



Die Thermografie-Drohne erkennt Hotspots und fehlerhafte Module aus der Luft.

Thermografie von Photovoltaik-Anlagen mit Drohnen aus der Luft

Die *paul kitawa* (www.kitawa.de) aus dem brandenburgischen Calau ist spezialisiert auf Filmproduktionen. Seinen Kunden bietet das Unternehmen neben Werbe-, Schulungs-, Image- und Produktfilmen auch Aufnahmen mit Drohnen aus der Luft an. Über diese Luftaufnahmen kam *paul kitawa* Inhaber Mario Hamsch im Jahr 2011 auch mit dem Thema Thermografie in Kontakt und entwickelte auf Basis der FLIR T620 eine Wärmebildkamera-Drohne.

"Einer unserer Kunden aus dem Energie-Bereich (die uesa GmbH, www.uesa.de) kam damals mit der Anfrage auf uns zu, ob wir mit unseren Drohnen auch Wärmebildkamera-Aufnahmen machen könnten, mit denen größere Freiflächen-Photovoltaik-Anlagen kontrolliert werden," erinnert sich Mario Hamsch. Als er seinerzeit die Frage prinzipiell bejahte, ahnte Mario Hamsch schon, dass wohl noch einiges an Entwicklungsarbeit auf ihn zukommen würde.

PV-Thermografie aus der Luft

Die Thermografie eignet sich gut für die Inspektion von Photovoltaik-Anlagen. Dabei stellt eine Infrarotkamera Temperaturunterschiede in bzw. auf

einem PV-Modul fest und visualisiert sie in einem Wärmebild. Im Normalbetrieb eines fehlerfreien Photovoltaik-Moduls zeigt das Wärmebild eine homogene Temperaturverteilung im Modul. An einem fehlerhaften Modul werden dagegen signifikante Temperaturdifferenzen in einzelnen oder auch in allen Zellen des Moduls nachgewiesen. Die Detektion von Fehlern mit der hochauflösenden Infrarotkamera der PV-Drohne ist daher eine effiziente und kostensparende Lösung, um nachhaltig den Ertrag einer Photovoltaik-Anlage zu sichern.

Voraussetzungen und kompetente Partner

Der erste Schritt in der Entwicklung einer Thermografie-Drohne bestand für

Mit ihrer hohen Auflösung bei geringem Gewicht ideal geeignet für die Thermografie-Drohne: Oberklasse-Wärmebildkamera der FLIR Tbx-Serie.



Die Drohne besteht aus einem Oktokopter, der FLIR T620 und einer vertikal schwenkbaren Kamera-Aufhängung – mit einem Gesamtgewicht von deutlich unter 5 kg.





Mario Hamsch mit der Fernsteuerung der Drohne und dem Messkoffer, auf dessen Monitor der Livestream angezeigt wird. Der Infrarot-Live-Stream wird permanent an die Bodenstation übertragen, von einem digitalen Rekorder aufgenommen und auf dem Monitor eines speziell konstruierten Messkoffers angezeigt. Links auf dem Stativ zu sehen: Die Antenne für die Verbindung zu Drohne und Wärmebildkamera.

Mario Hamsch in der Suche von kompetenten Partnern. Neben regional bezogenen Thermografie-Partnern aus ganz Deutschland fand der gebürtige Brandenburger mit Dipl.-Ing. Matthias Maus (www.solar-diagnose.de), einen zertifizierten TÜV-Sachverständigen für PV-Anlagen und erfahrenen Thermografen. Mario Hamsch befasste sich nun intensiv mit dem Thema Infrarotkamera und legte die Kriterien für die Auswahl der Infrarotkamera fest: Das Gerät sollte über eine möglichst hohe Infrarotauflösung verfügen, damit weitere Bereiche der installierten Photovoltaik-Module aus größerer Höhe thermografiert werden können. Idealerweise sollte die Kamera eine drahtlose Verbindungstechnologie unterstützen, um das Infrarotbild im Video-Stream an eine Bodenstation zu übertragen. Außerdem musste die Kamera relativ leicht sein, da die Drohne ein Gesamtgewicht von 5 kg nicht überschreiten durfte. "Ab 5 kg Gewicht ist für jeden Start eine Einzel-Aufstiegsgenehmigung notwendig. Das wäre ein erheblicher Mehraufwand – im Vergleich zur allgemeinen Aufstiegsenehmigung, die wir für unsere Drohne haben," erklärt Mario Hamsch.

Entwicklung der Infrarot-Drohne

Auf dieser Basis entschied sich Mario Hamsch mit der FLIR T620 für eines der Oberklassemodelle von Infrarotkamera-Weltmarktführer FLIR Systems (www.flir

de). Die Kamera verfügt über die sehr gute Infrarotauflösung von 640x480 Pixel, ist mit weniger als 1,3 kg Eigengewicht sehr leicht und kann zudem über einen Tablet-PC und WLAN gesteuert werden.

"Anfangs war unser Paket aus Drohne, Wärmebildkamera und Aufhängung der Kamera mit knapp unter 5 kg allerdings doch noch zu schwer, um sinnvolle Flugzeiten zu ermöglichen," erinnert sich Mario Hamsch an eine der Schwierigkeiten, die es zu überwinden galt. Gemeinsam mit Dr.

Ing. Rolf Gußer von der Gußer Metallbau GmbH (www.gusser-mb.de) aus Cottbus entwickelte Mario Hamsch eine leichtere Aufhängungslösung, die zufriedenstellende Flugzeiten sicherstellt und außerdem noch den vertikalen Schwenk der Kamera ermöglicht.

Technische Vorgehensweise und Kalibrierung

paul kitawa hat sich mittlerweile auf die Befliegung von Photovoltaikanlagen mit der hochauflösenden Thermografie-Drohne spezialisiert. Die Thermografie-Drohne arbeitet emissionsfrei, effizient, zeit- und kostensparend und detektiert mit der richtigen Kalibrierung sämtliche thermische Anomalien. Außerdem entwickelt das Unternehmen gemeinsam mit dem Ingenieur für Informationstechnik Detlev Schuch sein modulares Drohnensystem ständig weiter, um es den Kundenbedürfnissen anzupassen. Durch die hohe radiometrische Auflösung der FLIR T620 von 640px x 480 Pixeln kann paul kitawa große Solarflächen in kurzer Zeit kostensparend auf thermische Anomalien untersuchen. Aufgrund signifikanter Temperaturunterschiede werden die Fehler an den Solarmodulen sichtbar.

Übertragung der Daten an die Bodenstation

Für die Übertragung des Live-Streams der Wärmebildkamera plante Mario Hamsch ursprünglich eine WLAN-Verbindung zu nutzen, denn die FLIR T620 kann mit einem



Größere Freiflächenanlagen lassen sich mit einer Drohne ideal überprüfen.

Tablet-PC über WLAN ferngesteuert werden. In der Praxis erwies sich die WLAN-Option für Flüge im Freien allerdings nicht als ideal. "Eine WLAN-Verbindung reicht oft nur 40-80m weit, da ist unsere Drohne schnell weiter entfernt," weiß Mario Hamsch heute zu berichten. "Und versuchen Sie mal, draußen bei hellem Sonnenschein auf einem energiesparenden iPad-Bildschirm etwas zu erkennen." Daher entwickelte er gemeinsam mit dem Informationstechniker eine alternative Lösung, bei der die Kamera über die Funksteuerung der Drohne noch aus bis zu 2 km Entfernung bedient werden kann.

Die Software für die Drohnensteuerung ist ein modulares System, das Mario Hamsch entsprechend modifiziert hat. Dabei kommuniziert eine Elektronik-Einheit mit der Kamera, so dass der Drohnen-Operator und/oder der begleitende Thermograf die Kamera über zwei Schalter auslösen und fokussieren kann. Der Live-Stream der Drohne wird permanent an die Bodenstation übertragen, von einem digitalen Rekorder aufgenommen und auf dem Monitor eines speziellen Messkoffers angezeigt.

Team aus Thermograf und Drohnen-Operator

Ein Thermografie- und Flugteam besteht bei paul kitawa immer aus mindestens zwei Personen: Dem Operator der Drohne und einem erfahrenen Thermografen. Im Fliegen der Drohne ist Mario Hamsch selbst sehr erfahren und kann das Gerät auch ohne GPS steuern. "Wenn das GPS ausfällt, wird es für unerfahrene Piloten in der manuellen Steuerung knifflig. Windeinflüsse können die leichte Drohne regelrecht wegpusten, da braucht man Erfahrung für ein sicheres Gegensteuern." Für den Fall, dass die Drohne den Kontakt zum Operator verliert, greift ein Fail-Safe-System ein und landet die Drohne im langsamen Sinkflug – um Schlimmeres zu vermeiden, denn die Technik ist nicht billig: "Auch wenn Drohne und Kamera natürlich versichert sind, sollte man nicht zu oft einen Ausfall produzieren."

Schulung und Thermografie-Expertise

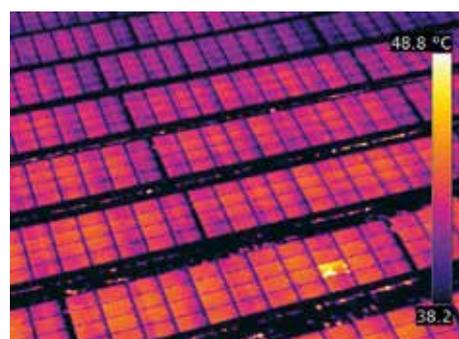
Auch wenn Mario Hamsch in einen Thermografie-Grundkurs geschult wurde, verlässt er sich für die qualifizierte Analyse der Wärmebilder immer auf einen erfahrenen Thermografen. Er ist bei allen Untersuchungen vor Ort dabei, fokussiert



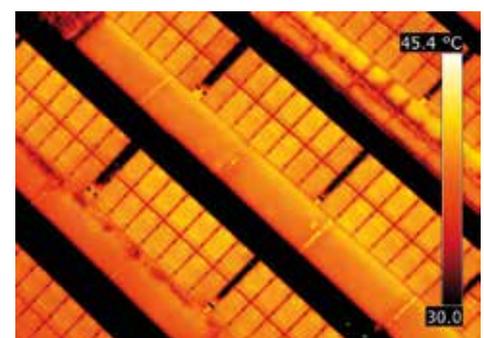
Dipl.-Ing. Matthias Maus und Mario Hamsch untersuchen ein aus der Luft als auffällig erkanntes Photovoltaik-Modul aus der Nähe.

die Kamera per Fernsteuerung, löst sie aus und übernimmt später die Auswertung. Dabei spielt natürlich auch eine Rolle, dass Mario Hamsch mit dem Steuern der Drohne bereits genug beschäftigt ist. Aber auch die Qualität der Analysen ist ein entscheidender Faktor, das zeigt die Erfahrung der Kooperation mit dem Ingenieurbüro Maus.

"Die technische Seite muss genauso stimmen wie die Erfahrung in der Thermografie. So wie man mit einer 160x120 Pixel-Kamera nicht ernsthaft PV-Anlagen aus der Luft inspizieren kann, benötigen professionelle Aussagen über den Zustand der Module ebenfalls viel Erfahrung," weiß Mario Hamsch. Wenn die Voraussetzungen aber stimmen, ist die thermografische Analyse



Thermografie aus der Luft: Hotspot auf einem Photovoltaik-Modul.



Auf dem rechten Wärmebild erkennbar, aber keine Fehler: Anschlussdosen (helle Punkte rechte Seite jeweils mittig am Modul) und die Standkonstruktion, die sich leicht als paralleler hellerer Strich abzeichnet.

von PV-Anlagen sehr zuverlässig, wie eine Untersuchung von Claudia Buerhop-Lutz vom ZAE Bayern bereits 2011 ergab (www.eupvsec-proceedings.com/proceedings?paper=12852). Dafür hatte die Wissenschaftlerin eine Dach-PV-Anlage erst thermografiert und danach vollständig demontiert und im Labor untersucht. Das Labor-Ergebnis bestätigte: Die Thermografie hatte alle Fehler und defekten Module zuverlässig entlarvt.



Brandspuren und Einschläge auf einem PV-Modul sind nicht immer so deutlich bereits mit bloßem Auge erkennbar.

Thermografische Besonderheiten – der richtige Winkel

Das Detektieren von thermischen Anomalien an Solarmodulen muss möglichst in einem Winkel zwischen 70° bis fast 90° zur Modulebene erfolgen. Aufgrund des erforderlichen Untersuchungswinkels könnten Freiflächenanlagen nicht ohne aufwendige Technik und hohem Zeitaufwand mit einer von Hand bedienten Infrarotkamera kontrolliert werden. Der Flugroboter dagegen ermöglicht den richtigen Winkel zu jeder PV-Anlage und erstellt die Infrarotaufnahmen in kurzer Zeit.

Regelmäßige Inspektion ist auch ein Sicherheitsgewinn

Während die Betreiber von größeren Freiland-PV-Anlagen um die Notwendigkeit von Wartung und regelmäßiger Überprüfung wissen und damit den höchstmöglichen Ertrag der Solarmodule sichern, ist das Besitzen von kleineren Dachanlagen oft nicht klar. Denn Kleinanlagen wurden ihnen von den Herstellern oft als wartungsfrei verkauft – das sind sie aber nicht. Eine jährliche Sichtprüfung ist in jedem Fall ratsam, und alle 4 Jahre verlangt der VDS eine gründliche Wartung, bei der Kabel- und Wechselrichter ebenfalls geprüft werden. Wie wichtig das sein kann, zeigen Fälle, bei denen es durch auf dem Dach installierte PV-Anlagen zu schweren Wohnhaus-

Bränden kam.

Vorteile der Thermografie mit Drohnen gegenüber dem Einsatz von Helikoptern

Ein wichtiger Vorteil beim Einsatz von Drohnen gegenüber Helikoptern ist natürlich auch der Aufwand. "Ich kenne Fälle, in denen für einen Thermografie-Einsatz von 4-5 Stunden mit einem Hubschrauber fünfstelligen Euro-Beträge berechnet wurden," weiß Mario Hamsch und erzählt von so mancher Kuriosität aus (hoffentlich) vergangenen Zeiten: "Das Auffinden von detektierten Fehlern ist für alle eine große Herausforderung, und um die defekten Module aus der Luft zu markieren und später wiederzufinden, wurden so manch abenteuerliche Versuche zur farblichen Kennzeichnung gestartet," weiß er zu berichten.

Weitere Nachteile der Thermografie von einem Helikopter aus: Dabei werden die PV-Module durch den starken Luftzug der Rotoren sowohl gekühlt (was die Messungen verfälschen kann), als auch vom aufgewirbelten Staub verschmutzt und durch härteres Material wie Sand eventuell sogar permanent beeinträchtigt.

Automatisierte Testverfahren

Momentan arbeitet Mario Hamsch an einer weitgehenden Automatisierung seines Testverfahrens. Dabei ist ein dritter Mitarbeiter (zusätzlich zum Operator



der Kamera und zum Thermografen) mit einem Fahrrad oder einem ferngesteuerten Modellauto zwischen den einzelnen Modulen unterwegs. Die Drohne folgt seinem Signal automatisch. Erkennt der Thermograf auf dem Infrarot-Livestream Auffälligkeiten, stoppt die Drohne in der Luft, der Thermograf fokussiert die T620 und schießt 2-3 Wärmebilder und der Mitarbeiter am Boden markiert die Stelle am Boden zur besseren späteren Auffindbarkeit (oder macht ggf. ein Foto des defekten Moduls bzw. der Seriennummer).

Fazit und Ausblick

Mario Hamsch ist zu Recht stolz auf die Leistung seiner Thermografie-Drohne, denn sie hat sich als praxistaugliches, zuverlässiges Mittel erwiesen, sämtliche gravierende Defekte von Photovoltaik-Anlagen aus der Luft zu erkennen. "Wir werden unser modulares Drohnen-System weiter entwickeln und damit den Kundenanforderungen anpassen," erklärt Mario Hamsch. Für die Zukunft freut sich Mario Hamsch auf neue Herausforderungen im Thermografiealltag aus der Luft.

paul kitawa Herr Mario Hamsch
Poststr. 15
03205 Calau
Tel. +49 3541 802060
Mobile +49 172 3542182
paul@kitawa.de



Weiterführende Informationen zu Wärmebildkameras und zu dieser Anwendung erhalten Sie von:

FLIR Commercial Systems
Luxemburgstraat 2
2321 Meer
Belgium
Tel. : +32 (0) 3665 5100
Fax : +32 (0) 3303 5624
e-mail: flir@flir.com
www.flir.com