

Nutzung von Thermalkameras auf Mikrodrohnen – ein Werkzeug für die Raumplanung?

Pierre KARRASCH, Katharina PECH und Nadine STELLING

TU Dresden · pierre.karrasch@tu-dresden.de

Zusammenfassung

Die Nutzung von Mikrodrohnen hat sich in den vergangenen Jahren in vielen Anwendungsbereichen etabliert. Für unterschiedliche Fragestellungen, auch im Bereich der Raumplanung, können sie wichtige zusätzliche Informationen bereitstellen. Mit der Nutzung von Thermalkameras ergeben sich weitere Anwendungsfälle, die in einigen Aspekten der Datenaufnahme und -auswertung, zusätzliche Erfordernisse und Kenntnisse mit sich bringen. Im Rahmen des Projektes EO2Heaven (Earth Observation and Environmental Modelling for the Mitigation of Health Risks) wurde diesbezüglich eine Studie durchgeführt, aus der sich entsprechende Empfehlungen ableiten lassen.

1 Einleitung

Der Begriff Klimawandel ist in den vergangenen Jahren häufig im Zusammenhang mit Veränderungen im globalen Maßstab verwendet worden. Zunehmend zeigt sich jedoch, dass vor allem bezogen auf die Auswirkungen der Veränderungen, Anpassungsstrategien auf regionaler und lokaler Ebene entwickelt werden müssen (DILLER et al. 2011). Für die Analyse und Bewertung dieser Prozesse sind verschiedene Umweltparameter in unterschiedlicher räumlicher und zeitlicher Auflösung ein zentraler Bestandteil der Raumplanung (z. B. Regional-, Stadtplanung). Die Aufgabe der Raumplanung ist es dabei, Informationen zur Verfügung zu stellen und zu nutzen, die eine Beurteilung des Raumzustandes ermöglichen und gleichzeitig ein Hilfsmittel darstellen, zukünftige Entwicklungen bei Eingriffen oder Zustandsänderungen besser abschätzen zu können (vgl. RICHTER et al. 2012a). Einer der wohl wichtigsten Aspekte im System Mensch-Umwelt wird durch den Einfluss verschiedener Umweltparameter auf lebende Organismen charakterisiert (Biometeorologie). Dabei lassen sich grundsätzlich drei atmosphärische Wirkungskomplexe unterscheiden. Neben den aktinischen und lufthygienischen Wirkungskomplexen, die den Einfluss elektromagnetischer Strahlung (UV-Licht, sichtbares Licht, Infrarot) oder die Beimischung unterschiedlicher Partikel in der Atemluft (Grob- und Feinstaub, Pollen etc.; vgl. RICHTER et al. 2012a, 2012b, 2012c) behandeln, spielen auch Parameter des thermischen Wirkungskomplexes eine wichtige Rolle. Zu diesen gehört neben der Luftfeuchte und Windgeschwindigkeit auch die Lufttemperatur (HALBIG 2011).

2 Thermalinformationen in der Raumplanung

In urbanen Räumen ist es vor allem die Lufttemperatur, die deutliche Unterschiede zu denen im Umland aufweist. Das Phänomen, das auch als Urban Heat Island (städtische

Wärmeinsel) bekannt und durchaus nicht neu ist, lässt sich dabei in zwei Maßstabebenen betrachten. Zum einen meint es die Insellage der Stadt gegenüber ihrem Umland und zum anderen aber auch einzelne thermisch abgrenzbare Teile der Stadt selbst (Wärmearchipele; vgl. HUPFER et al. 2005). Die Dimension solcher Wärmephänomene ist durchaus nicht zu unterschätzen. So konnte OKE (1973) bereits nachweisen, dass ein direkter Zusammenhang zwischen der Bevölkerungszahl und der Ausprägung von Wärmeinseln besteht. Demnach ist bereits bei einer Einwohnerzahl von 100.000 mit einem maximalen Temperaturunterschied von 6 K zu rechnen; bei 1 Mill. Einwohner mit 8 K.

Betrachtet man die Faktoren, die auf die Ausbildung von urban heat islands (UHIs) einen Einfluss haben (geographische Lage, (Jahres-/Tages-)Zeit, Stadtgröße, Wettersituation (Wind, Wolken)) so sind es vor allem die Parameter, die das Wesen der Stadt (Oberflächenbeschaffenheit, Geometrie, Grünflächen) beschreiben, die neben der eigentlichen Temperatur beobachtet werden können (VOOGT 2007). Für die Erfassung der Temperaturdifferenzen stehen unterschiedliche Methoden der Photogrammetrie und Fernerkundung zur Verfügung.

3 Fernerkundungstechnologien und Thermalinformationen

Die Entwicklung der thermalen Spektroskopie wurde vor allem durch militärische Interessen am Anfang des 20. Jahrhunderts vorangetrieben. Die Nutzung für zivile Zwecke, insbesondere in den Geo- und Naturwissenschaften verstärkte sich dann in den 1960er und 1970er-Jahren mit Systemen wie TIROS (Television IR Operational Satellite), HCMM (Heat Capacity Mapping Mission) oder CZSZ (Coastal Zone Color Scanner). Mit TIMS (Thermal Infraed Multispectral Scanner) und den Landsat TM 4 und 5 Missionen standen ab den 1980er-Jahren sowohl auf Flugzeug- als auch auf Satellitenebene eine neue Generation von Instrumenten zur Verfügung. Grundsätzlich lassen sich zwei Arten von Plattformen unterscheiden, die entsprechend ihrer Charakteristik, spezifische Eigenschaften aufweisen, und je nach Aufgabenstellung verschiedene Vor- und Nachteile aufweisen (VOOGT 2007).

3.1 Satellit

Satellitensysteme zeichnen sich vor allem durch eine hohe räumliche Abdeckung aus. So haben Systeme wie ASTER oder Landsat ETM+ eine Abdeckung von 60 bzw. 185 km (Swath Width). Auf der anderen Seite beträgt die geometrische Auflösung dieser Systeme im thermalen Infrarot nur 90 m bzw. 60 m. Für Fragestellungen der Raumplanung können Daten dieser Art dennoch interessant sein, geht es in der jeweiligen Fragestellung nicht um einzelne Quartiere, sondern um Wärmeeffekte im städtischen Maßstab. So lassen sich mit den genannten Systemen und Auflösungen Wärmeinseln größerer versiegelter Industrieflächen erfassen, bzw. gleichermaßen die Effekte größerer Vegetationsflächen detektieren.

Einschränkend muss an dieser Stelle aber erwähnt werden, dass durch die Charakteristik satellitengestützter Systeme wenig Flexibilität in der eigentlichen Aufnahme der Daten besteht. Wiederholraten von 16 Tagen können gerade in Regionen wie Mitteleuropa, mit einem ausgeprägtem Wettergeschehen und einer hohen mittleren Wolkendichte, ein sehr stark limitierender Faktor sein.

3.2 Flugzeug

Das geometrische Auflösungsvermögen hängt neben den Eigenschaften des Sensors (Auflösungsvermögen, Objektiv), auch von der Flughöhe des Systems ab. Mit flugzeuggestützten Thermalsystemen ist ein Auflösungsvermögen im unteren Meterbereich realisierbar. Die Darstellung detaillierter urbaner Strukturen wird damit möglich. Als nachteilig erweisen sich die vergleichsweise hohen Kosten für die Erfassung und die ungleichmäßige Abdeckung der Daten. Darüber hinaus stehen in Abhängigkeit der verwendeten Sensoren und der Aufnahmebedingungen keine standardisierten Produkte zur Verfügung, was bei der Auswertung der Daten ein individuelles Vorgehen verlangt (VOOGT 2007). Anwendungen im raumplanerischen Bereich bestehen vor allem da, wo heterogene urbane Strukturen bestehen. In diesem stadtplanerischen Umfeld können Thermalinformationen ein wichtiges ergänzendes Instrument zur Darstellung von Teilaspekten des klimatischen Istzustandes sein (STEINICKE & STREIFENEDER 2010).

4 Thermalsensoren auf UAV

Die Entwicklung neuer Aufnahmeplattformen in den vergangenen Jahren zeigt, dass die Technologie der unbemannten Luftfahrzeuge (UAV) zu einem festen Bestandteil der Datenakquise werden kann. Die Art der dabei erhobenen Daten beschränkt sich zum gegenwärtigen Zeitpunkt jedoch vorwiegend auf die Erhebung von Informationen im Spektralbereich des sichtbaren Lichtes und kann dort bereits durchaus als etabliert bezeichnet werden. Die Nutzung von Thermalkameras auf UAVs verlangt dagegen die Berücksichtigung einiger Besonderheiten, die hier anwendungsbezogen betrachtet werden sollen. Die folgenden Ausführungen basieren dabei auf Erfahrungen, die bei einer Thermalbefliegungskampagne im Rahmen des oben genannten Projektes gemacht worden sind. Im Folgenden soll speziell auf einige Aspekte eingegangen werden, die bei der Durchführung von solchen Thermalbefliegungen besondere Aufmerksamkeit verlangen. Dabei handelt es sich um die Handlungsfelder der Flugplanung, der Datenverarbeitung sowie der Interpretation der erhobenen Thermalinformationen.

4.1 Flugplanung

Grundsätzlich ist die Flugplanung für ein UAV mit Thermalsensorbestückung vergleichbar der Planung mit einem Sensor, der Aufnahmen im sichtbaren Spektralbereich erzeugt. Sie basiert auf den Spezifikationen der Kamera (z. B. Brennweite, Sensor), des UAV (z. B. mögliche Flughöhen und Traglasten, Akkulaufzeit) und der Charakteristik des Aufnahmegebietes (z. B. die Größe und Geländeneigung). Festgelegt werden u. a. die gewünschte geometrische Auflösung am Boden und der Überlappungsgrad der Aufnahmen, welcher für die Auswertung der Daten benötigt wird. Allerdings dürfen auch die gesetzlichen Regelungen nicht außer Acht gelassen werden. Besondere Anforderungen werden weiterhin an die Passpunkte gestellt, welche die Auswertung unterstützen und den Bezug zum Landeskoordinatensystem herstellen. Ziel ist es, dass sich diese möglichst kontrastreich in den Aufnahmen abbilden. Die Beurteilung dieses Kontrastes kann aber nicht aufgrund visueller Wahrnehmung erfolgen, sondern muss vom thermischen Standpunkt aus geschehen. Hohe Kontraste treten demnach dort auf, wo hohe Temperaturdifferenzen auf kleinem Raum auftreten. Dieser Argumentation folgend, wäre es also notwendig „Thermalpasspunkte“ zu

verwenden, die diese Bedingungen erfüllen. Aus diesem Grund wurde sich einer physikalischen Eigenschaft der Aufzeichnung von Thermalinformationen bedient, nach der die aufgenommene Thermalstrahlung nicht der Oberflächentemperatur, sondern der Strahlungstemperatur der Fläche entspricht. Diese ist im Wesentlichen von materialspezifischen Eigenschaften und von der Wellenlänge der betrachteten elektromagnetischen Strahlung abhängig. Im thermischen Sinne treten hohe Kontraste also auch dann auf, wenn Materialien mit stark unterschiedlichem Emissionsgrad verwendet werden. Zu diesem Zweck wurden eine Reihe von Untersuchungen mit unterschiedlichen Materialien und verschiedenen Oberflächenstrukturen getestet (vgl. Abb. 1).

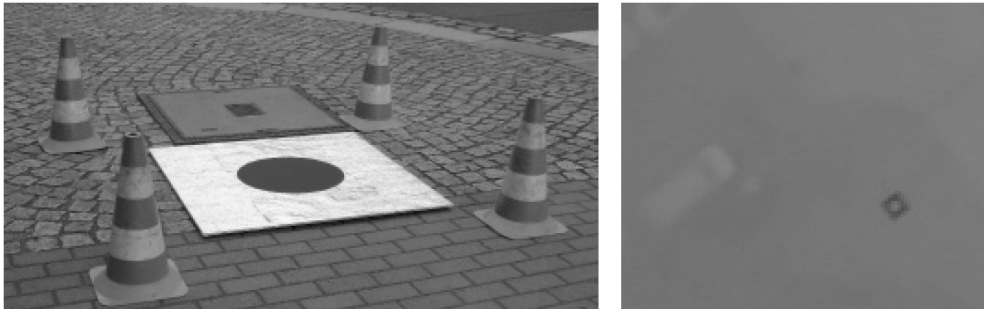


Abb. 1: Links: Beispiel eines ausgelegten Passpunktes; rechts: Darstellung des Passpunktes im Thermalbild

Als Basismaterialien, wurden Aluminium, das im polierten Zustand einen Emissionsgrad von ca. 0,1 hat und schwarzer Karton verwendet, der einen Emissionsgrad $>0,9$ aufweist. Die Ergebnisse zeigen, dass die besten Kontraste im Bild dann erreicht werden, wenn das Material mit dem kleineren Emissionsgrad (Aluminiumfolie) die Grundlage des Passpunktes bildet und dabei nicht glatt aufgetragen wird, sondern als ungleichmäßige (geknitterte) Struktur. Dies erhöht zwar den Emissionsgrad etwas, verhindert aber, dass sich thermal unterschiedliche Objekte, wie beispielsweise der blaue Himmel und Wolken, durch Reflektionen an der glatten Aluminiumfläche in Thermalaufnahmen abbilden.

4.2 Datenverarbeitung

Ebenso wie bei der Flugplanung sind die Arbeitsschritte der Datenverarbeitung mit denen optischer Daten vergleichbar. Zeitliche Synchronisationen der Kamera, des GPS und der IMU haben durchaus die gleiche Bedeutung, wobei der eigene Takt der jeweiligen Thermalkamera berücksichtigt werden muss. Dieser bewirkt die nicht genaue Kenntnis des zeitlichen Abstandes der Bilder und kann auch zu Schwankungen des zeitlichen Intervalls führen, wodurch die zeitliche Synchronisation erschwert wird. Auch lassen sich an dieser Stelle Besonderheiten der Verarbeitung von Thermaldaten benennen. Neben den im folgenden Kapitel behandelten Aspekten der Dateninterpretation, die ebenfalls einen Einfluss auf die Datenverarbeitung haben können (vgl. Kap. 4.3), können sich vor allem bei der Auswertung und Mosaikierung der Bildverbände Schwierigkeiten ergeben. Je nach thermischer Heterogenität der Oberfläche können die vorliegenden Daten sehr kontrastarm sein, was einen manuellen Eingriff in die Datenverarbeitung erforderlich macht. Auch haben die Sensoren geeigneter leichter Thermalkameras eine geringe Auflösung (z. B. 384×288 Pi-

xel). In Kombination mit der niedrigen Flughöhe deckt jedes Bild nur einen vergleichsweise kleinen Bereich am Boden ab, was wiederum eine größere Bildanzahl und somit einen erhöhten Auswerteaufwand bedeutet.

4.3 Dateninterpretation

Die Besonderheit von Thermalaufnahmen besteht auch darin, dass sie im Grunde nicht den Messwert (Oberflächentemperatur) zur Verfügung stellen, der im Allgemeinen erwartet wird. Grundsätzlich messen Thermalkameras die Strahlungstemperatur und nicht die Oberflächentemperatur. Es besteht eine Abhängigkeit bezüglich des Emissionsgrades, der nur im theoretischen Fall den Wert 1 besitzt. Reale Körper dagegen haben einen Emissionsgrad der zum Teil deutlich kleiner sein kann als 1. Die in Thermaldaten dargestellten Temperaturen (Strahlungstemperaturen) sind damit immer kleiner als die realen Oberflächentemperaturen. Ein Rückschluss, also eine Interpretation der Daten ist nur dann uneingeschränkt möglich, wenn der Emissionsgrad für jede aufgenommene Fläche bekannt ist, bzw. dies bei der Beurteilung der Ergebnisse berücksichtigt wird. Je nach Beschaffenheit der Erdoberfläche bzw. den Materialeigenschaften der aufgenommenen Objekte können sich die detektierte und reale Temperatur um mehrere Kelvin unterscheiden. Je nach raumplanerischer Fragestellung und dem Charakter des Untersuchungsgebietes muss individuell entschieden werden, welchen Einfluss eine Vernachlässigung der Emissivität der Objekte haben kann. Ansätze der Abschätzung des Emissionsgrades auf der Grundlage des NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) sind bereits publiziert, beschränken sich aber im Wesentlichen nur auf natürliche Oberflächen. Gleichzeitig kann dieser auch für eine Trennung zwischen Vegetationsflächen und bebauten Flächen herangezogen werden. Letzteren würden dann andere Emissionsgrade zugewiesen werden (u. a. STATHOPOULOU & CARTALIS 2007).

5 Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse zeigen, dass unter bestimmten Voraussetzungen und Berücksichtigung einiger Empfehlungen, UAVs zu einer neuen Aufnahmeplattform für Thermalkameras werden können (vgl. Abb. 2). Dennoch bleibt festzuhalten, dass auch die Kombination von Drohnentechnologie und Thermalkameras die Notwendigkeit anderer Konfigurationen aus Aufnahmeplattform und Thermalsensor nicht infrage stellt.

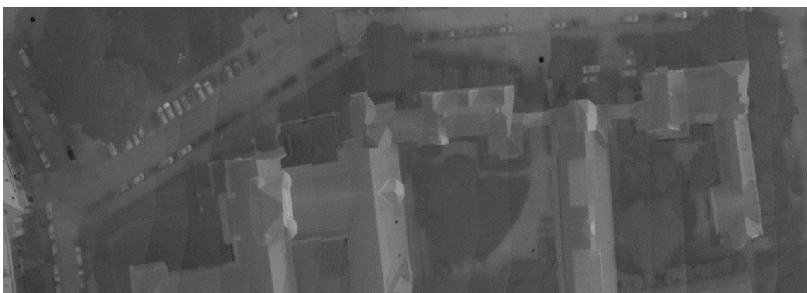


Abb. 2: Ausschnitt eines thermalen Orthophotos, generiert aus UAV-Daten aus 150 m Höhe und 15 cm Bodenpixel

Dabei liegen die Vorteile der Nutzung von UAVs vor allem in der schnellen Bereitstellung geometrisch sehr hochaufgelöster Thermalinformationen, die es Raumplanern ermöglichen, bis auf die Ebene einzelner Stadtquartiere oder Wohnblöcke Maßnahmen der Adaption oder Mitigation zu entwickeln (vgl. GRUBISICH 2012). Ein weiterer Vorteil liegt auch darin, dass aufgrund des geringen Abstandes zwischen Sensor und Objekt atmosphärische Einflüsse weitgehend vernachlässigt bzw. vermieden werden können (VOOGT 2007).

Literatur

- DILLER, C. & LUTERBACHER, J. (2011), Klimawandel und Raumplanung in der Metropolregion Frankfurt. Institut für Geographie, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- GRUBISICH, M. (2012), Tree Strategies for Heat Island Reduction, Texas Trees Foundation, United States Environmental Protection Agency (EPA), State and Local Climate and Energy Program, Heat Island Effect, Urban Heat Island Webcasts and Conference Calls.
- HALBIG, G. (2011), Innerstädtische Wärmeinseln und Verwundbarkeit der Bevölkerung, 4. Dortmunder Wohnungspolitologisches Kolloquium, Wohnungsmarkt und Klimawandel Dortmund, 11.05.2011.
- HUPFER, P., HEYER, E. & CHMIELEWSKI, F.-M. (2005), Witterung und Klima – eine Einführung in die Meteorologie und Klimatologie. 11. Aufl. Teubner Verlag, Leipzig/Stuttgart/Wiesbaden.
- NÄGELE, E. (1988), Anwendung von Thermografie durch Infrarottechnik: Bewehrungssuche. In: Bausubstanz. Fraunhofer IRB Verlag.
- OKE, T. R. (1973), City Size and the Urban Heat Island. *Atmospheric Environment*, 7, 769-779.
- RICHTER, S., WIEMANN, S., KARRASCH, P. & PECH, K. (2012a), GIS basierte Modellierung von Umweltmessdaten. In: STROBL, J. et al. (Hrsg.), *Angewandte Geoinformatik 2012. Beiträge zum 24. AGIT-Symposium Salzburg 2012*. Wichmann Verlag, Heidelberg, 18-23.
- RICHTER, S., PECH, K., KARRASCH, P. & BERNARD, L. (2012b), Potenziale und Grenzen einer gemeinsamen Nutzung von In-Situ- und Fernerkundungsdaten für umweltbezogene Gesundheitsanwendungen. DGPF Tagungsband 21/2012. Potsdam.
- RICHTER, S., WIEMANN, S., KARRASCH, P., KADNER, D., BRAUNER, J., SIEGERT, J., ROSSMANN, J., ELSNER, B. & ARLOTH, J. (2012c), Analysing Health Risks from Air Pollution Effects in Saxony, Germany. In: ARNDT, H.-K., KNETSCH, G. & PILLMANN, W. (Eds.), *Man/Environment/Bauhaus – Light up the Ideas of Environmental Informatics, 2012*. Shaker Verlag, Aachen, 69-75.
- STATHOPOULOU, M. & CARTALIS, C. (2007), Downscaling AVHRR land surface temperatures for improved surface urban heat island intensity estimation. *Remote Sensing of Environment*, 113.
- STEINICKE & STREIFENEDER (2010), *Thermalscannerbefliegung Mannheim 2009*. Steinicke & Streifeneder, Umweltuntersuchungen GbR, Freiburg.
- VOOGT, J. (2007), How Researchers Measure Urban Heat Islands. United States Environmental Protection Agency (EPA), State and Local Climate and Energy Program, Heat Island Effect, Urban Heat Island Webcasts and Conference Calls.