

SOLARSTATISTIK AUS HEITEREM HIMMEL

Die Sonnenenergie wird in der Schweiz von Jahr zu Jahr breiter genutzt. Wie viele Photovoltaik (PV)- und Solarwärme-Anlagen es tatsächlich gibt, wird bisher anhand der Verkaufszahlen geschätzt und ist mit einer Ungenauigkeit behaftet. Ein Forscherteam der Fachhochschule Nordwestschweiz hat nun in einem Projekt versucht, den Bestand der Solaranlagen auf Schweizer Dächern mittels Luftbildern genauer als bisher zu bestimmen, wobei die Solaranlagen dank maschinellem Lernen automatisch identifiziert und quantifiziert wurden. Die Ergebnisse dürften die Zuverlässigkeit der Solarstatistik verbessern. Sie könnten überdies Impulse zum gezielten weiteren Ausbau der Solarenergie geben.



Erkannt durch künstliche Intelligenz: Die PV-Anlagen (rot) und die solarthermischen Anlagen (gelb) im Zentrum der Stadt Basel. Rechts oben das mit Photovoltaik ausgestattete Dach des Messekomplexes. Foto: FHNW



Ein Luftbild von swisstopo – links mit der früheren Auflösung (ein Bildpunkt/Pixel entspricht 50 cm), rechts mit der heute verfügbaren Auflösung (ein Bildpunkt/Pixel entspricht 10 cm). Foto: SWISSIMAGE/swisstopo.

Dank Satellitenbildern, Drohnenvideos und Google Earth haben wir uns daran gewöhnt, die Welt von oben anzuschauen. Aus dieser Perspektive bestaunt man nicht nur faszinierende Landschaften und Städte, man kann auch – wenn man genau genug hinschaut – den Wandel unserer Energieversorgung verfolgen: nämlich die wachsende Zahl von Solaranlagen, mit deren Hilfe aus der Energie der Sonne Photovoltaikstrom oder Wärme (thermische Solarkollektoren) für Heizung und Warmwasser gewonnen wird. Schon heute können interessierte Personen auf dem vom BFE mitgetragenen Portal [sonnendach.ch](https://www.sonnendach.ch) für jedes Gebäude in der Schweiz einsehen, welche Dach- und Fassadenflächen für die Produktion von Solarenergie geeignet sind. Das Portal basiert auf einem Vektordatensatz für Gebäude (swissBUILDINGS3D 2.0), der aus verschiedenen Luftbildern erstellt wurde.

Die Statistik der Schweizer Solaranlagen beruht bisher nicht auf der Analyse von Luftbildern. Grundlage bilden vielmehr die Verkaufszahlen für Netzverbund- und Inselanlagen, die Swissolar jährlich im Auftrag des BFE mit einer Branchenumfrage erhebt. 2019 wurden gemäss dieser Teilstatistik für die Sonnenenergie (abrufbar unter: <https://bit.ly/3qOlcUj>) insgesamt 42'774 m² thermische Kollektoren sowie PV-Module mit 326'075 kW Leistung zugebaut. Diese Teilstatistik fließt später in die BFE-Statistik für erneuerbare Energien ein. «Weil wir über Solaranlagen leider keine verlässlichen Datenbanken verfügen, sind die Angaben bei den PV-Anlagen mit einer Ungenauigkeit von zehn Prozent behaftet, bei den solarthermischen Anlagen sogar von 15 bis 20 Prozent», sagt Urs

Kaufmann (eicher+pauli AG), der die Statistik für erneuerbare Energien im Auftrag des BFE jährlich zusammenstellt.

Zählung dank Luftaufnahmen

Im Bundesamt für Energie befasst sich ein Expertenteam seit mehreren Jahren mit der Frage, wie sich die Digitalisierung im Energiebereich nutzen lässt. «Wir möchten unter anderem wissen, wie sich hochaufgelöste Luftbilder für die Verbesserung der Solarstatistik nutzen lassen», sagt Martin Hertach,



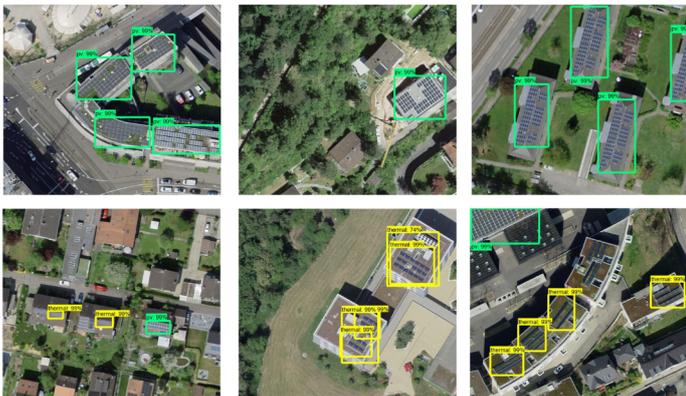
Die FHNW-Wissenschaftler Adrian F. Meyer, Prof. Martin Christen und Prof. Denis Jordan (v.l.n.r.). Fotos: FHNW

Leiter Dienst Geoinformation beim BFE. Auf Initiative des BFE startete die Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) ein Forschungsprojekt, bei dem ein Algorithmus entwickelt wurde, der Solaranlagen auf Luftbildern automatisch erkennt und quantifiziert. Durchgeführt wurde das Projekt von Prof. Martin Christen mit seinen Kolleginnen und Kollegen des Instituts für Geomatik, die über Expertise in Erhebung und Auswertung von Geoinformations-Daten verfügen. Die Ergebnisse des zweijährigen Projekts, das vom BFE-Forschungsprogramm Photovoltaik und vom Kanton Aargau unterstützt wurde, liegen nun vor.

Um Solaranlagen aufzuspüren, nutzt das FHNW-Forscherteam Luftbilder, die das Bundesamt für Landestopografie (swisstopo) aus Flugzeugen aufgenommen hat (öffentlich verfügbar unter: map.admin.ch). Die Fotos der neusten Generation haben eine Auflösung von 10 cm pro Pixel. Mit dieser Genauigkeit lassen sich Module von Solaranlagen gut erkennen. Um die Fläche einer Solaranlage aus einem Luftbild zu bestimmen, muss man zusätzlich die Dachneigung kennen. Diese Information entnehmen die Wissenschaftler der oben erwähnten swisstopo-Datenbank, die 3D-Modelle aller Schweizer Gebäude enthält (swissBUILDINGS3D).

Einsatz von Künstlicher Intelligenz

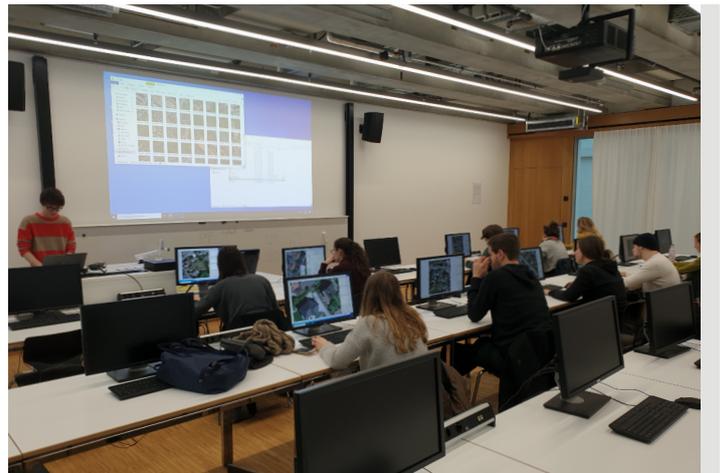
Neuartig am Ansatz der FHNW-Forscher: Computer suchen auf den Luftbildern nicht nach vorgängig definierten geometrischen Mustern, sondern sie legen unter Nutzung eines AI-



Ein erster, vorbereitender Schritt auf dem Weg des maschinellen Lernens: Ein Mensch markiert auf Luftbildern alle Solaranlagen mit einem Rahmen – die PV-Anlagen in Grün, die solarthermischen Anlagen in Gelb. Mit diesen Fotos wurde der Algorithmus trainiert, damit er auf Luftaufnahmen Solaranlagen als solche erkennt. Fotos: FHNW

gorithmus selber fest, wie sie Solaranlagen als solche erkennen. Der Algorithmus ist das Ergebnis eines maschinellen Lernprozesses, bei dem ein Computer aus Beispielaufgaben einen Lösungsweg ableitet, den er anschliessend zur Lösung neuer Aufgaben verwenden kann. Grundlage bildet die Open-Source-Software PyTorch in Verbindung mit einer Objekterkennungs-Software, die in der Lage ist, in einem Foto vorgängig definierte Objekte aufzuspüren.

Damit ein Algorithmus entsteht, der Solaranlagen erkennt, wird ein Computer mit Luftbildern gefüttert, auf denen die Solaranlagen von Menschenhand markiert sind. In dem maschinellen Lernprozess sucht der Computer dann in einer Vielzahl solcher Bilder nach Gemeinsamkeiten und Mustern,

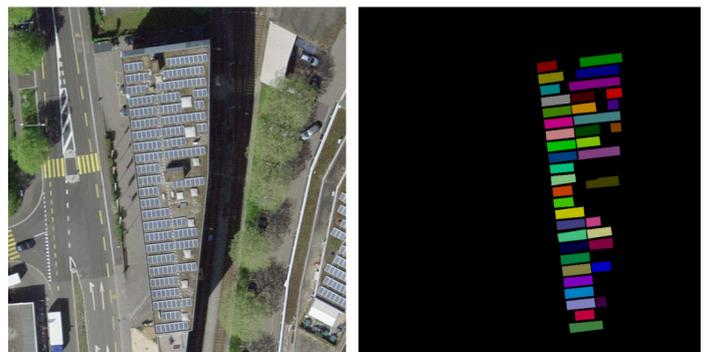


Studentinnen und Studenten der Fachhochschule Nordwestschweiz zeichneten im Januar 2020 während fünf Tagen auf fast 8000 Luftbildern mit Computergrafik-Werkzeugen die Solaranlagen ein. Foto FHNW

die ihn später in die Lage versetzen, Solaranlagen auch auf Luftbildern zu erkennen, in denen sie nicht von Menschenhand markiert sind. Um den Lernprozess zu ermöglichen, haben zehn emsige FHNW-Studentinnen und Studenten im Januar 2020 während fünf Tagen auf fast 8000 Luftbildern mit Computergrafik-Werkzeugen von Hand die Solaranlagen markiert: Sie umrandeten jede Solaranlage mit einem Rahmen, zeichneten die einzelnen Module nach und bestimmten nach Aussehen, ob es sich um eine PV- oder eine solarthermische Anlage handelt (vgl. Fotos links und unten). Anhand der bearbeiteten Bilder lernte ein Hochleistungsrechner – er hat die Rechenleistung von 400 Personalcomputern – Solaranlagen eigenständig zu erkennen.

Erkennung von Anlagentyp und Fläche

Unterdessen steht fest, wie gut der Algorithmus Solaranlagen erkennt: Bei 92 % der umrahmten Objekte, die der Algorithmus als PV-Anlagen ausweist, handelte es sich tatsächlich



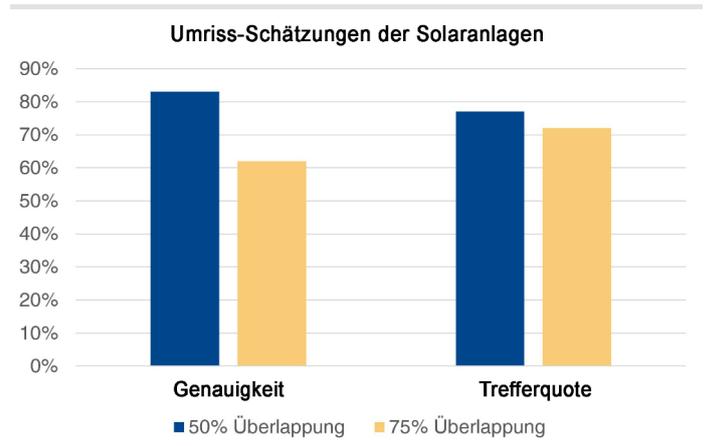
Links das Luftbild, rechts die Teilflächen der Solaranlage, jede in einer anderen Farbe dargestellt. Fotos: FHNW

um PV-Anlagen. Bei den solarthermischen Anlagen waren 62 % der identifizierten Objekte tatsächlich solarthermische Anlagen. Die Erkennungsquote lag hier tiefer, weil der Algorithmus in 30 % der Fälle PV-Anlagen fälschlicherweise als Solarthermie-Anlagen auswies. «Diese Ergebnisse entsprechen dem heutigen Leistungsstandard von Künstlicher Intelligenz (KI)», sagt Geoinformatiker Martin Christen.

Diese Aussage gilt auch für den zweiten Schritt, nämlich die Bestimmung der Anlagenfläche, die sich aus der Summe der einzelnen Segmente (PV-Modul oder Solarwärme-Kollektor) ergibt (vgl. Grafik rechts). Der Algorithmus ermittelt die Fläche von Solaranlagen in 82 % der Fälle korrekt, sofern man sich mit einer beschränkten Genauigkeit zufrieden gibt. Wünscht man eine höhere Genauigkeit, sinkt die Erkennungsquote auf 62%. Diese Werte gelten dann, wenn der Algorithmus nicht zwischen PV- und Solarthermie-Anlage unterscheiden muss. Soll neben der Fläche auch der Anlagentyp identifiziert werden, liegt die Erfolgsquote tiefer. «Wir hoffen, die Erkennungsqualität mit weiteren Updates der Erkennungssoftware sowie dem Einbezug etwa von Nahinfrarot-Aufnahmen und zusätzlichen Datensätzen nochmals zu verbessern», sagt FHNW-Wissenschaftler Adrian Meyer und ergänzt: «Die KI wird aber nie verlässlicher sein können als der Mensch, und von dem wissen wir, dass er bei der Auswertung von Luftbildern rund 10% der Segmente falsch zuordnet, also etwa ein PV-Modul mit einem Dachfenster verwechselt oder einen Warmwasser-Kollektor mit einem Müllcontainer.»

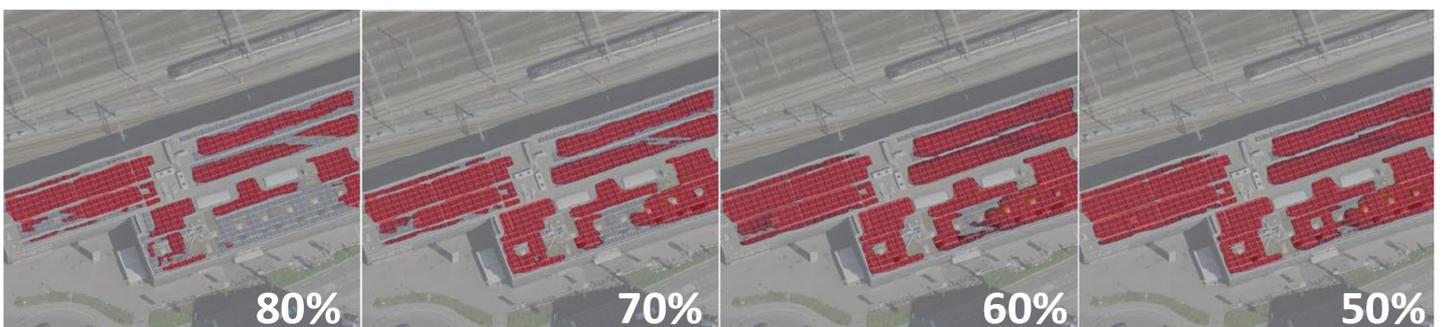
Verknüpfung mit Gebäudedaten

Der Algorithmus der FHNW sollte bis Anfang 2021 auf die Luftaufnahmen für das ganze Gebiet der Schweiz angewendet werden. Das BFE verknüpft die Ergebnisse anschliessend mit einer Gebäudedatenbank und wird auf dieser Grundlage bestimmen können, wie viele Solaranlagen mit welcher Fläche die Schweiz zählt. «Mit den Ergebnissen der FHNW wird sich Zahl und Fläche der Solaranlagen zwar nicht exakt bestimmen lassen, aber sie werden uns helfen, bestehende Statistiken zu validieren, also ihre Aussagekraft zu verbessern», sagt Martin Hertach. «Wir müssen hierbei mit der Einschränkung



Die beiden Säulen links geben an, mit welcher Präzision der Algorithmus Solaranlagen auf Luftbildern erkennt. Der Algorithmus ermittelt die Fläche von Solaranlagen in 82 % der Fälle korrekt, sofern man sich mit einer beschränkten Genauigkeit zufrieden gibt (blaue Säule). Beschränkte Genauigkeit bedeutet, dass sich die vom Algorithmus erkannte und die tatsächliche Fläche zu mindestens 50 % überlappen. Wünscht man eine bessere Genauigkeit – die Überlappung beträgt mindestens 75 % – sinkt die Erkennungsquote auf 62% (orange Säule). Die Säulen rechts veranschaulichen die Trefferquote des Algorithmus': Gemeint ist damit der Anteil der korrekten Zuordnungen an der Gesamtheit der korrekten und unzutreffenden Ergebnisse zusammen genommen. Wenn die Trefferquote hoch ist, heisst das, dass der Algorithmus eine grosse Zahl der Solaranlagen erkannt hat. Grafik: FHNW.

det werden. Das BFE verknüpft die Ergebnisse anschliessend mit einer Gebäudedatenbank und wird auf dieser Grundlage bestimmen können, wie viele Solaranlagen mit welcher Fläche die Schweiz zählt. «Mit den Ergebnissen der FHNW wird sich Zahl und Fläche der Solaranlagen zwar nicht exakt bestimmen lassen, aber sie werden uns helfen, bestehende Statistiken zu validieren, also ihre Aussagekraft zu verbessern», sagt Martin Hertach. «Wir müssen hierbei mit der Einschränkung



Viermal dieselbe Solaranlage: Die Abbildung links zeigt alle Bildpixel (in Rot), bei denen die KI mit einer Wahrscheinlichkeit von 80% (und mehr) davon ausgeht, dass die Pixel zu einer Solaranlage gehören. Die Abbildung ganz rechts zeigt alle Bildpixel (in Rot), bei denen der Algorithmus mit einer Wahrscheinlichkeit von 50% (und mehr) davon ausgeht, dass die Pixel zu einer Solaranlage gehören. Die verschiedenen Abbildungen veranschaulichen also die Zuverlässigkeit, mit denen der Algorithmus Solaranlagen erkennt. Grafik: FHNW.

kung leben, dass Solaranlagen an Fassaden über Luftbilder nicht erkannt werden können.»

Nach Einschätzung des BFE-Experten könnten die neu gewonnenen Daten Gemeinden und Kantonen Entscheidungsgrundlagen zur Verfügung stellen, wie sie die Ausbauziele für Solaranlagen erreichen können, und sie könnten dem Bund beim Monitoring der Energiestrategie 2050 helfen. Offen ist zum aktuellen Zeitpunkt noch, ob die Öffentlichkeit direkt auf die neue Datei aller Schweizer Solaranlagen zugreifen kann. Hierfür sind noch Fragen des Datenschutzes zu klären.

- Der **Schlussbericht** zum Projekt «SOLAI - Automatisierte Erkennung von Solarenergieanlagen mit Deep Convolutional Neural Networks» ist in Kürze abrufbar unter: www.aramis.admin.ch/Grunddaten/?ProjectID=41796
- **Auskünfte** zum Projekt erteilt Dr. Stefan Oberholzer (stefan.oberholzer@bfe.admin.ch), Leiter des BFE-Forschungsprogramms Photovoltaik.
- Weitere **Fachbeiträge** über Forschungs-, Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprojekte im Bereich Photovoltaik finden Sie unter www.bfe.admin.ch/ec-pv.