



Bern, 5. März 2012

Solarkataster für die Gemeinde Widen - Schlussbericht

Auftraggeber:

Gemeinderat Widen AG
Abteilung Bau und Planung
Postfach
8967 Widen

Bearbeitung:

Roger Oechslin

Inhalt

1	Einleitung	3
2	Datengrundlagen	4
2.1	Geodaten.....	4
2.2	Einstrahlungsdaten.....	4
3	Methodik.....	6
3.1	Gebäude, Ausrichtung, Neigung.....	6
3.2	Dachflächenanalyse	7
3.3	Horizontanalyse.....	7
3.4	Strahlungsberechnung.....	7
4	Ergebnisse	10
4.1	Solarkataster Version 1	10
4.2	Solarkataster Version 2 (Dachflächen)	12
4.3	Umrechnung in elektrische Energie	14

Version	Datum	Inhalt	Autor	Kontrolle
1	29.02.2012	Schlussbericht	RO	DKL RC, 05.03.2012

1 Einleitung

Der Gemeinderat von Widen hat *METEOTEST* im Januar 2012 mit der Erstellung eines Solarkatasters für die Gemeinde Widen beauftragt. Der Gemeindeverwaltung Widen wird ein Solarkataster in Form eines PDF-Dokumentes und als Shapefiles ausgehändigt. Mit Hilfe der letzteren könnte das Solarkataster in ein allfälliges GIS-System implementiert werden.

Ausserdem werden kml-Dateien erstellt, damit das Solarkataster über Google Earth einfach eingesehen werden kann.

2 Datengrundlagen

2.1 Geodaten

Als Datengrundlage für die Oberfläche diente das digitale Oberflächenmodell (DOM) von Swisstopo. Das DOM wurde anhand von Airborne-Laser-Scanning-Daten erstellt. Es bildet die beständig sichtbare Oberfläche ab und beinhaltet somit Wälder, Gebäude und weitere Kunstbauten. Die Punktdichte des DOM liegt bei rund 1 Punkt pro Quadratmeter und die Erfassungsgenauigkeit des Lasers liegt bei ca. 30 cm. Das DOM wurde über das Geoportal des Kanton Aargau Bezogen bezogen. Das DOM im Gebiet der Gemeinde Widen wurde im Jahr 2001 erstellt.

Die Gebäudegrundrisse wurden kostenlos als "GDB Feature Class" vom Kanton zur Verfügung gestellt. Die Daten basieren auf dem Übersichtsplan 1:5000. Die Daten wurden am 23.03.2011 zum letzten Mal aktualisiert. Die Gebäudegrundrisse werden dazu verwendet, die zu betrachtenden Gebäude aus dem Oberflächenmodell auszuschneiden. Für das Solarkataster können nur Gebäude ausgewertet werden, welche im DOM und als Gebäudegrundriss zur Verfügung stehen.

2.2 Einstrahlungsdaten

Die Berechnung der Einstrahlung erfolgte mit dem *METEOTEST*-eigenen Produkt *meteonorm*¹. *meteonorm* ist eine umfassende meteorologische Referenz. Diese ermöglicht den Zugriff auf meteorologische Daten für solare Anwendungen, System-Design und eine breite Reihe anderer Anwendungen für jeden beliebigen Ort der Welt.

Zahlreiche globale und regionale Datenbanken wurden auf ihre Zuverlässigkeit geprüft und in der *meteonorm* Datenbank kombiniert. Die wichtigsten Datenquellen sind GEBA (Global Energy Balance Archive), World Meteorological Organization (WMO / OMM) Klimanormalwerte 1961–1990 und die Schweizer Datenbank von MeteoSchweiz. Insgesamt basiert *meteonorm* auf Wetterdaten von 8'300 Wetterstationen. In der Schweiz mit ihrer hohen Stationsdichte und dank dem Einbezug von Satellitendaten ist die Qualität der Daten besonders hoch. Die Unsicherheit des langjährigen Jahreswerts auf geneigte Flächen (30 Grad Süd) beträgt in der Gemeinde Widen 5%.

In *meteonorm* stehen Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit und Niederschlag für die klimatologischen Perioden 1961–1990 und 2000–2009 zur Verfügung. Für die Sonnenstrahlung sind die klimatologischen Zeiträume 1981–1990 und 1986–2005 verfügbar. Ausgehend von den monatlichen Werten (Stationsdaten, interpolierte Daten oder importierte Daten), berechnet *meteonorm* stündliche Werte

¹ www.meteonorm.com

aller Parameter mit Hilfe eines stochastischen Modells. Die resultierende Zeitreihe entspricht einem "typischen Jahr".

Es wurde eine Vorabversion der im Mai 2012 erscheinenden Version 7 der *meteonorm* verwendet. Die Einstrahlungsdaten für das Solarkataster Gemeinde Widen basieren auf mittleren Messwerten der Periode 1986 bis 2005. Dies ist die aktuellste europaweit verfügbare 20-Jahresperiode, weshalb die *meteonorm* aus Gründen der Vergleichbarkeit verschiedener Standorte in Europa diese Periode verwendet.

3 Methodik

3.1 Gebäude, Ausrichtung, Neigung

Die Arbeitsschritte und Ergebnisse werden im Folgenden anhand eines kleinen Beispielgebiets an der Kürzihof (Abbildung 1) erläutert.



Abbildung 1: Luftbild für das Beispielgebiet Kürzihof (Quelle: maps.google.com).

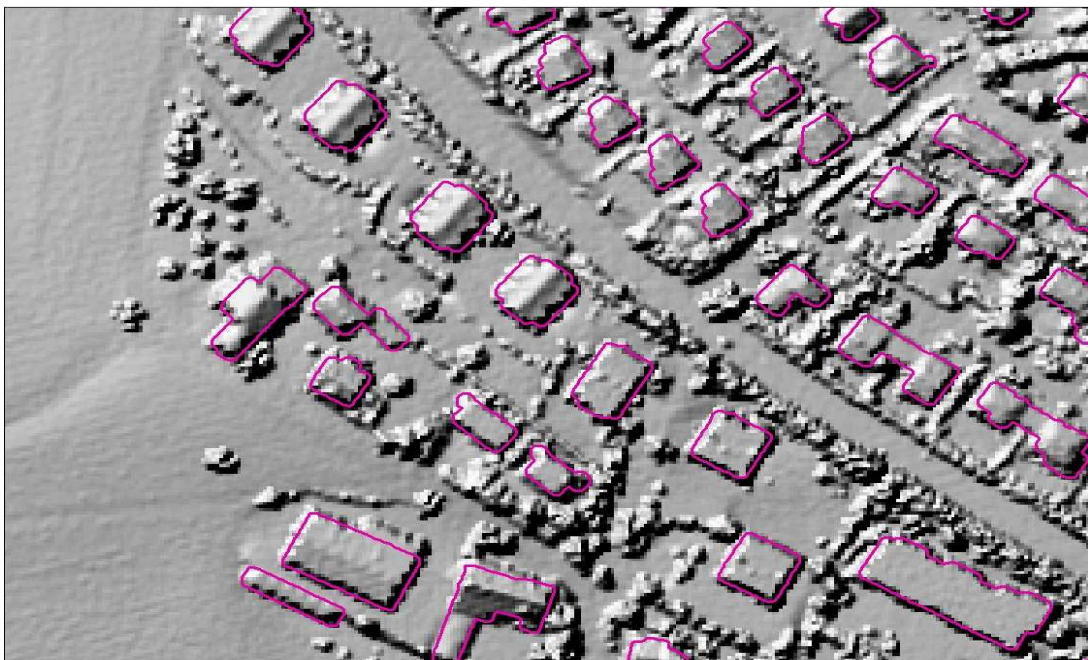


Abbildung 2: DOM für das Beispielgebiet Kürzihof mit den Gebäudeumrissen in violett.

Mit Hilfe der Gebäudegrundrisse wurde aus dem DOM in einem ersten Schritt ein Oberflächenmodell (Beispiel: Abbildung 2) abgeleitet, welches nur die zu betrachtenden Gebäude enthält (Gebäudeoberflächenmodell). Dies erlaubt es, die Rechenzeit der nachfolgenden Schritte erheblich zu reduzieren. In einem zweiten Schritt wurde für jeden Rasterpunkt im Gebäudeoberflächenmodell die Ausrichtung und Neigung berechnet.

3.2 Dachflächenanalyse

Das DOM liegt als 1m-Raster vor und enthält deshalb keine Information über die einzelnen Dachflächen (keine Vektordaten). Um Aussagen über einzelne Dachflächen (Ausrichtung, Neigung, Einstrahlung) machen zu können, müssen diese zuerst erkannt werden. *METEOTEST* hat zu diesem Zweck eine eigene Software entwickelt, welche aus den DOM-Daten für ein Gebäude die einzelnen Dachflächen des Gebäudes automatisch erkennt. Das Ergebnis hängt stark von der Qualität der DOM-Daten und der Komplexität der Dachformen ab. Während einfache Dachformen in der Regel sehr gut erkannt werden, kann das Ergebnis bei komplexen Dachstrukturen oder Dächern mit vielen Dachaufbauten nicht ganz der Realität entsprechen. Insbesondere kleine Dachaufbauten sind aufgrund der Auflösung der DOM-Daten von 1 m nicht erfassbar.

3.3 Horizontanalyse

Die Horizontanalyse wurde für alle Rasterpunkte innerhalb der Gebäudegrundrisse mit einer horizontalen und vertikalen Auflösung von 1 Grad durchgeführt. Innerhalb eines Radius von 500 m wurde auf der Basis des DOM der Nahhorizont (benachbarte Gebäude, Bäume, etc.) berechnet. Die Berechnung des Fernhorizontes (Hügel, Berge) erstreckte sich auf einen Radius von 25 km. Dafür wurden das digitale Terrainmodell der Schweiz und das digitale Geländemodell von Österreich mit einer Auflösung von 100 m verwendet. Wenn die Berechnung des Horizontes einen negativen Wert aufwies, wurde der Horizontwert auf 0 gesetzt.

3.4 Strahlungsberechnung

In einem ersten Schritt wurde mit der Software *meteonorm* für Widen die Globalstrahlung auf eine horizontale Fläche für jede Stunde eines typischen Jahres berechnet. Die Verschattung wurde dabei noch nicht berücksichtigt.

In einem zweiten Schritt wurde für alle Rasterpunkte innerhalb der Gebäudegrundrisse die Einstrahlung unter Berücksichtigung der entsprechenden Ausrichtung, Neigung und Horizontlinie berechnet. Dabei wurden die Wetterwerte des zuvor berechneten Gitterpunktes verwendet.

Die Auswirkung des Horizontes auf die Einstrahlung wurde für alle Rasterpunkte innerhalb der Gebäudegrundrisse berechnet. Dabei wurden die direkte und die diffuse Strahlung separat ermittelt. Für die direkte Strahlung wurde für jede Stunde

ermittelt, ob die Sonnenposition über dem Horizont des Rasterpunkts liegt oder nicht. Falls die Sonne über dem Horizont liegt, wurde die direkte Strahlung in der entsprechenden Stunde berücksichtigt, ansonsten nicht.

Für die diffuse Strahlung war das Vorgehen komplexer. Der reflektierte Anteil der diffusen Strahlung wurde wie von der *meteonorm* berechnet belassen. Für den nicht reflektierten Anteil der diffusen Strahlung wurde zuerst für jede Stunde im Jahr die Einstrahlungsverteilung der diffusen Strahlung über die Himmelshemisphäre gemäss dem Perez-Modell² berechnet (Auflösung 1 Grad; vgl. Abbildung 3, links). Danach wurde ermittelt, welche Teile der Himmelshemisphäre über dem Horizont liegen und welche darunter (Abbildung 3, Mitte). Anschliessend wurde nur der Anteil der diffusen Strahlung, der über dem Horizont liegt für die Berechnung berücksichtigt (Abbildung 3, rechts).

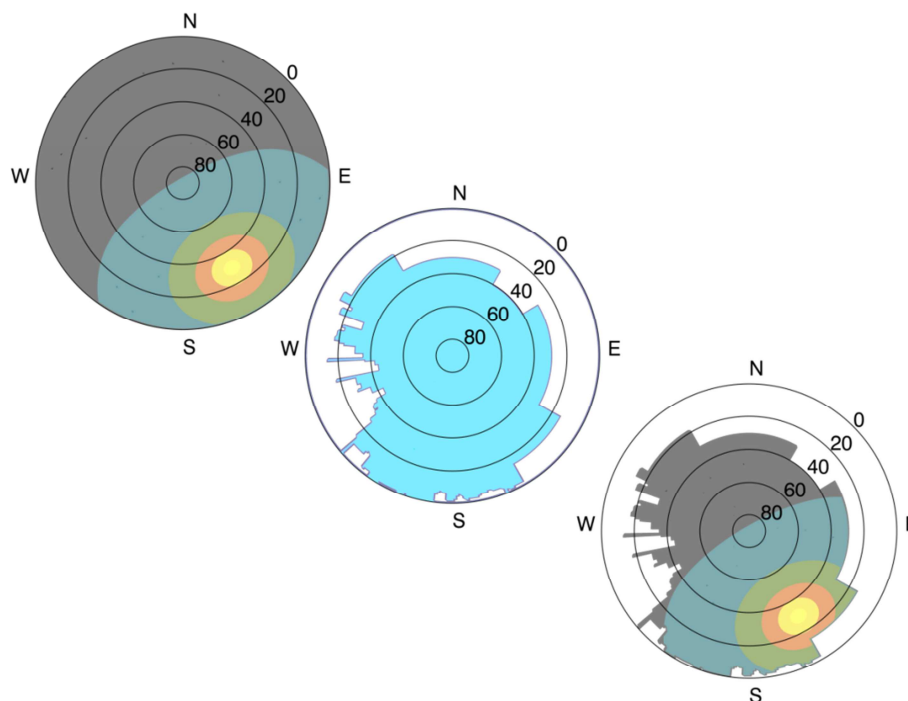


Abbildung 3: Vorgehen bei der Verschattungsanalyse für die diffuse Strahlung: Strahlungsverteilung (links), Horizont (Mitte) und sichtbarer Teil der Strahlungsverteilung (rechts).

Speziell behandelt wurden Flächen mit einer Neigung von weniger als 5 Grad (Flachdächer). Für diese Flächen wurde davon ausgegangen, dass eine Photovoltaikanlage aufgeständert wird. Deshalb wurde für diese Flächen bei der Einstrahlungsberechnung pro Dachfläche (Solarkataster Version 2) die Ausrichtung auf Süden und die Neigung auf 30 Grad gesetzt. Eine Neigung von 30 Grad optimiert den

² *Perez et al.*, All-weather model for sky luminance distribution – preliminary configuration and validation. *Solar Energie* Vol. 50, 1993, pp. 235-245.

möglichen Ertrag pro Fläche. Bei der Potentialabschätzung muss aber berücksichtigt werden, dass bei aufgeständerten Anlagen maximal die Hälfte der zu Verfügung stehenden Dachfläche ausgenutzt werden kann, ohne durch gegenseitige Abschattung der Module erhebliche Ertragsverluste zu erleiden.

4 Ergebnisse

4.1 Solarkataster Version 1

Für das Solarkataster Version 1 wird die Einstrahlung auf Basis des direkt aus dem DOM abgeleiteten Gebäudeoberflächenmodells und den dazugehörigen Werten für die Ausrichtung und Neigung (vgl. Abschnitt 3.1) berechnet. Eine Bestimmung der einzelnen Dachflächen wurde für die Version 1 noch nicht durchgeführt. Als primäres Ergebnis liegt die Einstrahlung pro Quadratmeter als Rasterbild vor (solarkataster_v1, vgl. Abbildung 4). Die Werte geben die jährliche Globalstrahlung pro Quadratmeter an ($\text{kWh/m}^2/\text{a}$).

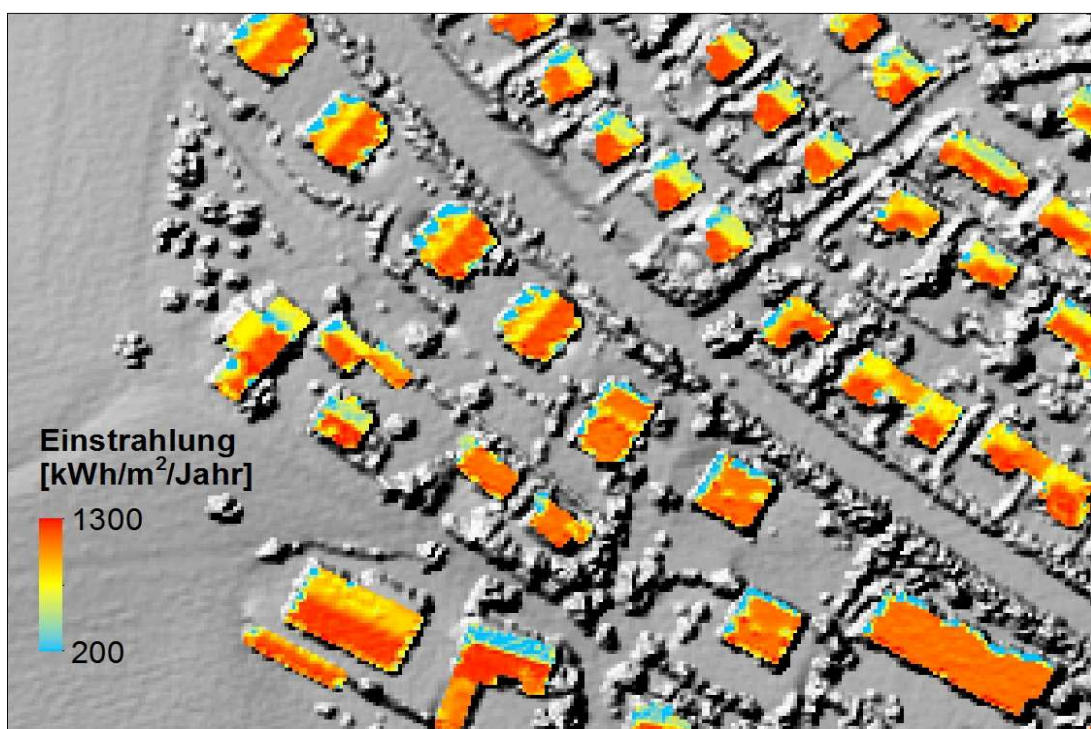


Abbildung 4: Einstrahlungsstärke [$\text{kWh/m}^2/\text{a}$] für das Beispielgebiet Kürzihof.

Die Analyse der primären Ergebnisse ist in einem Feature-Datensatz als Shapefile (solkat_v1, Abbildung 5) aufbereitet. Für die Analyse wird für jede Gesamtgebäudefläche ermittelt, wie gross der Anteil von Rasterpunkten innerhalb der folgenden vier Einstrahlungsklassen ist: 0-700, 700-900, 900-1100 und >1100 $\text{kWh/m}^2/\text{a}$. Für jedes Gebäude werden die Parameter gemäss Tabelle 1 angegeben.

Zusätzlich wird jedes Gebäude aufgrund der Einstrahlungswerte einer Eignungsklasse (Eignung) zugeordnet. Die mittlere Einstrahlung ist dafür ein schlechter Gradmesser, da z.B. für Schrägdächer die mittlere Einstrahlung nicht besonders hoch ist, weil Teile des Daches schlecht ausgerichtet sind. Daher werden die Gebäude nach den in Tabelle 2 festgelegten Kriterien den Eignungsklassen zugeordnet.

Tabelle 1: Gebäudeparameter.

Parameter	Einheit	Beschreibung
Gesamteinstrahlung	[MWh/Jahr]	Die gesamte Globalstrahlung für das Haus pro Jahr
Gesamtfläche	[m ²]	Gesamte Gebäudefläche
Fläche sehr gut	[m ²]	Fläche innerhalb der Gebäudefläche mit der Eignungsstufe sehr gut
Fläche gut	[m ²]	Fläche innerhalb der Gebäudefläche mit der Eignungsstufe gut
Eignung	-	vgl. Tabelle 2

Tabelle 2: Eignungsklasse nach Einstrahlung.

Eignung	Kriterien
sehr gut	mindestens 30% der Gebäudefläche haben eine mittlere Einstrahlung von mehr als 1100 kWh/m ² /a
gut	mindestens 50% der Gebäudefläche haben eine mittlere Einstrahlung von mehr als 900 kWh/m ² /a
mässig	mindestens 30% der Gebäudefläche haben eine mittlere Einstrahlung von mehr als 900 kWh/m ² /a
schlecht	der Rest

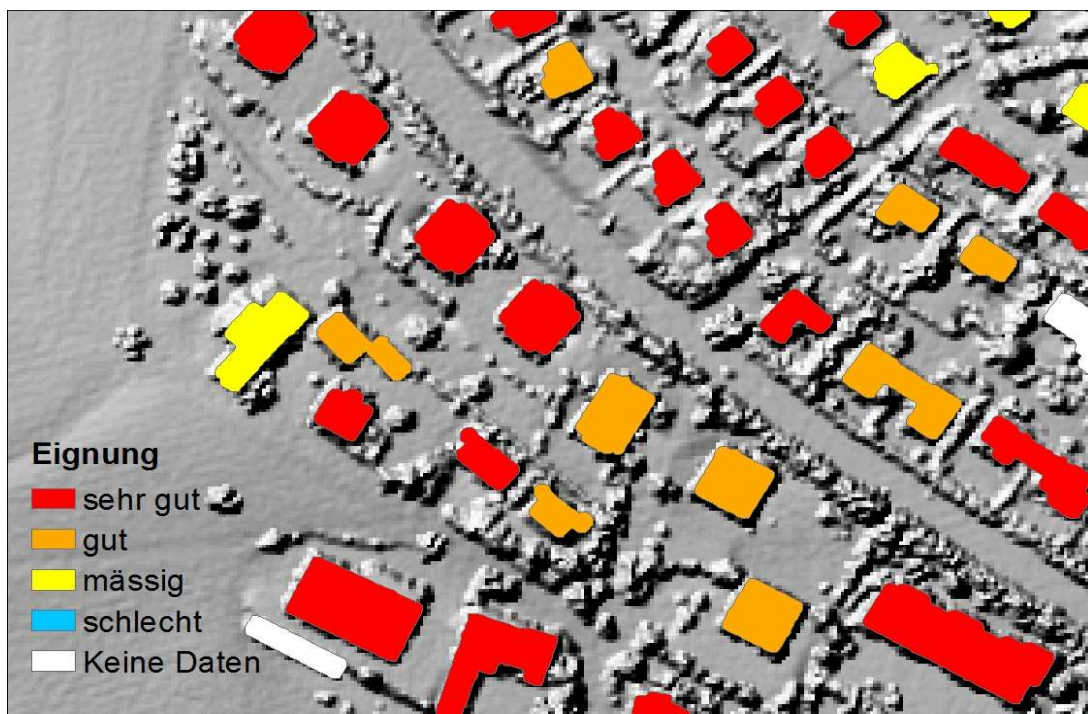


Abbildung 5: Solarkataster Version 1 für das Beispielgebiet Kürzihof mit den Eignungsklassen: Sehr gut, gut, mässig und schlecht (Screenshot aus ArcGIS).

4.2 Solarkataster Version 2 (Dachflächen)

Im Rahmen der Dachflächenanalyse (vgl. Abschnitt 3.2) wurde innerhalb der erfassten Flächen das Gebäudeoberflächenmodell sowie die Ausrichtung und Neigung homogenisiert. Es wurden für jedes Gebäude einzelne Dachflächen gebildet. Das Solarkataster Version 2 wird auf Basis dieser homogenisierten Werte berechnet. Damit ist gewährleistet, dass Ausrichtung und Neigung innerhalb einer Dachfläche homogen sind. Zudem wird dadurch ein allfälliger falscher Horizont durch eine Inhomogenität des DOM eliminiert. Ausserhalb der Dachflächen wird für die Verschattungsanalyse das DOM verwendet.

Das Ergebnis ist ein Feature-Dataset mit 3'072 Dachflächen. Für jede Dachfläche sind die in Tabelle 3 erläuterten Parameter angegeben. Der Feature-Datensatz wurde als Shapefile (solkat_v2, Abbildung 6) exportiert. Zusätzlich wird jede Dachfläche aufgrund der Einstrahlungswerte einer Eignungsklasse (Eignung) zugeordnet. Im Gegensatz zu den Gebäudeflächen (vgl. Abschnitt 4.1) ist die mittlere Einstrahlung für Dachflächen ein guter Gradmesser, da abgesehen von der Verschattung die Einstrahlung innerhalb einer Dachfläche homogen ist. Damit ergeben sich für die Dachflächen die Eignungsklassen wie in Tabelle 4 angegeben.

Tabelle 3: Parameter für die Dachflächen.

Parameter	Einheit	Beschreibung
Gesamteinstrahlung	[kWh/Jahr]	Die gesamte Einstrahlung für die Dachfläche pro Jahr
Fläche	[m ²]	Fläche der (geneigten) Dachfläche
Ausrichtung	Grad	-/+180 = Nord, -90 = Ost, 0 = Süd, 90 = West
Neigung	Grad	0 = flach, 90 = vertikal
mittlere Einstrahlung	[kWh/m ² /Jahr]	Die mittlere Einstrahlung pro Quadratmeter pro Jahr für die Dachfläche
Elektrischer Ertrag	[kWh/Jahr]	erzielbarer elektrischer Ertrag (vgl. Abschnitt 4.3)
Eignung	-	vgl. Tabelle 4

Tabelle 4: Eignungsklassen gemäss der mittleren Einstrahlung.

Eignung	Kriterien
sehr gut	mittlere Einstrahlung grösser als 1'100 kWh/m ² /Jahr
gut	mittlere Einstrahlung grösser als 900 kWh/m ² /Jahr
mässig	mittlere Einstrahlung grösser als 700 kWh/m ² /Jahr
schlecht	mittlere Einstrahlung kleiner als 700 kWh/m ² /Jahr

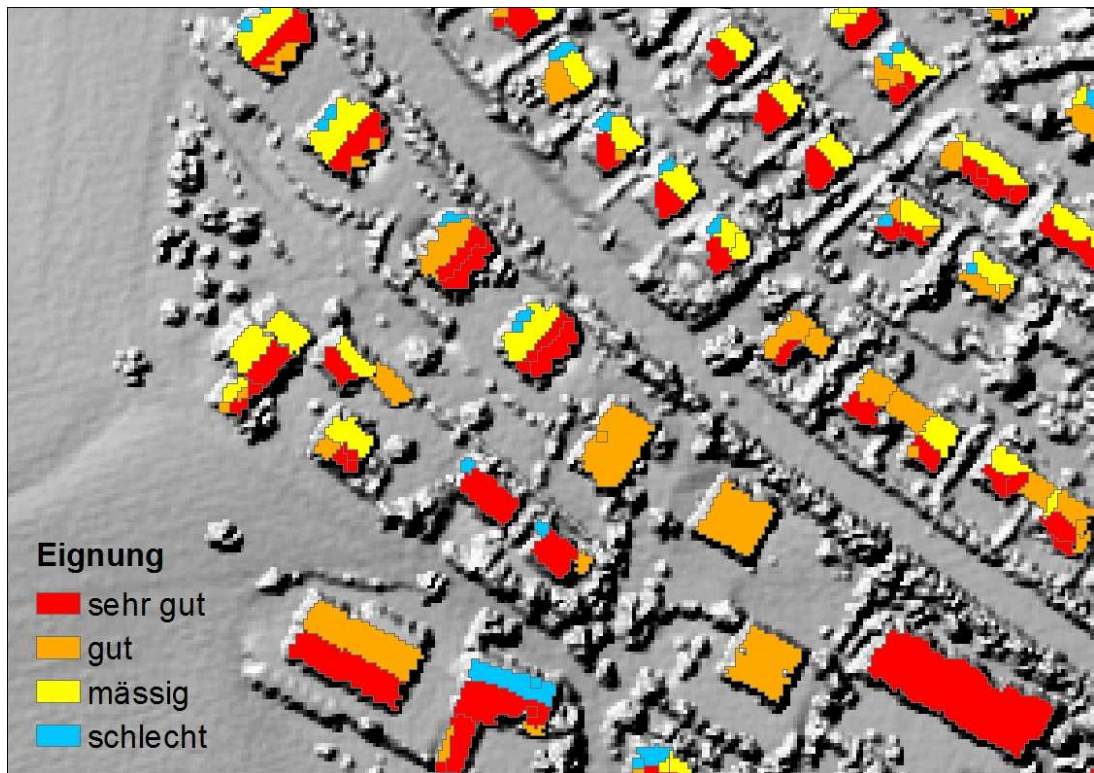


Abbildung 6: Solarkataster Version 2 für das Beispielgebiet Kürzihof mit den Eignungsklassen: Sehr gut, gut, mässig und schlecht (Screenshot aus ArcGIS).

4.3 Umrechnung in elektrische Energie

Der auf einer Fläche mit einer gegebenen Einstrahlung erzielbare Ertrag einer Photovoltaikanlage hängt stark vom eingesetzten Modultyp ab (vgl. Tabelle 5). Da es hier um eine Abschätzung für zukünftig zu installierende Anlagen geht und die Wirkungsgrade der Module laufend zunehmen, gehen wir im Folgenden von einem mittleren Modulwirkungsgrad von 15% aus. Ein solcher ist mit den heute am häufigsten verwendeten Siliziumzellen problemlos erreichbar.

Tabelle 5: Modulwirkungsgrad bei Standard-Testbedingungen³

Material	Modulwirkungsgrad
Monokristallines Silizium	11 bis 19.5 %
Polykristallines Silizium	10 bis 16 %
Amorphes Silizium	3 bis 7.5 %
Kupfer-Indium-Diselenid (CIS)	7.5 bis 11.5 %

Neben dem Modulwirkungsgrad muss weiter der Systemwirkungsgrad (performance ratio) berücksichtigt werden. Der Systemwirkungsgrad berücksichtigt alle Verluste in der Anlage (z.B. Wechselrichter). Durch die Verbesserungen insbesondere bei den Wechselrichtern kann heute von einem Systemwirkungsgrad von 85% ausgegangen werden.

Insgesamt ergibt dies für die Umrechnung des Einstrahlungspotentials in das Potential für elektrische Energie einen Faktor von 12.75 % ($85\% \cdot 15\%$).

³ kommerziell erhältliche Module. Quelle: Swisssolar/Häberlin 2010.