

SUN-AREA – Ein Beitrag der Fernerkundung gegen den Klimawandel*

Martina Klärle, Dorothea Ludwig, Sandra Lanig und Katharina Meik

Zusammenfassung

Mit dem Forschungsprojekt SUN-AREA kann mittels hochaufgelöster Laserscannerdaten ein Solarpotenzialkataster für große zusammenhängende Gebiete geschaffen werden. Damit kann das Energiepotenzial jeder einzelnen Dachfläche für die Nutzung von Photovoltaik- und Solarthermianlagen abgeleitet werden. Über eine WEB-GIS-Anwendung können die Ergebnisse für jedes geeignete Dach dargestellt werden. Ermöglicht wird diese Berechnung durch die Entwicklung einer vollautomatischen Algorithmenkette aus Raster- und Vektor-GIS-Funktionen, welche Form, Neigung, Exposition und Verschattung jeder Dachfläche ermittelt.

Summary

The goal of the research project SUN-AREA is to find optimal locations for photovoltaic and solar thermal plants using available, high-precision laserscanning data. The resulting energy potential of every region can exactly be calculated and every adequate roof area can be illustrated using a WEB-GIS application. This is possible because of the processing of automatic algorithms existing of raster and vector GIS-features. These features determine form, inclination, exposition and shade of every roof area.

1 SUN-AREA – Das Solardach-Potenzialkataster

Das Forschungsprojekt SUN-AREA erbringt den rechnerischen und kartographischen Nachweis: In Deutschland sind ca. 20 Prozent der vorhandenen Dachflächen für die solare Energienutzung geeignet. Diese können deutschlandweit ca. 100 Prozent des privaten Strombedarfs decken. Dies entspricht mehr als dem 100-fachen der heutigen Nutzung. SUN-AREA berechnet das solare

Energiepotenzial jeder Dachfläche, jeder Stadt oder jedes Landkreises. Durch die Anwendung Geographischer Informationssysteme (GIS) werden auf der Basis von Flugzeugscannerdaten vollautomatisch alle Dachflächen, die für die Gewinnung von Solarenergie optimal geeignet sind, ermittelt. Daraus werden für jede Teilfläche eines Daches die solare Eignung, der potenzielle Stromertrag und die CO₂-Einsparung sowie das daraus resultierende mögliche Investitionsvolumen berechnet und z.B. in einer Internet-GIS-Karte für jedermann bereitgestellt.

SUN-AREA liefert einen Beitrag zur Wertschöpfung der Geoinformatik und erschließt das Anwendungsfeld der Solarpotenzialanalyse im Gebäudebestand.

2 Ziel des Projekts

Durch die bestehende Diskussion um den Klimawandel wird die Forderung nach einer Reduktion des Kohlendioxid-Ausstoßes und einer Stärkung der erneuerbaren Energien immer lauter. Bis zum Jahr 2010 sollen nach der EU-Richtlinie zur Förderung der Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien ehrgeizige Ziele verwirklicht sein. Die Bundesregierung plant bis 2020 den Anteil an Strom aus erneuerbaren Energien am Gesamtstrom auf 20 Prozent zu erhöhen. Im Jahr 2008 stellt die Bundesregierung insgesamt 3,3 Milliarden Euro für Klimaschutzmaßnahmen bereit. Das ist eine Steigerung von 200 Prozent gegenüber dem Jahr 2005.

Durch die vollautomatische und hochgenaue Ermittlung des Solarpotenzials von Dachflächen kann SUN-AREA einen großen Beitrag zur Verwirklichung dieser Ziele leisten. Dabei wird bei der computergestützten Ermittlung von optimal für die Solarenergie geeigneten Standorten besonderer Wert auf eine flächenscharfe Analyse der Dachflächen über ein sehr großes Untersuchungsgebiet gelegt. Die nötige Genauigkeit für die Berechnungen kann durch den Einsatz neuer Sensoren im Laserscanverfahren erreicht werden. Die Punktdichte der mit diesem Verfahren aufgenommenen Oberflächendaten beträgt durchschnittlich ca. vier Punkte pro m² mit einer Höhengengenauigkeit von 0,1 m. (Klärle und Ludwig 2006).

Für eine Reihe von Bundesländern liegen die hochaufgelösten, dreidimensionalen Flugzeugscannerdaten bereits flächendeckend vor. Baden-Württemberg war das erste Bundesland, das diese Laserscannerdaten flächendeckend erfasste. Jedoch weisen diese aufgrund der geringen Punktdichte und der fehlenden Aktualität zum Teil eine ungenügende Qualität auf. Sehr gute Qualitäten

* Anlässlich der INTERGEO® 2008 in Bremen wurde vom DVW – Gesellschaft für Geodäsie, Geoinformation und Landmanagement erstmals der mit 5.000 Euro dotierte »GIS Best Practice Award« vergeben. Honoriert wurden herausragende Leistungen auf dem Gebiet von GIS-Projekten (siehe hierzu auch dvw-nachrichten n-90 in zfv 6/2008). Unter Berücksichtigung sämtlicher Bewertungskriterien fiel die Wahl der Jury für den 1. Platz des »GIS Best Practice Award 2008« auf das Forschungsprojekt SUN-AREA um Prof. Dr. Martina Klärle und ihrem Team Dipl.-Ing. (FH) Dorothea Ludwig und Dipl.-Geoinf. Sandra Lanig. Die Jury kam zu der Überzeugung, dass sich das ausgewählte Projekt in hervorragender Weise dazu eignet, die enge Verbindung zwischen Geoinformation, Umwelt- und Klimaschutz deutlich zu machen.

weisen die aktuellen, flächendeckenden hochauflösenden Laserscannerdaten des Saarlandes auf. Im Saarland fand 2008 eine entsprechende Befliegung statt, in Hessen finden diese voraussichtlich ab 2010 statt. Auch das Bundesland Nordrhein-Westfalen plant bis zum Jahr 2010 eine Vervollständigung der hochgenauen Flugzeugscannerdaten. In Schleswig-Holstein existieren die hochaufgelösten Laserscannerdaten mit einer Dichte von drei Punkten pro m^2 ebenfalls bereits flächendeckend. In absehbarer Zeit werden sie für das gesamte Bundesgebiet vorliegen.

3 Das Kooperationsnetzwerk des Forschungsprojektes SUN-AREA

Im Jahr 2008 hat das Bundesumweltministerium im Bereich der erneuerbaren Energien 177 Forschungsprojekte mit einem Gesamtvolumen von über 100 Millionen Euro bewilligt. Dies geht aus dem vierten Jahresbericht zur Forschungsförderung des Bundesumweltministeriums hervor. Das Forschungsprojekt SUN-AREA wurde von der Arbeitsgruppe innovativer Projekte vom Ministerium für Wissenschaft und Kultur des Landes Niedersachsen (AGIP) finanziert.

Das Forschungsprojekt SUN-AREA startete im Januar 2006 und konnte im Frühjahr 2008 abgeschlossen werden. In die Forschungsarbeiten konnten eine Reihe von Kooperationspartnern eingebunden werden. Mit dem Institut für Geoinformatik und Fernerkundung (IGF) an der Universität Osnabrück wurde ein universitärer Kooperationspartner aus dem Bereich der Fernerkundung gewonnen. Die Firma TopScan, Gesellschaft zur Erfassung topographischer Informationen in Rheine, ein Unternehmen, das die Erfassung und Auswertung von Laserscannermessungen vornimmt, konnte Expertenwissen zur Datenaufbereitung von Laserscannerdaten einbringen. Der Landesbetrieb Landesvermessung und Geobasisinformation Niedersachsen in Hannover sowie der Fachdienst Geodaten der Stadt Osnabrück unterstützten das Forschungsprojekt SUN-AREA in der Bereitstellung von Geobasisdaten. Der Fachbereich Umwelt der Stadt Osnabrück ermöglichte durch die Integration der SUN-AREA Ergebnisse in das Internet WEB-GIS das erste kommunale Solarpotenzial-Dachflächenkataster Deutschlands. Um die Entwicklung eines marktrelevanten Solardach-Potenzialkatasters sicherzustellen wurde ein transdisziplinäres Netzwerk aufgebaut. Die Geodatenmodellierung und -analyse und deren Verwertung in der Wirtschaft wurde in mehreren Expertenrunden mit verschiedenen Energieversorgern, Netzbetreibern, Energieagenturen, Solarmodulherstellern, Umweltverbänden sowie Geodaten- und GIS-Experten diskutiert und analysiert. Ein kontinuierlicher Verbesserungsprozess konnte so in den Forschungs- und Entwicklungsabläufen sichergestellt werden.

4 Die Datenbasis

4.1 Airborne-Laserscanner

Die Berechnungsgrundlage der SUN-AREA-Methode bilden hochauflösende flugzeuggetragene Laserscannerdaten. Die Messung erfolgt durch einen am Flugzeugrumpf angebrachten Laser, der beim Überfliegen die Entfernung

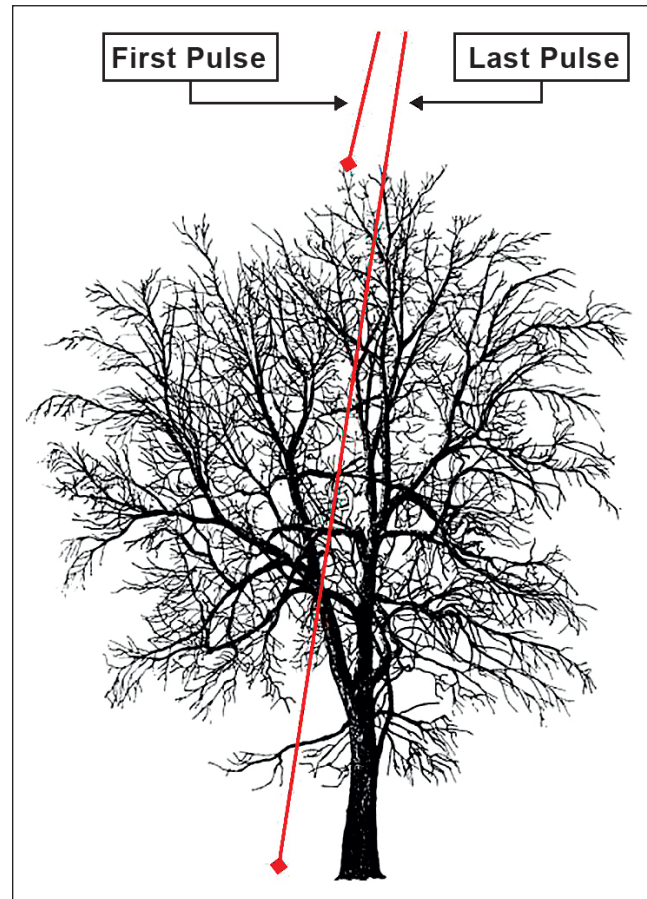


Abb. 1: First Pulse und Last Pulse beim Airborne-Laser-Verfahren

zu allen Objekten an der Oberfläche misst. Das ausgesandte Signal wird über eine Laufzeitmessung in Koordinaten überführt. Anders als bei der Luftbildphotografie liefert das Airborne-Laserverfahren keine Bilder, sondern eine unregelmäßig verteilte Messpunkt Wolke bestehend aus Lage-Koordinaten und einem Höhenwert. Das flugzeuggetragene Laserscanningverfahren ermöglicht durch die Aufnahme von Mehrfachreflexion des Laserstrahls (First Pulse und Last Pulse) die Differenzierung von Objekt- und Geländeoberfläche (Abb. 1). Die automatische Klassifizierung der Laserpunkte in Bodenpunkte und sonstige Punkte wie z.B. Bäume wurde durch die Verwendung von Filteralgorithmen ermöglicht. So ist es bei der Anwendung der SUN-AREA-Methode möglich, neben den Hausdächern, Straßen und der Geländeoberfläche die Vegetation getrennt zu erfassen. Bei der Solardach-Potenzial-Analyse kann somit auch die Verschattung der Bäume auf die Dachflächen berücksichtigt werden.

Über eine Klassifizierung der Ergebnisse aus der Airborn-Laserscanner-Aufnahme können aus den Höhenpunkten ein Digitales Geländemodell (DGM) und ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) erstellt werden. Mit einer Punktdichte von etwa vier Punkten pro m^2 und einer Lage- und Höhengenaugigkeit von ca. 0,15 m besteht die Möglichkeit, auch kleinste Strukturen auf Dachflächen wie Schornsteine oder Gauben zu erfassen und bei der Solarpotenzialberechnung zu berücksichtigen.

4.2 Geobasisdaten

Für die Lokalisierung der Gebäude werden die Gebäudeumrisse des amtlichen Liegenschaftskatasters verwendet. Die Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) liefert die Grundrisse von Flurstück und Gebäude, das Automatisierte Liegenschaftsbuch (ALB) kann später zur Verknüpfung der solaren Eignungsflächen mit den Eigentümern verwendet werden. Die beiden Informationssysteme werden zukünftig im Informationssystem ALKIS® (Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem) integriert.

Unter Berücksichtigung der Standards zur Geodateninfrastruktur können hier neben den reinen grafischen Geodaten, wie den Flurstücksgrenzen und Gebäudegrundrissen auch die Sach- und Metadaten genutzt werden. Neben der reinen Lokalisierung der Gebäudegrundrisse dienen diese bei der späteren Verwertung der Ergebnisse als Lieferant der Adressdaten. So können später alle Solarpotenzialflächen über die gemeinsame Flurstücks-ID mit Anschrift, Nutzungsart und Gebäudebezeichnung ausgegeben oder in einem internetgestützten Kartensystem (Web-GIS) zur Navigation bei der Ergebnisvisualisierung verwendet werden (Tab. 1).

Tab. 1: Notwendige Geobasisdaten der SUN-AREA-Methode

	Information	Datentyp
Flurstück:	Flurstücksgrenzen	Grafik-Vektor
	Flurstücksnummer	Sachdatum (ID)
	Nutzungsart	Sachdatum
Gebäude:	Gebäudegrundrisse	Grafik-Vektor
	Nutzungsart	Sachdatum
	Hausnummer	Sachdatum
	Straßenname	Sachdatum
	Hausnummer	Sachdatum
Laserscannerdaten:	Höhen First Puls	Raster (RW, HW, Höhe)
	Höhen Last Puls	Raster (RW, HW, Höhe)

4.3 Globalstrahlungswert

Zur Berechnung der Einstrahlungsenergie auf die Dachfläche wird der Globalstrahlungswert vom Deutschen Wetterdienst (DWD) zugrunde gelegt. Der DWD führt in seinem Datenarchiv weltweite Strahlungsdaten. So können für alle Länder Europas und für die meisten Länder der Welt repräsentative Globalstrahlungsdaten geliefert werden. In der Regel liegen Monats- und Jahressummen der Globalstrahlung vor. Eine wichtige Forderung an das Solardach-Potenzial-Kataster ist die Ermittlung der wirtschaftlichsten Standorte, denn die solare Eignung ist maßgeblich vom Standort abhängig. Der DWD berechnet für jeden beliebigen Ort der Bundesrepublik Deutschland mittlere monatliche Tagessummen der Globalstrahlung. Dazu werden am Boden Messungen durchgeführt und mit Satellitendaten ergänzt. Basis sind u. a. die Messwerte von Globalstrahlungsstationen und vom Wettersatelliten METEOSAT. Daraus werden Globalstrahlungswerte in einem 1 km-Raster für Deutschland bestimmt. Diese Ergebnisse werden in Karten grafisch dargestellt. Die Daten werden vom DWD sowohl für horizontale, als auch für beliebig geneigte und orientierte Flächen ausgegeben.

Globalstrahlungskarten liegen für Deutschland und als Weltkarte der mittleren jährlichen Globalstrahlung vor. Diese erstellt der DWD für jeden einzelnen Monat und für einzelne Jahre. Zudem werden Karten und Datenban-

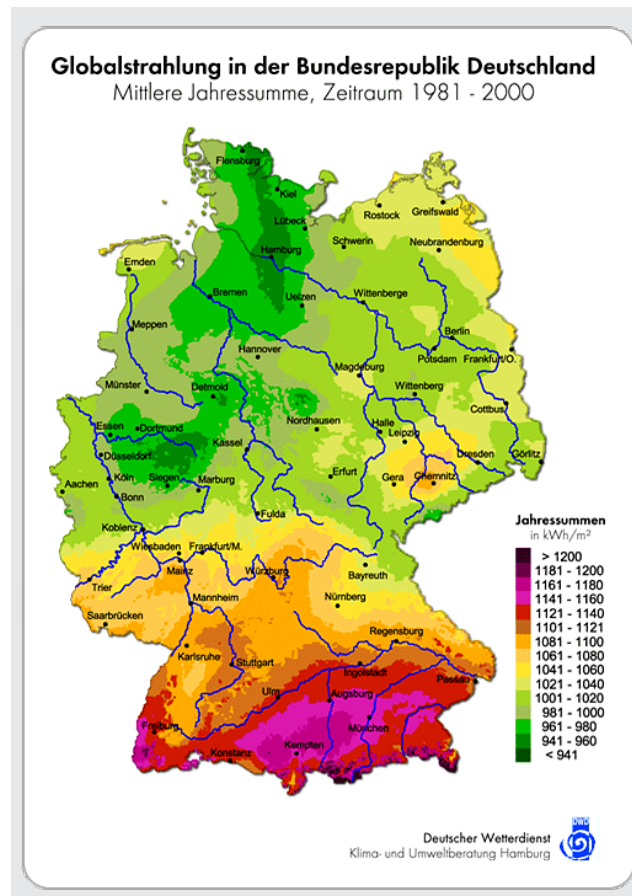


Abb. 2: Jahreskarte Globalstrahlung in Deutschland (Quelle: DWD)

ken mittlerer Globalstrahlung je Monat und Jahr, die auf den 20-jährigen Mittelwerten aus dem Zeitraum 1981 bis 2000 basieren (Abb. 2) bereitgestellt. Für die SUN-AREA-Berechnung wurde das 20-jährige Mittel zugrunde gelegt.

5 Die Berechnung der Standorteignung im Detail

Ziel des Forschungsprojektes SUN-AREA war eine vollautomatische Berechnung und Darstellung des solaren Energiepotenzials aller Gebäude großer Untersuchungs-

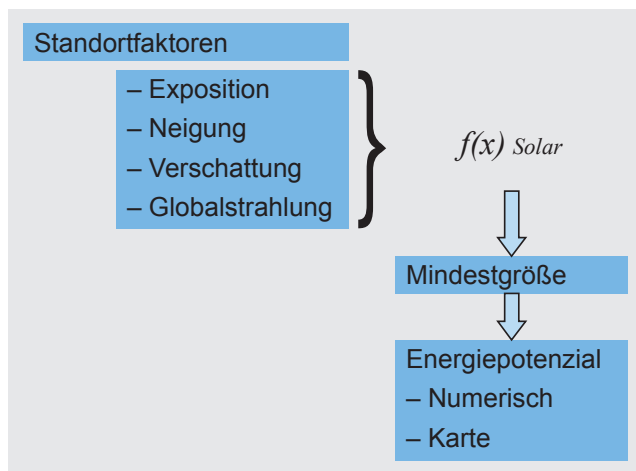


Abb. 3: Berechnungsschema

gebiete (über 100.000 Dächer). Halbautomatische und sehr rechenintensive Verfahren, wie sie zur 3D-Gebäudemodellierung aus hochaufgelösten Laserscandaten eingesetzt werden, sind für vollautomatische Berechnungen mit enormen Datenmengen nicht einsetzbar (z.B. Schuster und Weidner 2003, Schwalbe et al. 2005, Steinle 2005, Hofmann 2005).

Deshalb schied der Weg über ein 3D-Stadtmodell als Basis für die Solarpotenzialberechnung aus. Zu detailliert müssten alle Gebäude vektorbasiert aufbereitet werden. Dies ist bislang nur mit einem sehr hohen personellen Einsatz möglich und verlangt zudem eine zumindest teilweise semiautomatische Nachbearbeitung. SUN-AREA verfolgte von Beginn an die Entwicklung einer vollautomatischen Berechnung. Nur so konnte der Mehrwert der vorhandenen Geobasisdaten für die erneuerbaren Energien erreicht werden. SUN-AREA entwickelte eine vollautomatisch ablaufende Methode, die es erlaubt, für große Gebiete aus hochaufgelösten Laserscanningdaten vollautomatisch das Solarenergiepotenzial eines jeden Gebäudes zu errechnen.

Die vollautomatisierte Berechnung der Dachform, -neigung, -ausrichtung, -größe und -verschattung mittels der SUN-AREA-Methode und das daraus resultierende

Solarenergiepotenzial einer Region sowie die Eignung jedes einzelnen Daches für eine effiziente Nutzung der Solarenergie wird durch das im Rahmen des Forschungsprojekts entwickelte Regelwerk ermöglicht. Dazu werden vorhandene Algorithmen implementiert und Standard-GIS-Funktionen integriert. Die Modellierung der Algorithmenkette wird dabei ausschließlich über ein Rastermodell erreicht (Klärle und Ludwig 2006). Detaillierte Informationen zum Regelwerk sind in Ludwig et al. 2008 zu finden.

Über die Ermittlung der folgenden Standortfaktoren wird die Grundlage für die Berechnung des zu erwirtschaftenden Stromertrags über eine Photovoltaikanlage als auch von thermischen Solaranlagen geschaffen (Abb. 3).

In der ersten Phase des im Januar 2006 begonnenen Forschungsprojektes wurden Algorithmen zur Berechnung der Standortfaktoren Neigung, Exposition und Flächengröße entwickelt. Die zweite Projektphase beschäftigt sich mit der Verschattungsanalyse. Daran schließt sich in der dritten Phase die Implementierung und Softwareanpassung des Regelwerks an.

5.1 Berechnung der Dachneigung und Dachausrichtung

Die ersten beiden Standortfaktoren, die Dachneigung und die Dachausrichtung werden innerhalb der Gebäudepolygone ermittelt. Hier werden die Rohdaten der Airborne-Laserbefeugung einer Klassifizierung unterzogen und teilen die Dächer in homogene Dachteile auf, die hinsichtlich Neigung und Ausrichtung katalogisierbar sind (Ludwig et al. 2008). Die Qualität der Berechnungsergebnisse wurde in Testgebieten bezüglich Dachneigungen und -ausrichtungen teilweise vor Ort und teilweise über die Bauantragsunterlagen kontrolliert. Bei einem bis vier Punkte pro Quadratmeter konnten die Dachneigung und -ausrichtung aus Laserscannerdaten mit einer Genauigkeitsspanne von ca. 0–5° ermittelt werden, eine für die Solarpotenzialanalyse ausreichend genaue Aussage. Die optimale Neigung für Photovoltaikanlagen liegt bei ca. 30–45°. Die optimale Ausrichtung liegt im Süden. Abweichungen zum Optimum wurden mit Abschlägen versehen. Daraus ergibt sich für jedes Dachflächenpixel, abhängig von Neigung und Ausrichtung gegenüber der maximalen Globalstrahlungsenergie der unbebauten Fläche (100 Prozent) ein Abschlag. So errechnet sich z.B. für ein Haus mit einer Dachneigung von 20° und einer Ausrichtung von Süd-Süd-West ein Abschlag gegenüber der vom DWD ermittelten maximalen Globalstrahlung von fünf Prozent.

5.2 Berechnung der Dachverschattung

Die Modellierung der Verschattung stellt sich erheblich zeit- und rechenintensiver dar als die Berechnung der Dachneigung und -ausrichtung. Im Gegensatz zur Neigung und Ausrichtung des Daches, die bei jedem Haus statisch, d.h. fortwährend identisch ist, ändert sich die Verschattung eines Daches im Laufe des Tages und des Jahres kontinuierlich. Zudem ist die Verschattung abhängig vom direkten Umfeld (Erker, Hauseigenschatten, Hausnachbarschatten und Bäume) sowie von der Umgebung und Lage in der Region (Nordhang).

Über die genauen Höhen der Laserscannerdaten ist es möglich, abhängig von der Tages- und Jahreszeit sowie der geographischen Breite des Untersuchungsgebietes, die Verschattung eines jeden Ortes zu ermitteln. Zur Bestimmung der jährlichen Strahlungsbilanz wird in definierten Zeitintervallen jede Dachteilfläche auf ihre direkte Sonneneinstrahlung hin analysiert. Die Modellierung der Verschattung erfolgt auf Raster-Basis. Der Algorithmus basiert auf einem Raytracing-Verfahren. Von einer Raster-Zelle wird eine Sichtlinie zur Sonne zurückverfolgt. Trifft die Sichtachse auf einen Gegenstand, z.B. einen nahe stehenden Baum, so befindet sich die Raster-Zelle



Abb. 4: Schattenmodellierung 12 Uhr, Januar



Abb. 5: Schattenmodellierung 12 Uhr, März



Abb. 6: Schattenmodellierung 12 Uhr, Mai



Abb. 7: Schattenmodellierung 12 Uhr, Juli

Abb. 4–7: Orthophotos mit eingeblendeten Ergebnissen einer Verschattungsmodellierung

zu diesem Zeitpunkt in einem verschatteten Bereich. Der Einfluss von diffuser Strahlung bleibt hierbei zunächst unberücksichtigt.

Grundlage für die Verschattungsmodellierung ist das auf den Laserscannerdaten basierende interpolierte »Digitale Oberflächen-Modell« (DOM). Die auf den Dächern auftreffende Sonnenenergie ist abhängig von der Jahres- und Uhrzeit. Der überwiegende Anteil der Jahresenergiemengen fällt in den Frühjahr-, den Herbst- und insbesondere in den Sommermonaten an. Zudem überwiegt in den Wintermonaten die diffuse Sonnenstrahlung, die bisher nur von wenigen PV-Anlagentypen in elektrischen Strom umgesetzt werden kann. Die Berücksichtigung der Verschattung bei der Standortmodellierung ist insofern wichtig, da die meisten Solarmodule derzeit noch in Reihe geschaltet sind. Ein verschattetes Modul legt, als schwächstes Glied in der Stromproduktionskette das Maximum der Energieproduktion fest. Somit definiert das verschattete Solarmodul (z. B. 90 Prozent Reduktion durch Schatten) den maximalen Stromertrag aller in Reihe geschalteten Solarmodule. Aufgrund der zum Teil sehr dichten Bebauung im Stadtbereich und der damit einhergehenden standortbedingten Verschattung durch Gebäude sowie hohe Bäume in der Nachbarschaft erfolgte die Ermittlung der tageszeitlichen Verschattung. Bei der Verschattungsanalyse ist die Aktualität der Daten im Hinblick auf die standortbedingte Verschattung durch Vegetation von Bedeutung (z. B. ein nach der Befliegung gefällter Baum).

Abb. 4–7 zeigen digitale Orthophotos mit eingeblendeten Ergebnissen einer Verschattungsmodellierung. Dabei handelt es sich um das 12-Uhr-Schattenmoment eines jeden Monats. Bei der Berechnung von 1 h-Intervallen ergeben sich über das Berechnungsjahr verteilt ca. 3.000 Schattenpolygone.

5.3 Mindestgröße

Die nach der Ermittlung der Dachneigung, -ausrichtung und -verschattung verbleibenden Eignungsflächen erfahren als letzte Abfrage eine Filterung der Flächengröße. Für den wirtschaftlichen Betrieb einer Photovoltaikanlage wird eine Fläche von mindestens 15 m² benötigt. Investorenmodelle beginnen in der Regel nicht unter 100 m² Eignungsfläche. Bei Flachdächern wird aufgrund der notwendigen Aufständigung und der damit einhergehenden Abstände der PV-Module untereinander der dreifache Flächenanspruch eingestellt.

5.4 Datenqualität

Für die Solarpotenzialuntersuchung werden qualitativ hochwertige Laserscannerdaten benötigt. Diese müssen gleichmäßig verteilt sein, zudem eine Auflösung von mindestens ein bis zwei Punkten pro m² haben

und eine Lage- und Höhengenaugigkeit von mindestens 15 bis 20 cm besitzen. Um den Qualitätsverlust bei der Analyse auf ein Minimum zu reduzieren, ist eine Auflösung von vier Punkten pro m² empfehlenswert. Mit dieser Punktdichte und einer gleichmäßigen Verteilung der Messpunkte kann die Dachneigung, -exposition und -verschattung verlässlich berechnet werden. Liegt die Messpunktdichte auf der berechneten Dachfläche unter einem gewissen Mindestwert (d. h. es liegt eine unzureichende Genauigkeit zur Berechnung der Standortfaktoren vor), dann werden diese Dachflächen als nicht berechenbar klassifiziert. Grund dafür kann neben einer allgemein zu niedrigen Auflösung während der Datenerfassung das fehlerhafte Reflexionsverhalten sein, das durch den Winkel zwischen Dachneigung und Laserscanner, der Farbe des Daches und seines Materials während der Befliegung beeinflusst wird (Ludwig et al. 2008).

5.5 Ergebniszusammenstellung

Nach der Abfolge von GIS-Analysefunktionen und der Berücksichtigung der Standortfaktoren Neigung, Ausrichtung, Verschattung, Flächengröße und dem Globalstrahlungswert kann für die Ergebnisflächen der daraus ableitbare potenzielle Energiebetrag ermittelt werden. Dafür muss der Wirkungsgrad für die Solaranlage zugrunde gelegt werden. Darauf aufbauend werden der mittlere Jahresertrag an Strom und die damit verbundene CO₂-Einsparung ermittelt (Ludwig et al. 2008). Die Solarpotenzialergebnisse können zudem als neutraler Datensatz z. B. in Stadtpläne oder 3D-Stadtmodelle einfließen.

SUN-AREA ermöglicht neben der Ermittlung des Solarenergiepotenzials auch die Klassifizierung der potenziellen Eignungsflächen hinsichtlich der empfehlenswerten Modultypen. Abhängig von der Dachneigung, Ausrichtung und Verschattung können die diffuse und die direkte Sonneneinstrahlung separat ermittelt werden. Über die Integration der Gebäudenutzungsarten aus den amtlichen Geobasisdaten und der berechneten Parameter Einstrahlungsenergie, Flächengröße und Neigung ist eine Aussage zum geeigneten Modultyp für die Dachfläche möglich (z. B. Mono-, Polychristalin-, Dünnschicht- oder CIS-Technologie).

6 Umsetzung des Forschungsprojektes in Osnabrück, Braunschweig und Weilheim

Pilotregion für das Forschungsprojekt war das Stadtgebiet von Osnabrück. Die Stadt gab 2005 eine Laserbefliegung mit einer Aufnahmedichte von vier Punkten pro m² in Auftrag. Dies ermöglichte die Entwicklung und erste Anwendung der Methode anhand des insgesamt ca. 70.000 Gebäude umfassenden Stadtgebietes mit einer Flächengröße von 120 km². Im Zuge der Befliegung

Tab. 2: Untersuchungsumfang Solarpotenzial-Dachkataster

	Osnabrück	Braunschweig	Weilheim i. OB
Untersuchungsfläche	120 km ²	192 km ²	55 km ²
Anzahl der bewerteten Gebäude	61.583	81.625	11.222
Untersuchte Gebäudefläche in m ²	9.408.882	9.493.249	1.336.492
Einwohner	162.870	245.810	21.571

wurden 630 Mio. Rohpunkte aufgenommen. Osnabrück war nun seit Ende 2007 die erste Stadt deutschlandweit, die ein flächendeckendes Solarpotenzial-Dachkataster besitzt. Seit November 2007 sind die Solarpotenziale der Osnabrücker Dachflächen für jedermann online abrufbar. Das Potenzial auf Osnabrücks Dachflächen ist groß. Auf 27.500 Gebäuden sind ca. 2 km² Dachfläche für die Photovoltaik-Nutzung optimal geeignet. Über diese Fläche könnten 249.000 MWh/a Strom gewonnen werden, die den derzeitigen Strombedarf aller Privathaushalte von Osnabrück (233.000 MWh/a, Stand 2006) mehr als vollständig decken würden (Ludwig et al. 2008).

Im Jahr 2008 wurden zwei weitere Städte flächendeckend berechnet, Braunschweig in Niedersachsen und Weilheim in Oberbayern. Seit Februar 2009 ist auch Braunschweig mit seinem Solarkataster Online. Braunschweig stellt neben den Karten für Photovoltaik eine separate Karte für Solarthermie bereit. Auch für Gelsenkirchen wurde die SUN-AREA-Methode angewandt und ist bereits im Internet abrufbar. Allerdings liegen die hierfür nötigen Laserscannerdaten nur für einen Teil von Gelsenkirchen vor. Tab. 2 zeigt den Untersuchungsumfang der bislang mit der SUN-AREA-Methode berechneten Solarpotenzial-Dachkataster.

7 Ergebnispräsentation mittels Web-GIS

Umwelt braucht Medien, deshalb entschloss sich die Stadt Osnabrück (2007) (s. Abb. 8), Gelsenkirchen (2008) und Braunschweig (2009) das Solarpotenzialkataster für jedermann zugänglich im Internet anzubieten.

Die Benutzeroberfläche der Web-Applikation bietet typische GIS-Funktionalitäten, wie die direkte Maßstabseingabe, das Zoomen mittels Klick auf das Plus/Minus-Zeichen oder das zoomen in jeweils vorgegebenen Maßstäben. Mit der Funktion »Karte drucken« kann der aktuelle Kartenausschnitt ausgedruckt werden. Zusätzlich wurde, an den Stadtplandienst angelehnt, eine Adress-Suchfunktion implementiert, sodass jeder Nutzer über die Adresseingabe direkt an die gewünschte Adresse geführt oder sich die Straßen in alphabetischer Reihenfolge ausgeben lassen kann.

Durch die Aktivierung des Buttons »Solareignung« und einen Klick auf das gewünschte Haus werden Informa-

tionen über die Solareignung der selektierten Fläche, d. h. die Größe der geeigneten Dachfläche, der daraus potenziell zu erwartende Stromertrag sowie die Solarpotenzialeignung und die mögliche CO₂-Einsparung ausgegeben.

Das Solarenergiepotenzial für jede Dachfläche kann vom Web-Server über einen Standard-Web-Browser auf den Online-Seiten

der Städte in Form einer digitalen Karte abgerufen werden. Über den Web-Server per HTTP-Protokoll kommunizieren der clientseitige Browser und der Map Server miteinander. Der Internetnutzer stellt eine Anfrage über den Browser an den Karten-Server. Dieser liefert den angeforderten Kartenausschnitt zurück (Abb. 8).

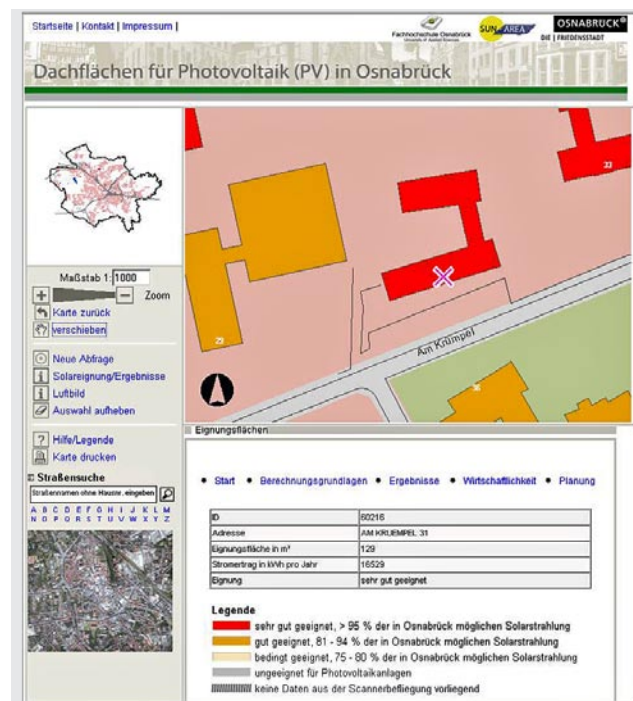


Abb. 8: Beispiel Osnabrück

8 Datenschutz

In Vorbereitung der Veröffentlichung der SUN-AREA-Ergebnisse im Internet wurde von verschiedenen Seiten die Frage des Datenschutzes angesprochen. Der Bund postuliert die Behandlung von energiespezifischen Daten als Umweltinformationen. Da auch das durch die SUN-AREA-Methode ermittelte Solarenergiepotenzial von Dachflächen unter die Kategorie der Umweltinformationen fällt, können diesbezügliche Daten nach den Vorschriften des Umweltinformationsgesetzes des Bundes (UIG) im Internet veröffentlicht werden.

Zudem möchte die Bundesregierung den Zugang zu digitalen Geodaten vereinfachen. Der Gesetzesentwurf der

Bundesregierung (16/10530) zum Geodatenzugangsgesetz (GeoZG) sieht vor, dass in Zukunft alle Bürgerinnen und Bürger via Internet Zugriff auf Geodaten und Metadaten zu deutschen und europäischen Umweltthemen erhalten sollen. Mit dem Gesetz wird eine Richtlinie (2007/2/EG) des Europäischen Parlaments umgesetzt, mit der eine EU-weite Geodateninfrastruktur (INSPIRE-Richtlinie) geschaffen wird (spezieller Bezug hier zu Energieeinsparmaßnahmen, siehe § 4.4. gg).

Der Landesdatenschutzbeauftragte von Baden-Württemberg erläuterte in seiner Stellungnahme zur Darstellung der SUN-AREA-Ergebnisse für Einzelgebäude seinen Standpunkt wie folgt: »Die Realisierung des Projekts auf der Grundlage des Landesumweltinformationsgesetzes (LUIG) und der von diesem in Bezug genommenen Vorschriften des Umweltinformationsgesetzes des Bundes (UIG) kann akzeptiert werden, sofern den betroffenen Grundeigentümern ein Widerspruchsrecht gegen die Veröffentlichung der Daten über das Solarpotenzial ihres Grundeigentums eingeräumt wird.«

9 Ausblick

Mit SUN-AREA ist es gelungen, eine Methode zu entwickeln, die über ein Rastermodell vollautomatisch das Solarpotenzial von Dachflächen für große Gebiete ermitteln kann. Das entwickelte Regelwerk ermöglicht mithilfe von Standard-GIS-Funktionen die Verarbeitung großer Datenmengen. Durch die Nutzung vorhandener Daten stellt das Projekt ein Glied in der Wertschöpfungskette zur wirtschaftlichen Nutzung vorhandener Fernerkundungsdaten dar (Klärle und Ludwig 2006). Durch weitere Berechnungen mit variierender Datenqualität (z.B. Auflösung) und Aufnahmeparametern (z.B. Flughöhe) werden derzeit für die Weiterentwicklung und Anpassung der SUN-AREA-Methode neue Erkenntnisse gewonnen (Ludwig et al. 2008).

Weiterführende Links im Internet:

Seite des Forschungsprojektes:
www.al.fh-osnabrueck.de/sun-area.html

Online Solardach-Potenzialkataster:

Für die Stadt Osnabrück, Gelsenkirchen und Braunschweig wurden bereits mit der SUN-AREA Methode berechnete Solardach-Potenzialkataster als WEB-GIS aufbereitet und sind für jeden Bürger ohne Passwort zugänglich. Unter den folgenden Links sind diese erreichbar:

Stadt Osnabrück: <http://osnabrueck.de/sun-area/>

Stadt Gelsenkirchen: www.solar-gedacht.de

Stadt Braunschweig: <http://braunschweig.de/sun-area/>

SUN-AREA wurde im Fernsehsender der Deutschen Welle in einer Wissenschaftssendung portraitiert. Auch die Fernsehsendung NANO (Visionäre der Wissenschaft) strahlte ein Portrait in den Sendern 3Sat/ARD/ZDF/ORF/SWF aus. Unter den folgenden Links ist sowohl der Beitrag als auch der Film (am Ende des Berichtes) erreichbar:

www.dw-world.de/dw/article/0,2144,3475182,00.html (englisch)

www.dw-world.de/dw/article/0,2144,3471787,00.html (deutsch)

Quellen

Hofmann, A. D: An Approach to 3D Building Model Reconstruction from Airborne Laser Scanner Data Using Parameter Space Analysis and Fusion of Primitives. Dissertation. Technische Universität Dresden, Fakultät Forst-, Geo- und Hydrowissenschaften, Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, Dresden, 2005.

Klärle M., Ludwig D.: Standortanalyse für Photovoltaik-Anlagen durch hochauflösende Sensoren in der Fernerkundung – Forschungsprojekt an der Fachhochschule Osnabrück – AK Fernerkundung. IGF Osnabrück, 2006, S. 35–43. http://elib.ub.uni-osnabrueck.de/publications/ELibD153_gi-reports_igf5.pdf.

Klärle, M., Ludwig, D.: Einsatz von Flugzeugscanner-Daten für die Standortoptimierung erneuerbaren Energien. Wichmann Verlag, AGIT-Fachtagung Salzburg, 2005, S. 342–347.

Ludwig, D., Klärle, M., Lanig, S.: Automatisierte Standortanalyse für die Solarnutzung auf Dachflächen über hochaufgelöste Laserscanningdaten. Wichmann Verlag, AGIT-Fachtagung Salzburg, 2008, S. 466–475.

Schuster, H.-F., Weidner, Uwe: An Approach towards Quantitative Quality Evaluation of 3D Building Models. 2003.

Schwalbe, E., Maas, H.-G., Seidel, F.: 3D Building Models Generation from Airborne Laser Scanner Data Using 2D GIS Data and Orthogonal Point Cloud Projections. Technische Universität Dresden, 2005.

Steinle, E.: Gebäudemodellierung und -änderungserkennung aus multitemporalen Laserscanningdaten. Dissertation, DGK Reihe C, 594, 2005.

Anschrift der Autorinnen

Prof. Dr. Martina Klärle

Leitung des Forschungsprojektes SUN-AREA

Studiengangsleitung Geoinformation und Kommunaltechnik

Fachhochschule Frankfurt am Main

Nibelungenplatz 1, 60318 Frankfurt am Main

martina.klaerle@fb1.fh-frankfurt.de

Dipl.-Ing. (FH) Dorothea Ludwig

Fachhochschule Osnabrück

Fakultät Agrarwissenschaften & Landschaftsarchitektur

Fachgebiet Geoinformatik

SUN-AREA Methodenentwicklung und Koordinierung SUN-AREA

Norddeutschland

Oldenburger Landstraße 24, 49090 Osnabrück

d.ludwig@fh-osnabrueck.de

Dipl.-Geoinf. Sandra Lanig

Steinbeis-Transferzentrum Geoinformations- und Landmanagement

Koordinierung SUN-AREA Süddeutschland (Technik)

Würzburger Straße 9, 97990 Weikersheim

lanig@klaerle.de

Dipl. Geogr. Katharina Meik

Steinbeis-Transferzentrum Geoinformations- und Landmanagement

Koordinierung SUN-AREA Süddeutschland

Würzburger Straße 9, 97990 Weikersheim

meik@klaerle.de