

Der Grazer Solardachkataster

Ein Gemeinschaftsprojekt des Grazer Umweltamtes und des Amtes für Stadtvermessung

Auszug aus:

KEK GRAZ 2020

Zwischenbericht April 2011, Anhang 3, Aktionsteam 2, Fernwärme & Solar

Ausgangslage

Die Aktualität der Themen Umwelt- und Klimaschutz und die Auswirkungen des Klimawandels auf Mensch und Natur tragen nicht zuletzt dazu bei, dass die Nutzung der zu den regenerativen Energien zählenden Solarenergie und die Errichtung von Solaranlagen immer lukrativer werden. „Thermische Solaranlagen“ zur Warmwasserbereitung stellen daher einen wichtigen Stützpfeiler im neuen „Kommunalen Energiekonzept“ (KEK 2020) der Stadt Graz dar. Aus diesem Grund hat das Stadtvermessungsamt der Stadt Graz mit Hilfe des städtischen GeoInformationSystems (GIS) ein Verfahren entwickelt mit dem es möglich ist, das solare Energiepotenzial von Grazer Hausdächern zu ermitteln und zu bewerten. Die Ergebnisse der Analyse bilden die Grundlage zur Forcierung des gezielten Ausbaus von Solaranlagen im Grazer Stadtgebiet. Basis des Ermittlungsverfahrens bilden True Orthophotos, das Digitale Oberflächenmodell und die photogrammetrisch erfassten Dachlandschaften, mit deren Hilfe die Verschattung, die Dachausrichtung, Dachflächenneigung sowie die Größe der nutzbaren Dachfläche eines jeden Gebäudes ermittelt und so das Solarpotenzial des gesamten Stadtgebietes errechnet wird. Von den 14 Millionen Quadratmetern Dachfläche sind 40% für Solaranlagen sehr gut bis gut geeignet und ergeben ein möglich nutzbares Solarpotenzial von ca. 2.000 GWh. Dies entspricht dem gesamten Energieeinsatz der Stadt Graz für Heizung und Warmwasser.

Technischer Hintergrund

Basisdaten

Grundlage für die Ermittlung von geeigneten Standorten für solarthermische Anlagen bilden die digitalen Bilddaten des Bildfluges GRAZ 2007. Ausgehend von der simultanen Erfassung von PAN und multispektralen Aufnahmen mit der großformatigen, digitalen Luftbildkamera UltraCam X (Vexcel Imaging), der weitestgehend automatisierten Verarbeitung der Bilddaten, der Erstellung der photogrammetrischen Folgeprodukte bis hin zur projektbezogenen Analyse und Ergebnisermittlung, ist erstmals vollständig ein durchgehender digitaler Workflow realisiert. Hier die wichtigsten Aufnahmeparameter:

Aufnahmegebiet: gesamtes Stadtgebiet inkl. unmittelbares Umfeld

Bildanzahl: ca. 3.600 (ca. 14.500 x 10.000 Pixel/Bild)

Längsüberdeckung: ~ 80%; Querüberdeckung: ~ 60%

hohe geometrische Genauigkeit und radiometrische Bandbreite

Bodenauflösung 8 cm

Aufnahmezeitpunkt: vitale Vegetation (volle Belaubung), September 2007

Digitales Oberflächenmodell - DOM

Ein wesentliches Folgeprodukt des digitalen Bildfluges 2007 ist das Digitale Oberflächenmodell kurz DOM (siehe Abb. 1).

Im Gegensatz zum Digitalen Geländemodell (DGM) beschreibt das DOM nicht nur die Höhe des Geländes, sondern auch die Höhe der Oberfläche der auf der Erde befindlichen natürlichen und künstlichen Objekte, wie z.B. die der Vegetation und der Gebäude. Aus den Datensätzen in Originalauflösung wird das DOM in einer Rasterweite von 20 x 20 cm und mit einer Höhengenaugigkeit von $\sim \pm 15$ cm abgeleitet und generiert. In dieser Auflösung werden kleinste Strukturen wie z.B. Schornsteine und Gauben sichtbar und somit bei der Ermittlung des Solarpotenzials berücksichtigt. Zur Abdeckung des gesamten Stadtgebietes sind ca. 3,1 Mrd. Pixel notwendig. Gespeichert wird der Datensatz im städtischen Geoinformationssystem ArcGIS (ESRI) als ESRI Integer GRID. Das Speichervolumen für das gesamte Digitale Oberflächenmodell beträgt rund 20 GB.

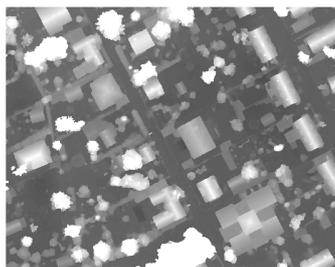


Abb. 1: Digitales Oberflächenmodell der Stadt Graz im 20 x 20 cm Raster

True Orthophoto

Orthophotos sind entzerrte maßstabsgetreue Abbildungen der Erdoberfläche. Aufgrund des zentralen Aufnahmezentrums und der Höhenunterschiede des Geländes entstehen im Luftbild Verzerrungen, die bei der Erstellung von Orthophotos rechnerisch mit Hilfe eines digitalen Geländemodells ausgeglichen werden.

Allerdings werden bei den klassischen (konventionellen) Orthophotos die Oberflächen von 3D-Objekten (Bauwerke etc.) nicht korrekt in der Draufsicht abgebildet, da das Geländemodell nur die Höhen am Boden beinhaltet und diese Objekte auf die Geländehöhe bezogen dargestellt werden. Es kommt zu gekippten Gebäuden (Bildsturz) und zu verdeckten Flächen in Schattenbereichen, z.B. von hohen Gebäuden und Bewuchs.

Im True Orthophoto werden diese Fehler korrigiert, indem neben den Geländeinformationen auch die Höhen der 3D Objekte in die Berechnung einfließen. Dadurch ist es möglich, sichttote Räume durch die Textur aus mehrfach vorhandenen Nachbarbildern (hohe Redundanz durch entsprechende Längs- und Querüberdeckung) zu ersetzen und die Dachlandschaft von Gebäuden in Form der Draufsicht richtig darzustellen.

True-Orthophotos haben den Vorteil, dass sie sich in einem GIS lagegetreu mit anderen Geodaten (z.B. Kataster) überlagern lassen und zur Bestimmung von Entfernungen oder dgl. genutzt werden können.

Photogrammetrisch erfasste Dachlandschaften

Im Stadtvermessungsamt Graz werden auf Basis von orientierten digitalen Luftbildern alle sichtbaren Naturdaten mit Hilfe der Photogrammetrie (Bildmessung) sowohl lage- als auch höhenmäßig erfasst. Neben den Gebäuden mit den Dachausmittlungen werden auch Grünräume samt Bewuchs, Gewässer, befestigte Flächen u.a.m. gemessen. Diese Daten bilden die Grundlage für die unterschiedlichsten Planungsarbeiten von städtischen Fachabteilungen und privaten Projektanten. Für die Ermittlung der möglichen Solarflächen werden nur die photogrammetrisch erfassten Dachlandschaften (siehe Abb. 2) herangezogen.



Abb. 2: Photogrammetrisch ausgewertete Dachlandschaften

GIS-Analyseverfahren

Zur Ermittlung eines realistischen Wertes für die jährliche Nutzenergie in Kilowattstunden wird neben den allgemeinen Analysefunktionen des Geografischen InformationSystems ArcGIS der Firma ESRI der Spatial Analyst verwendet. Der Spatial Analyst ergänzt das GIS um komplexe Rasterfunktionalitäten. Auf Basis der GIS-Werkzeuge hat das Stadtvermessungsamt ein automatisiertes Analyseverfahren entwickelt, mit dem es möglich ist Abschattungseffekte, den Neigungswinkel eines Daches, die Exposition sowie die Größe der nutzbaren und zusammenhängenden Dachfläche zu bestimmen (siehe Abb. 3).

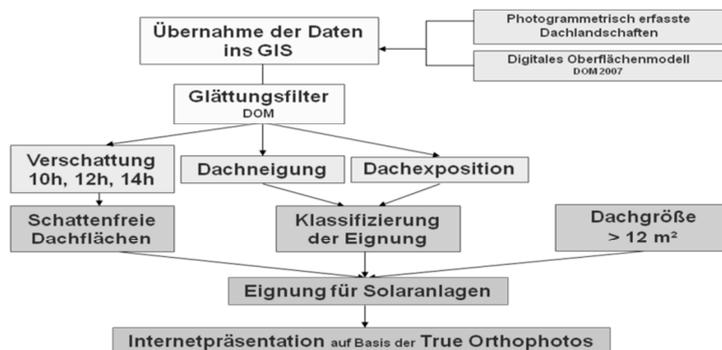


Abb. 3: Workflow der Solardacheignungsberechnung

Verschattung

Standortbedingte Verschattungen, die durch benachbarte Gebäude, Bäume oder Schornsteine verursacht werden, spielen bei Solaranlagen eine große Rolle. Deshalb ist es unbedingt notwendig, diese bei der Planung zu berücksichtigen und verschattete Dachflächen von vornherein auszuschließen. Im ersten Arbeitsschritt wird auf Basis des flächendeckenden Digitalen Oberflächenmodells die Verschattung ermittelt.

Die Verschattung lässt sich an jedem beliebigen Ort zu jeder beliebigen Zeit berechnen. Notwendig dafür sind die Geographische Breite, die Tages- und Jahreszeit und der Sonnenstand, der sich aus dem Sonnenazimut und dem Sonnenhöhenwinkel (siehe Abb. 4) ergibt. Das Sonnenazimut gibt den Winkel zwischen der Projektion der Sonnenstrahlen auf die Horizontalebene und der geografischen Süd Richtung wieder. Die Sonnenhöhe ist der Winkel der Horizontalen zur Sonneneinstrahlung und nimmt beim 47. Breitengrad nördlich des Äquators um 12 Uhr mittags den Wert zwischen $19,5^\circ$ (Sonnentiefststand) und $66,5^\circ$ (Sonnenhöchststand) ein.

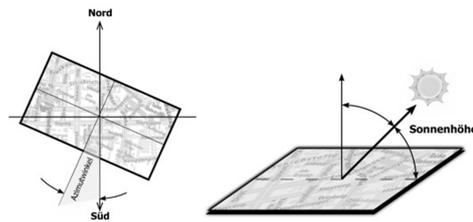


Abb. 4: Sonnenazimut und Sonnenhöhe

Der Sonnenstand kann aus dem dazugehörigem Sonnenstandsdiagramm (siehe Abb. 5) abgelesen werden. Die Verschattung wird für den 21. September um 10, 12 und 14h berechnet, der Sonnenstand am 21. September entspricht dem am 21. März (Tag-/ Nachtgleiche).

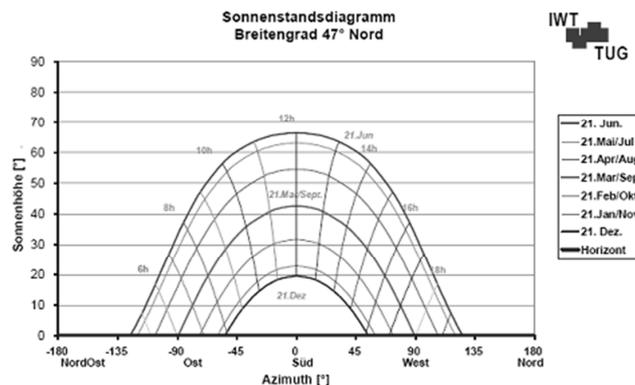


Abb. 5: Sonnenstandsdiagramm für den Breitengrad von Graz

Die ermittelten Verschattungsflächen werden von der gesamten Dachfläche entfernt, sodass als Ergebnis dieses Berechnungsschrittes nur jene Dachflächen vorliegen, die vom 21. März bis zum 21. September um 10, 12 und 14h völlig schattenfrei sind (Beispiel siehe Abb. 6).

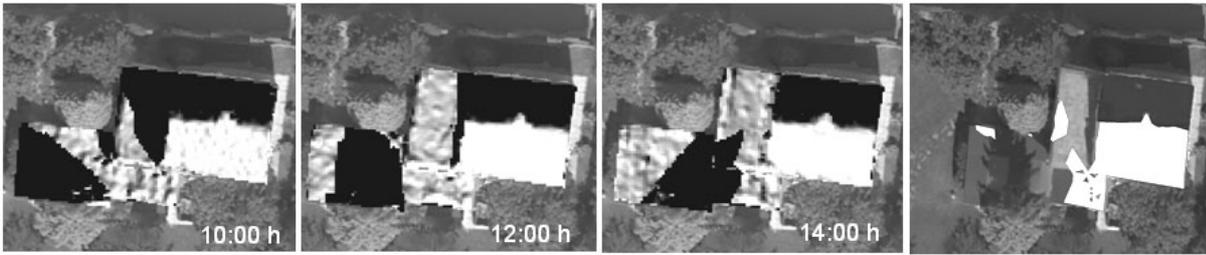


Abb. 6: Verschattung um 10:00h, 12:00h und 14:00h und die schattenfreie Dachfläche

Gebüdemaske

Da für die eigentliche Auswertung des Solarpotenzials nicht mehr das gesamte DOM sondern nur die Gebäude benötigt werden und um die Berechnungszeiten zu minimieren, wird eine Gebäudemaske (siehe Abb. 7) erstellt. Diese wird aus den äußersten Begrenzungslinien der photogrammetrisch ausgewerteten Dachlandschaften generiert. Die Gebäudemaske wird sowohl am DOM als auch auf die Ergebnisse der Schattenermittlung angewendet.

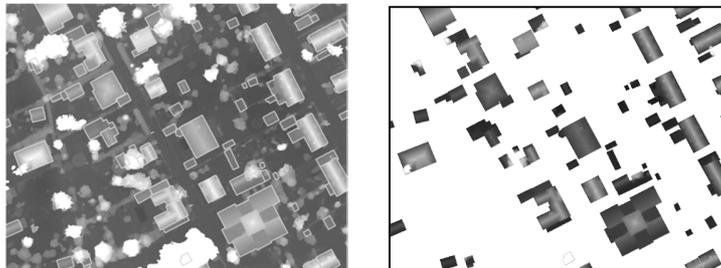


Abb. 7: Gebäudemaske

Dachexposition

Für eine möglichst große Energieausbeute einer Solaranlage ist die Ausrichtung des Daches entscheidend. Die optimale Ausrichtung ist direkt nach Süden, der dann mögliche Energieertrag wird auf 100% gesetzt. Doch auch bei Abweichung nach Ost oder West können noch hohe Erträge erzielt werden. Um die Ausrichtung des Daches zu bestimmen, wird die Abweichung der Dachfläche von der Nord-Süd Richtung ermittelt. Da bei Flachdächern keine Ausrichtung vorliegt, entsteht als Ergebnis eine inhomogene Fläche.

Dachneigung

Neben der Ausrichtung ist auch die Neigung des Daches für die Solarnutzung von Dächern maßgeblich. Damit die Sonneneinstrahlung bestmöglich genutzt werden kann, sollte sie möglichst im rechten Winkel auf die Solaranlage treffen. Daher ist im Raum Graz für thermische Solaranlagen zur Warmwasserbereitung eine Neigung des Daches von 30 bis 50 Grad ideal.

Die Dachneigung ergibt sich aus dem Winkel der Horizontalen zum Dach in Grad. Die maximale Neigung eines Pixels wird aus dem Umfeld von 3 x 3 Pixel abgeleitet. Trotz oder gerade wegen der hohen Datenqualität des Digitalen Oberflächenmodells (20 x 20 cm Raster, Höhengenaugigkeit von $\sim \pm 15$ cm) kommt es bei der Neigungsberechnung zu inhomogenen Flächen. Um eine

Verbesserung der Homogenität herbeizuführen (Glättung), wird ein Tiefpassfilter (Mittelwertfilter über 5 x 5 Rasterzellen) angewendet.

Klassifizierung

Im nächsten Schritt wird auf Basis der Neigung und der Ausrichtung eine Klassifizierung der Solareignung erstellt. In Zusammenarbeit mit dem Umweltamt und der Firma SOLID werden die Dachflächen entsprechend der Neigung und Ausrichtung für „sehr gut geeignet“ (Note 1) oder „gut geeignet“ (Note 2) bewertet. „Sehr gut geeignet“ werden jene bewertet, die eine optimale Kombination für die Solarenergienutzung darstellen (siehe Abb. 8). Flachdächer werden pauschal als „sehr gut geeignet“ attribuiert, denn bei Flachdächern wird von einer Aufständigung der Solaranlagen bei optimaler Südausrichtung ausgegangen.

Solarpotenzial in Abhängigkeit von Neigung und Ausrichtung													
Ausrichtung													
	> 110	90-110	70-90	50-70	SÜD- WEST	10-30	10-[1-10]	10-30	SÜD- OST	50-70	70-90	90-110	> 110
Neigung													
0-10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10-20			2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	
20-30				2	2	1	1	1	2	2			
30-40				2	1	1	1	1	1	2			
40-50				2	1	1	1	1	1	2			
50-60					2	1	1	1	2				
60-70					2	2	2	2					
70-80							2						
80-90													
										Solarenergiepotenzial			
										sehr gut geeignet			
										gut geeignet			

@ Stadtvermessungsamt Graz

Abb. 8: Klassifizierung der Solareignung in Abhängigkeit von Neigung und Ausrichtung

Ergebnis

Nach erfolgter Klassifizierung der Dachflächen werden diese mit den schattenfreien Dachflächen verschnitten. Als Ergebnis erhält man jene Dachflächen, die vom 21. März bis zum 21. September um 10, 12 und 14h völlig schattenfrei und deren Solarpotenzial als "sehr gut" bzw. "gut" geeignet bewertet sind.

Für die Errichtung von Solaranlagen ist eine Dachfläche von mindestens 8-12 m² sinnvoll. Um ein praxisnahes Ergebnis darzustellen werden daher nur jene Solarflächen als möglich nutzbar ausgewiesen, deren Mindestgröße 12 m² betragen. Für die Ermittlung des nutzbaren Solarertrages werden die als "sehr gut" bewerteten Dachflächen mit 360 kWh/m²a und die als "gut" bewerteten Flächen mit 300 kWh/m²a festgesetzt (siehe Abb. 9). Bei diesen Werten handelt es sich um übliche Nutzwärmeerträge unter Einbeziehung der örtlichen Globalstrahlung und dem Wirkungsgrad von thermischen Solaranlagen.



Abb. 9: Geeignete Solarflächen (dunkle Dachflächen - sehr gut, helle Dachflächen - gut)

Von den 14 Millionen Quadratmeter Dachfläche der Stadt Graz sind 45 % für thermische Solaranlagen geeignet. Aufgrund der restriktiven Bestimmungen des Grazer Altstadtschutzgesetzes dürfen Dachlandschaften in den Altstadtschutzgebieten nur bedingt verändert werden. Berücksichtigt man diesen Umstand und schließt die entsprechenden Dachlandschaften von der endgültigen Berechnung aus, sind noch immer **40% aller Grazer Dachflächen für die Errichtung von Solaranlagen geeignet**. Würde das gesamte Potential genutzt, könnte Energie von ca. **2.000 GWh** gewonnen werden.

Internetpräsentation

Seit 1. Jänner 2010 ist der Solardachkataster im Internet für das gesamte Stadtgebiet am Geodatenserver (www.gis.graz.at) abrufbar. Jede(r) Bürger/in von Graz hat die Möglichkeit sein Gebäude über die Adresse zu suchen und sein individuelles Solarpotenzial (Beispiel siehe Abb. 10) abzufragen. Das gesuchte Gebäude wird am Luftbild markiert und entsprechend der Bewertung farblich dargestellt.

Folgende Informationen sind für jedes Gebäude abrufbar:

mögliche Solarfläche

nutzbares Energiepotenzial

Anmerkung

- Gebäude ist nicht geeignet oder Solarfläche ist kleiner 12 m²
- Gebäude liegt im Altstadtschutzgebiet



Abb. 10: Beispielhafte Darstellung der Solardacheignung im Grazer Solardachkataster

Ausblick

Bisher wurden nur geeignete Standorte für thermische Solaranlagen zur Warmwasserproduktion ermittelt. Geplant ist, die Dächer auch in Hinblick auf Photovoltaikanlagen zu untersuchen.

Stand Dezember 2015:

Der Grazer Solardachkataster bietet mittlerweile die o. a. eigene Auswertung der Flächen für eine Nutzung durch **Photovoltaikanlagen** !