings unterschiedliche Orientierungen, Neigungswinkel und Expositionen auf.

Um den beschriebenen Vektorisierungs-Workflow auf Teildachflächen anwendbar zu machen, müssen die Segmentpunkte zunächst auf ihre dazugehörige Ebene projiziert werden und in der rechtwinkligen Draufsicht auf diese Ebene verarbeitet werden. In dieser segmentspezifischen Projektion können die Arbeitsschritte Alphashaping, Simplifizierung und Rektifizierung durchgeführt werden und die abgeleiteten Polygone danach wieder in die ursprüngliche Orientierung transformiert werden. Dies erzeugt ein Teildachflächenmodell bzw. eine 2D Teildachflächenkarte. Das Ergebnis ermöglicht die effiziente Berechnung von optimalen Belegungsdichten für Gebäudedachflächen bzw. der Ermittlung des optimalen Verhältnisses von Detailgenauigkeitsgrades und der Abschätzung des dadurch erhöhten Zeitaufwands.

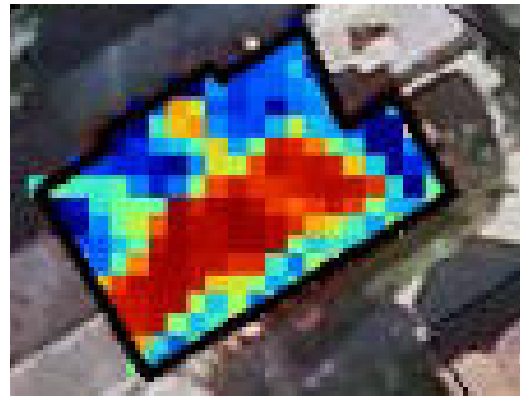


**ABBILDUNG 26: ERGEBNISSE (KUFSTEIN) FÜR DIE ABLEITUNG VON TEILDACHFLÄCHEN**

## **ERMITTLUNG DES NÖTIGEN GENAUIGKEITSGRADES ZUR ENERGIETECHNISCHEN AUSWERTUNG**

Die Arbeitspakete “Nutzungspotenzial der Dachflächen durch solarthermische Anlagen” und “optimale Belegungsdichten der Dachflächen durch Photovoltaik und Solarthermiemodule” sind in einem synergetischen Ansatz zu sehen. Die Basis beider Pakete ist die Potenzialberechnung in kWh/m<sup>2</sup> aus der Einstrahlungssimulation und die Gebäudeumringe. Um aus der Fragestellung heraus eine verbesserte Belegung von Dächern zu erzielen, musste eine exaktere Methode der Belegungsdichtebestimmung gefunden werden (siehe Vektorisierung und Gebäudelayererzeugung).

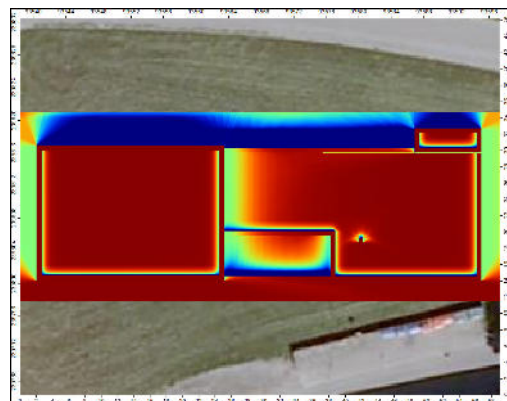
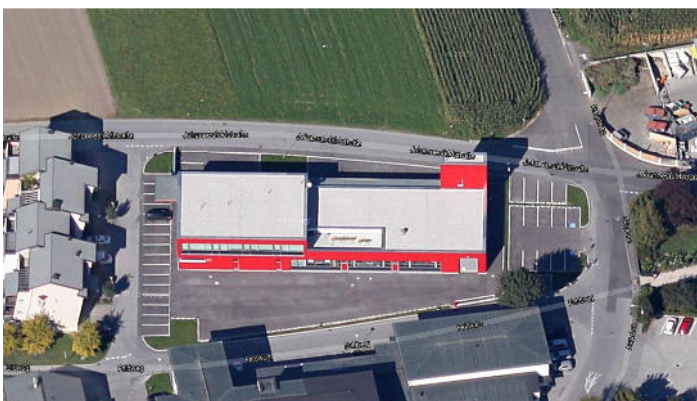
Dabei wurde mit einer Skalierung im mm-Bereich (= technische Modulmaße) begonnen und parallel zu den Ergebnissen aus der Gebäudeumring- und Teildachflächenableitungen die Skalierung immer weiter reduziert, um den gemeinsamen Schnittpunkt der Mindestgröße der Rasterzellen- und Polygonableitung zu ermitteln.



**ABBILDUNG 27: VOLLFLÄCHIGE BELEGUNG AUF DEM 1 M-RASTER**

Die Abbildungen zeigen den Unterschied der einzelnen Versuche auf verschiedenen Auflösungsstufen auf. Gleichzeitig wurde die zeitliche Komponente berücksichtigt, um das optimale Verhältnis zur verfügbaren Datenbasis (ALS-Daten), Genauigkeit und Simulationsaufwand abschätzen zu können. Die Abbildung zeigt die herkömmliche Methode einer theoretischen Belegung auf einem 1 m-Rastergrid.

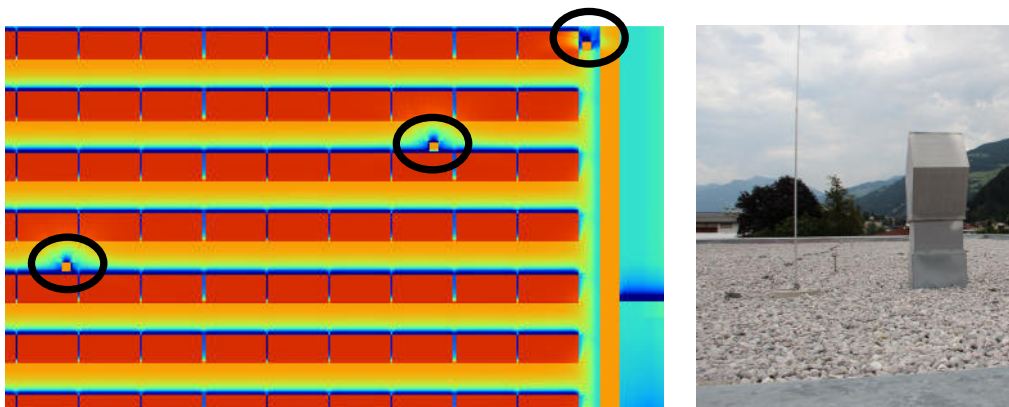
Als exaktes Testgebäude wurde die Feuerwehrrhalle Volders verwendet und bestmöglich mit Photovoltaik belegt, um die Unterschiede der einzelnen Auflösungen zu ermitteln zu können. Dazu wurde das Gebäude per Hand in den vorhandenen Laserscan eingebunden und eine Einstrahlungsanalyse vorgenommen.



**ABBILDUNG 28: LUFTBILD (GOOGLE) DER FEUERWEHRHALLE VOLDERS, CAD DIGITALISIERUNG DES GEBÄUDE (1 CM)**

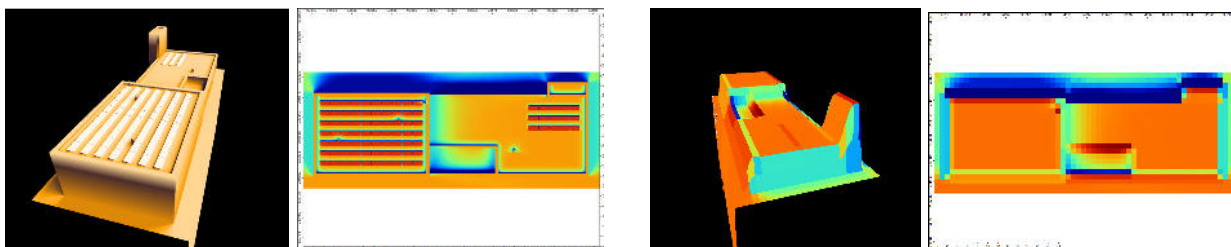
Nach der Simulation auf dem 1 cm-Raster sind die Bereiche mit geringerer Einstrahlung in blau zu erkennen. Im Vergleich zur Simulation auf einem idealisierten 1 m-Raster werden die Unterschiede sofort deutlich. Auf der gröberen Auflösung ist es deutlich schwieriger eine korrekte Belegung mit Modulen auf mm Basis zu erstellen. Je genauer die Gebäude aus dem Laserscan abgeleitet werden, desto exakter können die Belegungen für Module erfolgen.





**ABBILDUNG 29: AUSWIRKUNGEN DER LÜFTUNGSEINLÄSSE MIT AUSMASSEN VON 50 X 50 CM**

In den Abbildungen mit der verbesserten Genauigkeit aus den CAD-Plänen, sind die Lüftungseinlässe mit den Schattenauswirkungen auf die Module eindeutig zu erkennen.



**ABBILDUNG 30: VERGLEICH DER UNTERSCHIEDLICHEN GEBÄUDEGENAUIGKEITEN (1 CM ZU 1 M – RASTER)**

Ein wesentlicher Nachteil des 1 cm-Rasters ist die enorme Rechenzeit, die mit zunehmender Analysefläche um ein vielfaches ansteigt.

## ABLEITUNG DER EIGNUNGSFLÄCHEN VON DÄCHERN

Im Rahmen des Projektes SOLAR TIROL erfolgte die Erstellung von Informationen für die effiziente Nutzung der Solarenergie auf Dachflächen (Berechnung von Eignungsflächen, Zonen und zonale Statistiken). Die dafür notwendigen Daten (Raster- und Vektorinformationen) wurden vom Land Tirol zur Verfügung gestellt.

### BERECHNUNGSBASIS

Für das gesamte Gebiet von Tirol wurden nicht nur Raster des Solarpotenzials berechnet, es wurden ebenso zonale Statistiken über die Auswertungen von Dachpolygonen erstellt.

Die zonale Statistiken beinhalten:

- ☀ Fläche eines Daches
- ☀ Dachneigungen
- ☀ Ausrichtungen
- ☀ Minima und Maxima der Strahlungswerte auf diese Flächen
- ☀ Mittelwerte und Summenwerte des Solarpotenzials je Dacheinheit



Mit diesen Informationen können Solarthermie und Photovoltaikanlagen besser geplant, positioniert und dimensioniert werden. Die geeigneten Flächen auf den Dächern sind als Polygone unterschiedlicher Klassen dargestellt. Hierin enthalten sind Informationen zu Warmwasser- und Sonnenstromerträgen. Neu ist die Berechnung, wann der erste und der letzte Sonnenstrahl auf diese Flächen auftrifft. In Kombination mit dem Nutzerverhalten können Anlagen so besser an die Bedürfnisse angepasst werden.

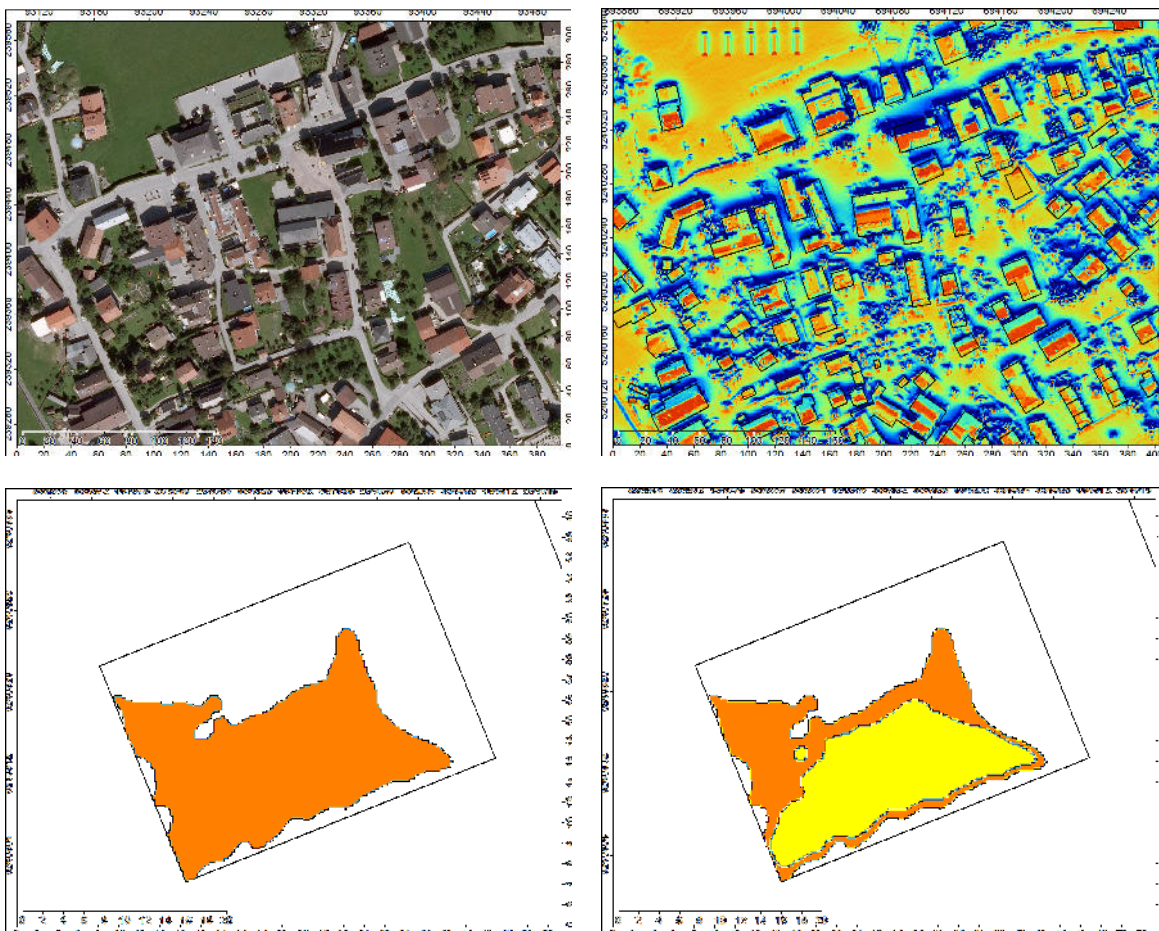
| Name | Art                  | Einheit         | Monat | Tag | Min | Max | Sum | Mean | Name | Art                  | Einheit           | Monat | Tag | Min | Max | Sum | Mean |
|------|----------------------|-----------------|-------|-----|-----|-----|-----|------|------|----------------------|-------------------|-------|-----|-----|-----|-----|------|
| G01  | Einstrahlung (Summe) | Kilowattstunden | 1     |     | x   | x   | x   | x    | G25  | Höhe (DSM)           | Meter             |       |     | x   | x   |     | x    |
| G02  | Einstrahlung (Summe) | Kilowattstunden | 2     |     | x   | x   | x   | x    | G26  | Neigung              | Grad              |       |     | x   | x   |     | x    |
| G03  | Einstrahlung (Summe) | Kilowattstunden | 3     |     | x   | x   | x   | x    | G27  | Ausrichtung (0=Nord) | Grad              |       |     | x   | x   |     | x    |
| G04  | Einstrahlung (Summe) | Kilowattstunden | 4     |     | x   | x   | x   | x    | G28  | Aufgang              | Uhrzeit (Dezimal) |       | 21  | x   | x   |     | x    |
| G05  | Einstrahlung (Summe) | Kilowattstunden | 5     |     | x   | x   | x   | x    | G29  | Aufgang              | Uhrzeit (Dezimal) |       | 52  | x   | x   |     | x    |
| G06  | Einstrahlung (Summe) | Kilowattstunden | 6     |     | x   | x   | x   | x    | G30  | Aufgang              | Uhrzeit (Dezimal) |       | 80  | x   | x   |     | x    |
| G07  | Einstrahlung (Summe) | Kilowattstunden | 7     |     | x   | x   | x   | x    | G31  | Aufgang              | Uhrzeit (Dezimal) |       | 111 | x   | x   |     | x    |
| G08  | Einstrahlung (Summe) | Kilowattstunden | 8     |     | x   | x   | x   | x    | G32  | Aufgang              | Uhrzeit (Dezimal) |       | 141 | x   | x   |     | x    |
| G09  | Einstrahlung (Summe) | Kilowattstunden | 9     |     | x   | x   | x   | x    | G33  | Aufgang              | Uhrzeit (Dezimal) |       | 172 | x   | x   |     | x    |
| G10  | Einstrahlung (Summe) | Kilowattstunden | 10    |     | x   | x   | x   | x    | G34  | Aufgang              | Uhrzeit (Dezimal) |       | 355 | x   | x   |     | x    |
| G11  | Einstrahlung (Summe) | Kilowattstunden | 11    |     | x   | x   | x   | x    | G35  | Untergang            | Uhrzeit (Dezimal) |       | 21  | x   | x   |     | x    |
| G12  | Einstrahlung (Summe) | Kilowattstunden | 12    |     | x   | x   | x   | x    | G36  | Untergang            | Uhrzeit (Dezimal) |       | 52  | x   | x   |     | x    |
| G13  | Dauer (Mittel)       | Stunden         | 1     |     |     |     |     | x    | G37  | Untergang            | Uhrzeit (Dezimal) |       | 80  | x   | x   |     | x    |
| G14  | Dauer (Mittel)       | Stunden         | 2     |     |     |     |     | x    | G38  | Untergang            | Uhrzeit (Dezimal) |       | 111 | x   | x   |     | x    |
| G15  | Dauer (Mittel)       | Stunden         | 3     |     |     |     |     | x    | G39  | Untergang            | Uhrzeit (Dezimal) |       | 141 | x   | x   |     | x    |
| G16  | Dauer (Mittel)       | Stunden         | 4     |     |     |     |     | x    | G40  | Untergang            | Uhrzeit (Dezimal) |       | 172 | x   | x   |     | x    |
| G17  | Dauer (Mittel)       | Stunden         | 5     |     |     |     |     | x    | G41  | Untergang            | Uhrzeit (Dezimal) |       | 355 | x   | x   |     | x    |
| G18  | Dauer (Mittel)       | Stunden         | 6     |     |     |     |     | x    | G42  | Dauer                | Stunden           |       | 21  |     |     |     | x    |
| G19  | Dauer (Mittel)       | Stunden         | 7     |     |     |     |     | x    | G43  | Dauer                | Stunden           |       | 52  |     |     |     | x    |
| G20  | Dauer (Mittel)       | Stunden         | 8     |     |     |     |     | x    | G44  | Dauer                | Stunden           |       | 80  |     |     |     | x    |
| G21  | Dauer (Mittel)       | Stunden         | 9     |     |     |     |     | x    | G45  | Dauer                | Stunden           |       | 111 |     |     |     | x    |
| G22  | Dauer (Mittel)       | Stunden         | 10    |     |     |     |     | x    | G46  | Dauer                | Stunden           |       | 141 |     |     |     | x    |
| G23  | Dauer (Mittel)       | Stunden         | 11    |     |     |     |     | x    | G47  | Dauer                | Stunden           |       | 172 |     |     |     | x    |
| G24  | Dauer (Mittel)       | Stunden         | 12    |     |     |     |     | x    | G48  | Dauer                | Stunden           |       | 355 |     |     |     | x    |

**ABBILDUNG 31: UMFANG DER VERWENDETEN DATENGRUNDLAGEN MIT DER DAZUGEHÖRIGEN KENNUNG (G01-G48)**

## GIS-TECHNISCHE ANALYSE DER DACHFLÄCHEN UND TEILDACHFLÄCHEN

Wie aus den Untersuchungen im Vorfeld hervorging, wurde die sinnvolle Auflösung von 20 x 20 cm zur Berechnung der Eignungsflächen und geeigneten Zonen ermittelt.

Die Basis für die Berechnung der Eignungsflächen bilden die abgeleiteten Gebäudeumringe und die Einstrahlungsergebnisse als Raster in kWh/m<sup>2</sup> und Jahr (Jahressumme). Diese wurden mit einem Puffer von 1 m um den Gebäudeumring herum ausgestochen und auf eine Rasterauflösung von 20 cm gebracht. Dieser Schritt dient zur Dämpfung des Raster- und Randeffektes, wenn der Gebäudeumring nicht mit dem Raster verläuft. Mit dem definierten Mindestgrenzwert von 950 kWh/m<sup>2</sup>a und der Bedingung von mindestens 5 m<sup>2</sup> zusammenhängender Fläche über dem Grenzwert wurden jene Zonen, welche aus dem 20 cm-Raster die zwei Mindestbedingungen erfüllen, in Polygone umgewandelt und abgespeichert. Mit den Polygonen sind nun jene Flächen bestimmt, welche sich für eine technische Nutzung eignen würden. Durch weitere Filterung und Glättung konnten noch kleinere Fragmente beseitigt werden. Anhand dieser Polygone wurden sämtliche Raster (G01-G48) untersucht und die Werte daraus als Attribut angehängt. (Anmerkung: Für die Berechnung der Klassen über 950 kWh/m<sup>2</sup>a wurde die Bedingung der Mindestfläche von 5 m<sup>2</sup> ausgeschlossen.) Die Abbildungen sollen das Konzept bildlich nochmals beschreiben:



**ABBILDUNG 32: LUFTBILD, EINSTRahlungSERGEBNIS IM 1 M-RASTER, MINDESTFLÄCHEN MIT MINDESTWERT INKL. RESAMPLE, ZWEI KLASSEN**

# GIS-TECHNISCHE ABLEITUNG VON SOLARENERGIE-NUTZUNGSPOTENZIALEN

Zur Erstellung der GIS-technischen Ableitungen wurden für die Solarthermie und für die Photovoltaik jeweils drei am Markt vertretenen Bautypen bzw. Zelltechnologien und deren spezifischen Parametermittelwerte verwendet.

Der Temperatureinfluss für die verschiedenen Technologien wurde anhand von 28 ZAMG Wetterstation in Tirol (Dauersiedlungsraum) ermittelt.

| Monat                    | T01   | T02    | T03   | T04   | T05    | T06    | T07    | T08    | T09    | T10   | T11   | T12    |
|--------------------------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--------|
| <b>ZAMG</b><br>1981-2010 | 4,000 | -2,050 | 1,985 | 6,104 | 11,146 | 14,096 | 16,127 | 15,377 | 11,565 | 7,192 | 1,373 | -2,388 |

## SOLARTHERMIE: SPEZIFISCHE PARAMETER

$$\text{Ertrag in [kWh]} = E * \eta_k$$

Mit

$$\eta_k = \eta_0 - \frac{k_0 * \Delta T + k_1 * \Delta T^2}{Global}$$

|                          | $\eta_0$<br>[%] | $k_0$<br>[W/m²K] | $k_1$<br>[W/m²K] |
|--------------------------|-----------------|------------------|------------------|
| CPC - Kollektoren        | 0,73            | 3,30             | 0,012            |
| Vakuum Flachkollektoren  | 0,75            | 2,60             | 0,008            |
| Vakuum Röhrenkollektoren | 0,80            | 1,10             | 0,008            |



- E... Einstrahlung = Ergebnisse aus den Rasterdaten bzw. Summen in den SHP-Dateien
- $\eta_k$ ... Kollektorstörungsgrad
- $\eta_0$ ... optischer Wirkungsgrad (Konversionsfaktor)
- $k_0, k_1$ ... Verlustkoeffizienten
- $\Delta T$  Temperaturdifferenz Kollektor und Aussentemperatur im Tagesmittel
- Global... Einstrahlungsstärke im Tagesmittel aus ZAMG Messwerten und Berechnung der Einstrahlung

## PHOTOVOLTAIK: SPEZIFISCHE PARAMETER

$$\text{Ertrag in [kWh]} = E * \eta_M * \eta_{WR} * \eta_{WRcos} * \eta_{Kabel} * \eta_{Missm} * \eta_{kT}$$

Mit

$$\eta_{kT} = 1 + \left( \left( \frac{ct}{100} \right) * (TZG - T_0) \right); TZG = Temp + 7^\circ C + \frac{cy * YR}{T_{age}}; cy = \Delta T_0 * \left( \frac{\pi^2}{8 * \left( \frac{dT}{T_{age}} \right)} \right); YR = \frac{Global}{GO}$$

|                       | $\eta_M$ | $\eta_{WR}$ | $\eta_{WRcos}$ | $\eta_{Kabel}$ | $\eta_{Missm}$ | %/K    | $\eta_{kT}$ |
|-----------------------|----------|-------------|----------------|----------------|----------------|--------|-------------|
| Monokristalline Zelle | 17,50    | 98          | 95             | 99             | 98             | -0,450 | Formel      |
| Polykristalline Zelle | 16,00    | 98          | 95             | 99             | 98             | -0,400 | Formel      |
| Dünnschicht Zelle     | 9,00     | 98          | 95             | 99             | 98             | -0,300 | Formel      |

E... Einstrahlung = Ergebnisse aus den Rasterdaten bzw. Summen in den SHP-Dateien

$\eta_M$ ... Modulwirkungsgrad

$\eta_{WR}$ ... Wechselrichterwirkungsgrad (EURO)

$\eta_{WRcos}$ ... Blindleistungsverluste im Wechselrichter

$\eta_{Kabel}$ ... Kabelleitungsverluste

$\eta_{Missm}$ ... Verbindungsverluste

$\eta_{kT}$ ... Temperaturkorrekturwert

ct... Konstante aus dem Moduldatenblatt der Leistungsänderung des Moduls

$T_0$ ... STC Bedingung- Standardtestbedingung im Labor mit 25 °C

**TZG... Temperaturentwicklung im Modul**

Temp... Tagesdurchschnittstemperatur lt. ZAMG

7°C=TK... Konstante zur Anhebung der Zelltemperatur lt. Messungen

Tage... Tage pro Monat

**cy... Bestimmung des Einflusses der Temperatur pro Tag**

$\Delta T_0$ ... Konstante für die Temperatur hinter dem Modul, (mit Hinterlüftung - Aufdach = 43 °C)

dT max. Sonnenstunden pro Monat aus den Simulationen

**YR... Rückrechnung der Sonnentunden pro Monat**

Global... Einstrahlung aus Simulation Wetterdaten korrigiert

GO... Konstante mit 1 kW/m<sup>2</sup>

## ANWENDUNG IM TIRIS

Für die Anwendung der Berechnung bzw. Veränderung der Werte in den Attributen wurde ein Skript erstellt. Hier sind die vorangegangenen Formeln und Parameter eingebettet.

|   | DN | G01_MIN   | G01_MAX   | G01_SUM   | G01_MEAN  | G02_MIN   | G02_MAX   | G02_SUM   | G02_MEAN  | G03_MIN   | G03_MAX   | G03_SUM   | G03_MEAN  | G04_MIN   | G04_MAX   |
|---|----|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 1 | 1  | 19.558224 | 19.558224 | 19.558224 | 19.558224 | 40.591335 | 40.591335 | 40.591335 | 40.591335 | 71.880188 | 71.880188 | 71.880188 | 71.880188 | 94.076378 | 94.076378 |
| 2 | 1  | 15.559403 | 15.559403 | 15.559403 | 15.559403 | 26.812252 | 26.812252 | 26.812252 | 26.812252 | 59.166058 | 59.166058 | 59.166058 | 59.166058 | 84.537804 | 84.537804 |
| 3 | 1  | 16.001213 | 16.001213 | 16.001213 | 16.001213 | 32.683380 | 32.683380 | 32.683380 | 32.683380 | 57.286007 | 57.286007 | 57.286007 | 57.286007 | 74.461472 | 74.461472 |
| 4 | 1  | 15.860499 | 15.860499 | 15.860499 | 15.860499 | 24.647903 | 24.647903 | 24.647903 | 24.647903 | 59.580647 | 59.580647 | 59.580647 | 59.580647 | 99.374672 | 99.374672 |

**ABBILDUNG 33: MONATLICHE EINSTRALUNGSSUMMEN FÜR POLYGONE (G01, G02,...)**

Die Tabelle zeigt einen Auszug aus der Statistik für die monatlichen Einstrahlungssummen für vier Polygone mit MIN, MAX, MEAN und der Summe in kWh welche damit bearbeitet werden können.

|   | OSM ID    | DN | G01_CELLS | G01_MEAN   | G02_CELLS | G02_MEAN  | PV_8  | PV_12 | PV_16 | CPC   | VR    | VF    | Slope | Höhe | Jahr  |
|---|-----------|----|-----------|------------|-----------|-----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| 1 | 110531147 | 3  | 4956      | 322.235868 | 4956      | 31.290949 | 25.76 | 38.64 | 51.52 | 32.1  | 30.08 | 29.55 | 35    | 524  | 12.01 |
| 2 | 110531147 | 2  | 4589      | 69.073462  | 4589      | 42.241078 | 5.52  | 8.28  | 11.04 | 8.75  | 6.78  | 5.21  | 35    | 524  | 0.89  |
| 3 | 110531147 | 0  | 2202      | 246.261298 | 2202      | 28.520152 | 19.68 | 29.52 | 39.36 | 26.74 | 25.77 | 23.99 | 35    | 524  | 8.77  |
| 4 | 110531147 | 1  | 6097      | 156.858345 | 6097      | 35.718686 | 12.48 | 18.72 | 24.96 | 18.54 | 15.97 | 14.03 | 35    | 524  | 5.43  |

**ABBILDUNG 34: DETAILDATENSÄTZE ZU DEN POLYGONEN**

Der Auszug der Statistik-Technik zeigt ein Beispiel mit vier Teilflächen und den abgegriffenen Werten unter den Mindest-Flächen bzw. Mindest-Grenzwerten und für verschiedene Technologien.

Auf eine noch detaillierte Beschreibung der Umsetzung in TIRIS wird an dieser Stelle verzichtet, es wird auf die Beschreibung in Kapitel 2 verwiesen.

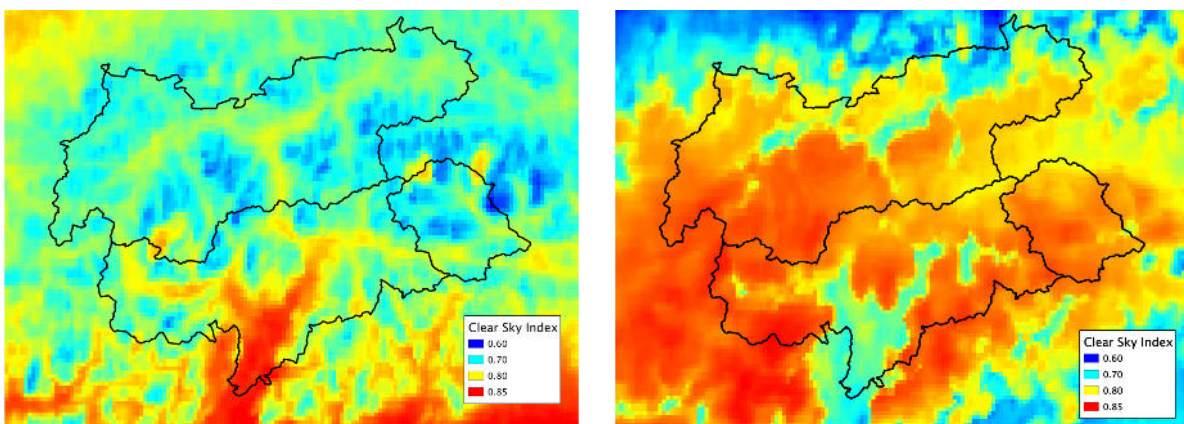


# GLOSSAR

## CLEAR SKY INDEX (CI)

Der Wert der Bewölkungsstärke wird als Clear Sky Index (CI) bezeichnet. Dieser Wert wird verwendet, um die wolkenlose Bestrahlungsstärke zu korrigieren.

Die Korrektur kann zu jedem Zeitpunkt durchgeführt werden, also mit einer maximalen zeitlichen Auflösung von 15 Minuten. Eine Korrektur mit einer täglichen oder sogar monatlichen Auflösung vermindert die Genauigkeit nur geringfügig. Die Korrektur mit monatlichen Mittelwerten des CI führt zu einer Abweichung von meist  $< 10 \text{ W/m}^2$  im Vergleich zur Auswertung mit 15 minütigen CI Werten.



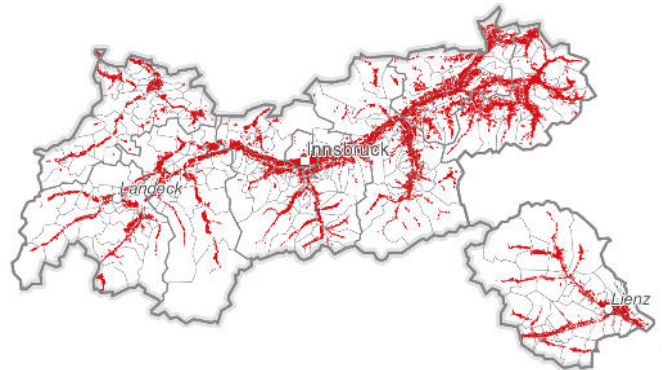
**ABBILDUNG 35: DURCHSCHNITTLICHER CLEAR SKY INDEX IM ZENTRAL ALPINEN RAUM IM AUGUST 2011**

In der Abbildung sind die Clear Sky Indizes der Monate August 2011 und Dezember 2011 für Süd- und Nordtirol dargestellt. Typische kleinräumige Bewölkungsunterschiede im Alpenen Raum sind gut zu erkennen. Konvektive Bewölkung sorgt im August über den Bergen für einen niedrigen Clear Sky Index. In den Tälern, vor allem im Eisack und Etschtal, ist es weniger bewölkt. Im Dezember treten die niedrigsten Werte im nördlichen Alpenvorland auf. Typische Inversionswetterlagen im Dezember 2011 mit Hochnebel in den Tälern und wenig Wolken im Bergland führen zu der in den Abbildungen dargestellten räumlichen Gliederung des Clear Sky Index.

## DAUERSIEDLUNGSRAUM

In Tirol liegt der Dauersiedlungsraum bei 11,8 %. Definiert ist er als die Summe der gewidmeten Flächen folgender Kategorien:

- ☀️ Baufläche
- ☀️ landwirtschaftliche Nutzung
- ☀️ Gärten, Weingärten
- ☀️ Sonstige Flächen: Straßenverkehrsflächen, Abbauf Flächen, Bahngrund, Lagerplatz und Werksgelände.



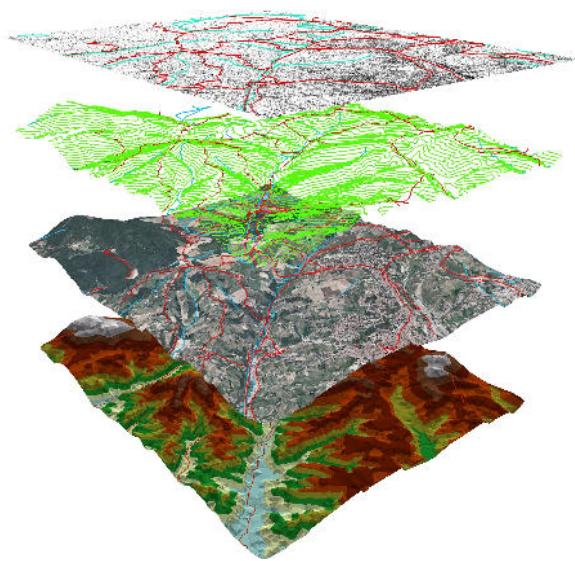
**ABBILDUNG 36: DAUERSIEDLUNGSRAUM IN TIROL, STATISTIK AUSTRIA**

Weitere Informationen (auch für jede Tiroler Gemeinde im Detail) sind auf der Homepage des Landes auf der Homepage des Landes [www.tirol.gv.at/statistik-budget/statistik/flaechennutzung/](http://www.tirol.gv.at/statistik-budget/statistik/flaechennutzung/) zu finden.

## GEOREFERENZIERTE DATENBANK UND GIS

Geoinformationssysteme werden in vielen Bereichen genutzt. Sie finden Anwendung in der Geographie, Archäologie, Marketing, Kartografie, Stadtplanung, Umweltforschung, im Ressourcenmanagement, uvm.

Ein GIS ermöglicht die Verschneidung von unterschiedlichste Datengrundlagen (auch Formate) welche mit einem Raumbezug direkt oder indirekt in Verbindung stehen.



Es können hier z.B. Naturgefahren simuliert und Zonen bestimmt werden welche eine Gefahr für den Menschen darstellen, oder auch statistische Aussagen graphisch ausgewertet werden.

Diese Daten sind georeferenziert, sprich sie haben eine exakte Lage im Raum, um solche komplexe Auswertungen durchführen zu können. Man kann sich den Aufbau in mehreren Schichten vorstellen. Die erste Schicht sind z.B. Straßen, die zweite die Flüsse, die dritte das Gelände oder Untergrund, etc.

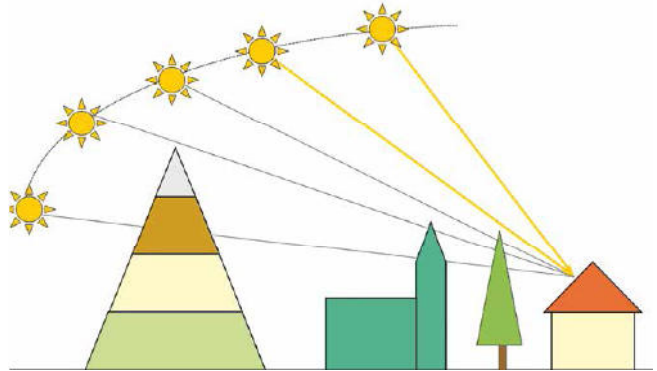
**ABBILDUNG 37: SCHICHTENMODELL EINER GIS-APPLIKATION**

## SOLARPOTENZIAL

Das Solarpotenzial einer Fläche ist ihr potenzieller kurzweiliger Strahlungsgenuss unter Berücksichtigung ihrer Exposition und Neigung und ihrer Verschattung durch Objekte im Fern- (=Relief) und Nahbereich (Vegetation, Bebauung).

Solarpotenzial je Dachfläche aus der Strahlungsgeometrie

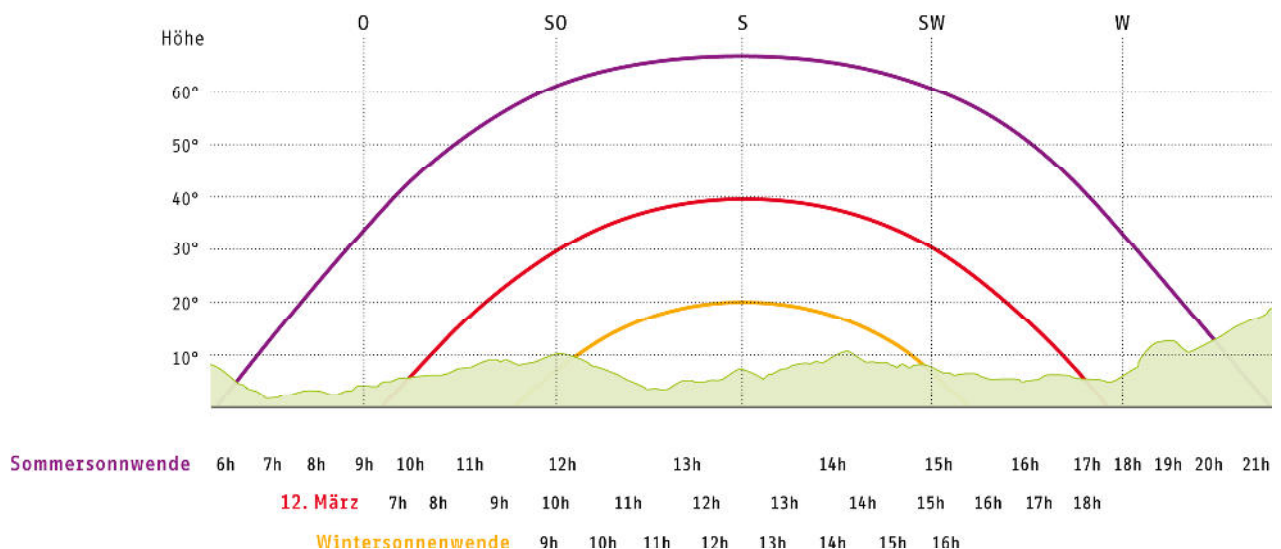
- ☀ Direkte Strahlung
- ☀ Diffuse Strahlung
- ☀ Abschattung
- ☀ Fern (Horizontüberhöhung)
- ☀ Nah (Bebauung, Vegetation)



**ABBILDUNG 38: SOLARPOTENZIALS UNTER BERÜCKSICHTIGUNG DER FERN- UND NAHVERSCHATTUNG**

## SONNENGANG

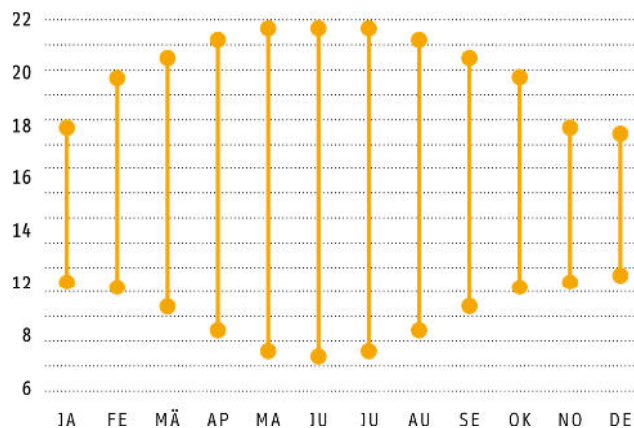
Der Sonnengang bezeichnet den Verlauf der Sonne an einem Tag von 0 bis 24 Uhr, vom Sonnenaufgang bis zum Sonnenuntergang. Bezogen auf einen Standort kann weiters die Nah- und Fernverschattung angegeben werden. Dadurch kann graphisch gut verständlich dargestellt werden, in welchen Zeitfenstern ein Standort (z.B. eine Dachfläche) potentiell nutzbare Sonnenergie aus direkter Strahlung aufweist.



**ABBILDUNG 39: SONNENGANG FÜR EINEN BESTIMMTEN STANDORT (BEISPIEL). OHNE NAHVERSCHATTUNG.**

## SONNENSTUNDEN UND SONNENSCHINDAUER

Die Sonnenstunden beschreiben den Verlauf der Sonnenscheinzeiten an einem Tag. Diese können durch Nah- und Fernverschattung auch unterbrochen sein. Die Sonnenscheindauer ist die Aufsummierung dieser einzelnen Zeiträume.



**ABBILDUNG 40: SONNENSTUNDEN FÜR EINEN BESTIMMTEN STANDORT (BEISPIEL). OHNE NAHVERSCHATTUNG.**

## WEITERE ABKÜRZUNGEN

|                        |                                                                                                     |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ALS-Daten              | “Airborne Laserscanning” – Daten aus einer Befliegung mit Laser (LiDAR)                             |
| CAD                    | “computer-aided design” – Konstruieren am Computer (z.B. Pläne)                                     |
| DGM                    | “Digitales Geländemodell” – 2,5D-Modell, beschreibt Erdoberfläche (Terrain)                         |
| DOM                    | “Digitales Oberflächenmodell” – 2,5D-Modell, DGM mit Gebäuden, Bäumen,...                           |
| LiDAR                  | “light detection and ranging” – Messmethode optische Abstandsmessung                                |
| LOD0, LOD1, LOD2       | “level of detail” – Detaillierungsgrad des 3D-Modells von Gebäuden                                  |
| Open (government) data | öffentliche Schnittstelle, für alle frei zugänglich. Unterschiedliche Formate.                      |
| ZAMG                   | “Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik” <a href="http://www.zamg.ac.at">www.zamg.ac.at</a> |

# ABBILDUNGSVERZEICHNIS

---

|                                                                                                                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Abbildung 1:</b> 3D-Visualisierung einer Gemeinde .....                                                                                                                                                         | 7  |
| <b>Abbildung 2:</b> 3D-Modell des Systems.....                                                                                                                                                                     | 8  |
| <b>Abbildung 3:</b> Messtation Absam, September 2014.....                                                                                                                                                          | 8  |
| <b>Abbildung 4:</b> Entwicklung erneuerbarer Energieträger +30 % bis 2050 (Tiroler<br>Energiemonitoringbericht 2013, eigene Berechnungen) .....                                                                    | 11 |
| <b>Abbildung 5:</b> Kumulierte Fläche und Fläche thermischer Solaranlagen (verglaste Kollektoren) in Tirol<br>2005 - 2012 (Energiemonitoring 2013. Abb. 69; Biermayr et al. (2013, 2014).....                      | 12 |
| <b>Abbildung 6:</b> Kumulierte Anzahl und Leistung anerkannter Photovoltaik-Ökostrom-Anlagen in Tirol<br>2004 – 2014, Tiroler Energiemonitoring 2014. Abb. 40 .....                                                | 13 |
| <b>Abbildung 7:</b> Eckdaten Tirol – Alle Kategorien und geeignete Eignungsflächen .....                                                                                                                           | 14 |
| <b>Abbildung 8:</b> Dachflächen ( $A_{\text{Real}}$ ) und Jahressumme der Einstrahlung (E) auf Bezirksebene .....                                                                                                  | 15 |
| <b>Abbildung 10:</b> Monatsmittelwerte der korrigierten Solarstrahlung nach Klassen, Tirol .....                                                                                                                   | 16 |
| <b>Abbildung 9:</b> Tirol – Solarpotenziale nach Klassen (Fläche, Einstrahlung, Ertrag ) .....                                                                                                                     | 16 |
| <b>Abbildung 12:</b> Monatsmittelwerte der korrigierten Solarstrahlung nach Klassen, Beispielgemeinde Mit<br>über Dachfläche umgelegten Tiroler Durchschnittswert .....                                            | 17 |
| <b>Abbildung 11:</b> Beispielgemeinde – Gegenüberstellung der gewählten Klassen (Fläche, Einstrahlung,<br>Ertrag ) .....                                                                                           | 17 |
| <b>Abbildung 13:</b> SolarSTRAHLUNG pro Jahr .....                                                                                                                                                                 | 18 |
| <b>Abbildung 14:</b> Sonnenstunden am 21. Dezember .....                                                                                                                                                           | 19 |
| <b>Abbildung 15:</b> Solarpotenzial pro Jahr.....                                                                                                                                                                  | 19 |
| <b>Abbildung 16:</b> Vergleich der Detailgenauigkeit - bisher verfügbar (links) und aus Laserscanning<br>generiertes digitales Geländemodell (rechts).....                                                         | 21 |
| <b>Abbildung 17:</b> hochaufgelöste Kacheln des Laserscan-Oberflächenmodells mit umliegenden gröberen.....                                                                                                         | 22 |
| <b>Abbildung 18:</b> Ganzheitlicher Strahlverfolgungsansatz mit allen Schattenquellen auf Basis von niedrig<br>aufgelöstem Geländemodell und hochaufgelösten Laserscan-Rasterdaten.....                            | 23 |
| <b>Abbildung 19:</b> Erhöhung der Strahlenanzahl pro Gridzelle zur Simulationsoptimierung von<br>Verschattungsquellen und Ergebnisdarstellung am Beispiel aufgeständerter Dachmodule .....                         | 23 |
| <b>Abbildung 20:</b> Vergleich von gemessener und berechneter Bestrahlungsstärke (Monatsmittelwerte) am<br>Flughafen Bozen. (Links - Globalstrahlung, Mitte - Diffuse Strahlung, rechts - direkte Strahlung) ..... | 25 |
| <b>Abbildung 21:</b> Sonnenbahndiagramm mit Horizontlinie auf Laserscan- und 10m-Daten und<br>Visualisierung des Sonnenauf und Sonnenuntergangszeitpunkte für ein Jahr an einem Punkt.....                         | 26 |
| <b>Abbildung 22:</b> Beispiel einer Trennung von Objekt und Bodenpunkten und reine Dachpunkte .....                                                                                                                | 27 |
| <b>Abbildung 23:</b> Beispiel einer Ebenensegmentierung im Altstadtbereich von Kufstein.....                                                                                                                       | 27 |
| <b>Abbildung 24:</b> Schematische Darstellung des Ablaufes .....                                                                                                                                                   | 28 |
| <b>Abbildung 25:</b> Ergebnisse (Kufstein)für die Gebäudeumrissableitung (LOD0) und Gebäudeblöcke (LOD1)<br>.....                                                                                                  | 28 |
| <b>Abbildung 26:</b> Ergebnisse (Kufstein) für die Ableitung von Teildachflächen .....                                                                                                                             | 29 |
| <b>Abbildung 27:</b> Vollflächige Belegung auf dem 1 m-Raster.....                                                                                                                                                 | 30 |



|                                                                                                                                 |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Abbildung 28:</b> Luftbild (Google) der Feuerwehrrhalle Volders, CAD Digitalisierung des Gebäude (1 cm)                      | 30 |
| <b>Abbildung 29:</b> Auswirkungen der Lüftungseinlässe mit Ausmassen von 50 x 50 cm                                             | 31 |
| <b>Abbildung 30:</b> Vergleich der unterschiedlichen Gebäudegenauigkeiten (1 cm zu 1 m–Raster)                                  | 31 |
| <b>Abbildung 31:</b> Umfang der verwendeten Datengrundlagen mit der dazugehörigen Kennung (G01-G48)                             | 32 |
| <b>Abbildung 32:</b> Luftbild, Einstrahlungsergebnis im 1 m–Raster, Mindestflächen mit Mindestwert inkl. Resample, zwei Klassen | 33 |
| <b>Abbildung 33:</b> Monatliche Einstrahlungssummen für Polygone (G01, G02,...)                                                 | 36 |
| <b>Abbildung 34:</b> Detaildatensätze zu den Polygonen                                                                          | 36 |
| <b>Abbildung 35:</b> Durchschnittlicher Clear Sky Index im Zentral Alpenen Raum im August 2011                                  | 37 |
| <b>Abbildung 36:</b> Dauersiedlungsraum in Tirol, Statistik Austria                                                             | 38 |
| <b>Abbildung 37:</b> Schichtenmodell einer GIS-Applikation                                                                      | 38 |
| <b>Abbildung 38:</b> Solarpotenzials unter Berücksichtigung der Fern- und Nahverschattung                                       | 39 |
| <b>Abbildung 39:</b> Sonnengang für einen bestimmten Standort (Beispiel). Ohne Nahverschattung                                  | 39 |
| <b>Abbildung 40:</b> Sonnenstunden für einen bestimmten Standort (Beispiel). Ohne Nahverschattung                               | 40 |





[www.tirol2050.at](http://www.tirol2050.at)



Kontakt: Energie Tirol  
Südtiroler Platz 4, 6020 Innsbruck, Österreich

Tel.: +43 (0)512 589 913, [info@tirol2050.at](mailto:info@tirol2050.at)