

TIR4U – Thermal InfraRed detection of Roof heat loss for the University of Graz

Wärmeverlustdetektion von Dachflächen mittels thermaler Infrarot Fernerkundungsdaten am Campus der Karl Franzens Universität Graz



TIR4U - Forschungsförderung (2013/5 -2014/8)



Mag. rer. nat. Martin MUDRI
Staatlich befugter und beeideter Ingenieurkonsulent für Geophysik, Allgemein
beeideter und gerichtlich zertifizierter Sachverständiger

Projektteam:

Christian BAUER – Katharina KERN – Reinhold LAZAR – Martin MUDRI – Wolfgang SULZER

Projektrahmen

Institut für Geografie und Raumforschung hat langfristige Projektkooperation (seit 2004) mit der Stadt Graz bzw. dem Amt der Steiermärkischen Landesregierung, bei dem Fragen des Stadtklimas bzw. der Stadtentwicklung laufend behandelt werden.

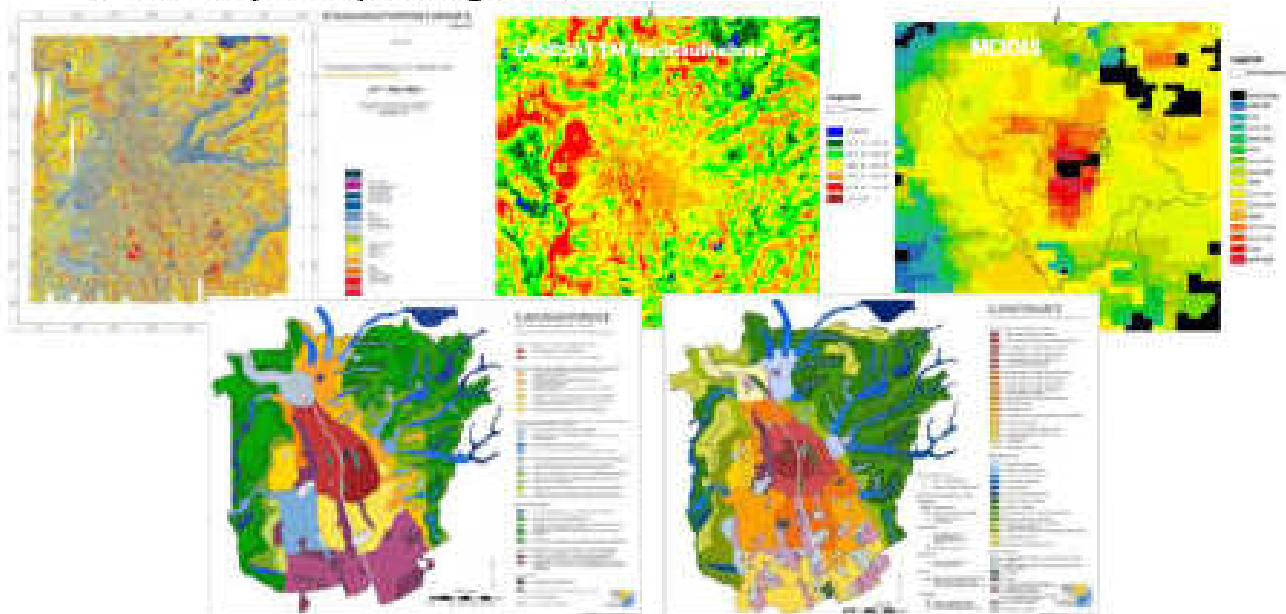
- Stadtentwicklung Graz 1952-2011 (Luftbilder)
- Stadtklima Graz (Klimatopkarten, Klimateignungskarten, „Thermalkarten“ 1986, 1996, 2004 und 2011)
- Bodenbedeckungsklassifikation Graz aus multispektralen Fernerkundungsbilddaten (1986, 1996, 2004, 2007, 2011)
- Versiegelungskarten 1986, 1996, 2004, 2007, 2011
- „Thermalkarten“ der Grazer Dachlandschaft (2011)
- Change Detection 2007-2011
- ...

(LAZAR und PODESSER 2009, SULZER und KERN 2008 und 2009, SULZER et al. 2009, MUICK 2012, SULZER 2013, SALENTINIG 2013, SULZER und LAZAR 2014, ...)

Stadtklimaanalyse

Schwerpunkte :

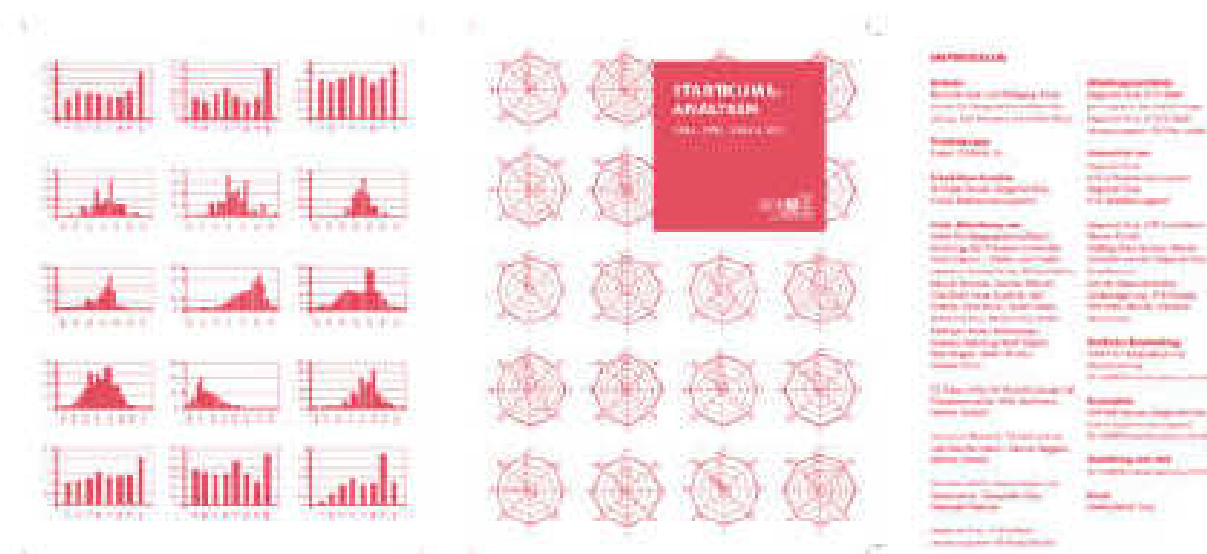
- Verteilung städtischer Wärmeinsel („urban heat island“)
- Analyse der Frisch- und Kaltluftproduktion aus den Seitentälern (Sulzer et al., 2009).
- Klimatopkarten/Planungskarten



Thermalbefliegungen

- 1977: 1.THERMALBEFLIEGUNG
- 1986: Stadtklimaanalyse mit Unterstützung von DAEDALUS Aufnahmen (2.THERMALBEFLIEGUNG)
- 1994: Fertigstellung der Stadtklimaanalyse auf der Basis der Befliegung von 1986
- 1990 und 2002 Revision des Flächenwidmungsplanes unter Einbindung der Ergebnisse der Stadtklimaanalyse
- 1996: 3.THERMALBEFLIEGUNG durch die DLR und der Stadt Graz
- 2004: Revision der Stadtklimaanalyse (4.THERMALBEFLIEGUNG) mit adaptieren Klimatopkarten und Klimaeignungskarten
- 2011: Revision der Stadtklimaanalyse (5.THERMALBEFLIEGUNG) mit adaptieren Klimatopkarten und Klimaeignungskarten

Stadtklimaanalyse 2011



Thermalbefliegungen

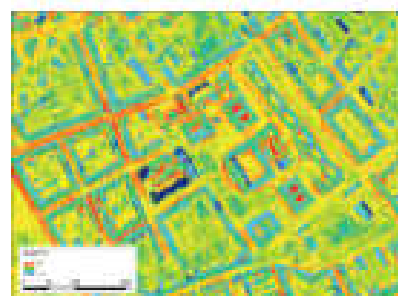
	1986	1996	2004	2011
Date	2./3.10.1986	20.4.1996	24.10.2004	20.12.2011
Sensor	DAEDALUS	DAEDALUS	DAEDALUS	TABI 1800
Time	22.55-23.30 (Night flight) 05.52-06.26 (Morning Flight) 12.49-14.17 (Noon Flight)	11.00-13.00 (Noon Flight)	Simulation (Morning Flight) 12.00-14.15 (Noon Flight)	19:52-21:51 (Evening Flight)
Height above ground	2000m	1100m	560m	1850m
Flight Direction	NS	WE	NS	WE
Overlapping	10-40%	30-40%	30%	30%
Number of stripes	13	12	21	20
Channels	11	11	11	1
Pixel size	5x5m	2,5x2,5m	1x1m	0,6 x 0,6m
Georeferencing	JR/TU/ UNI Graz	DLR	JR/ UNI Graz	AVT

Thermal Airborne Broadband Imager 1800 (TABI-1800)

- Thermalsensor TABI-1800 (Thermal Airborne Broadband Imager) von ITRES Research Limited (Calgary, Kanada)
- Wellenlängenbereich von 3,7 bis 4,8 μm
- Befliegung am 20. Dezember 2011 (ca. 20.00 bis 22.00 Uhr)
- Flughöhe von ca. 1850m über Grund
- Geometrische Auflösung von 60 cm und einer
- Thermale Auflösung von 0,05° C
- Post-Processing der Rohdaten erfolgte über die Sensorherstellerfirma ITRES in
- Orthorektifizierung durch die AVT ZT GmbH Imst (Österreich)



UltraCam



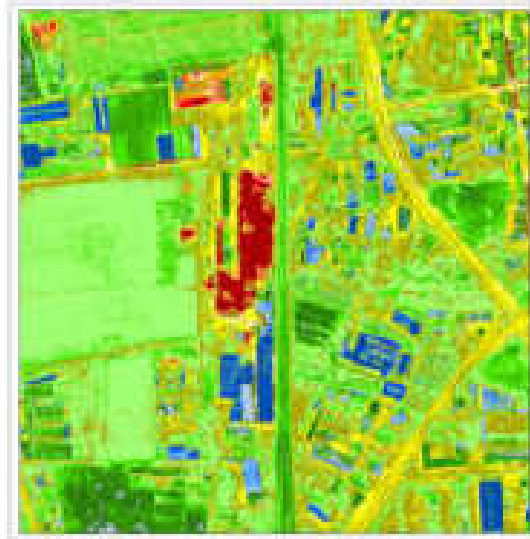
TABI-1800

Thermalbefliegung 2011

STRAHLUNGSTEMPERATURKARTE
GRAZ



STRAHLUNGSTEMPERATURKARTE
GRAZ



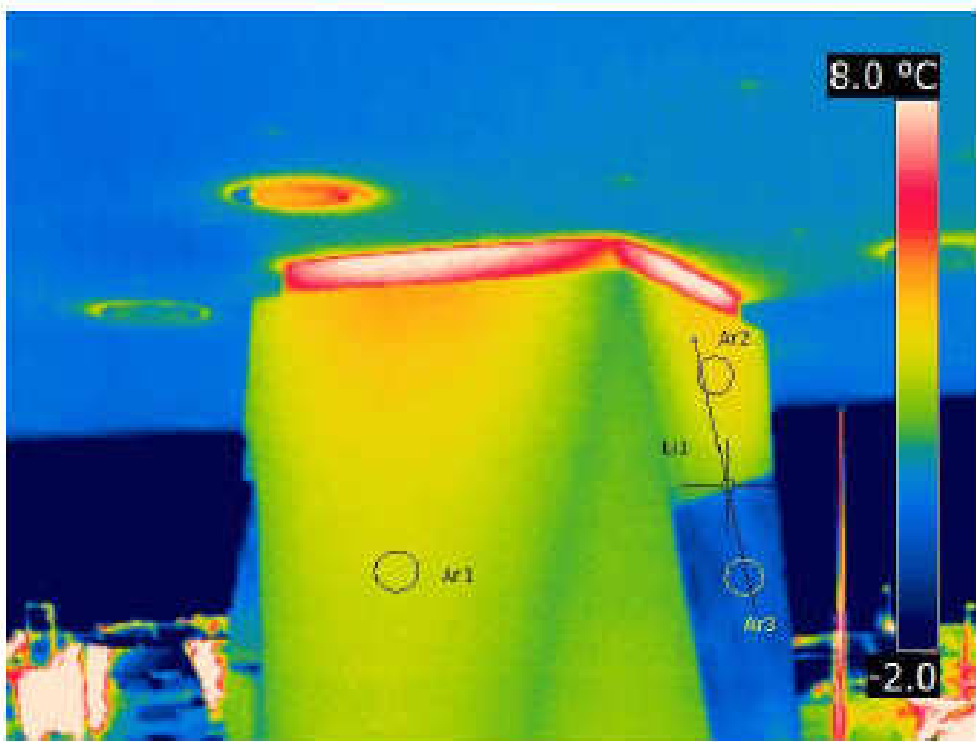
Anmerkung

- Ausgangslage: „Thermalbefliegung“
- Keine Baumängeldetektion / Abschätzung Energiebilanz der Dachflächen
(Befliegung ca. 100 km² in ca. 2 Stunden)
- Workflow: Luftbild (vgl. Bild aus der Luft) und Katasterinformation,
- Bewusstseinsbildung: Strahlungsinformation / Thermalinformation

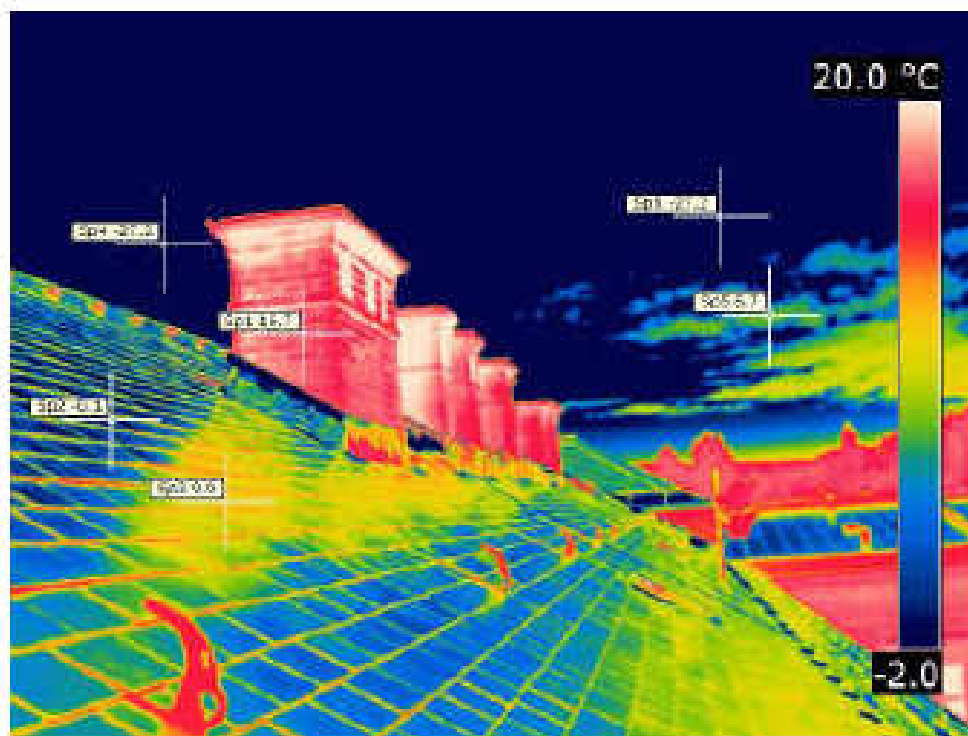
Strahlungsinformation vs. Thermalinformaion



Strahlungsinformation vs. Thermalinformaion



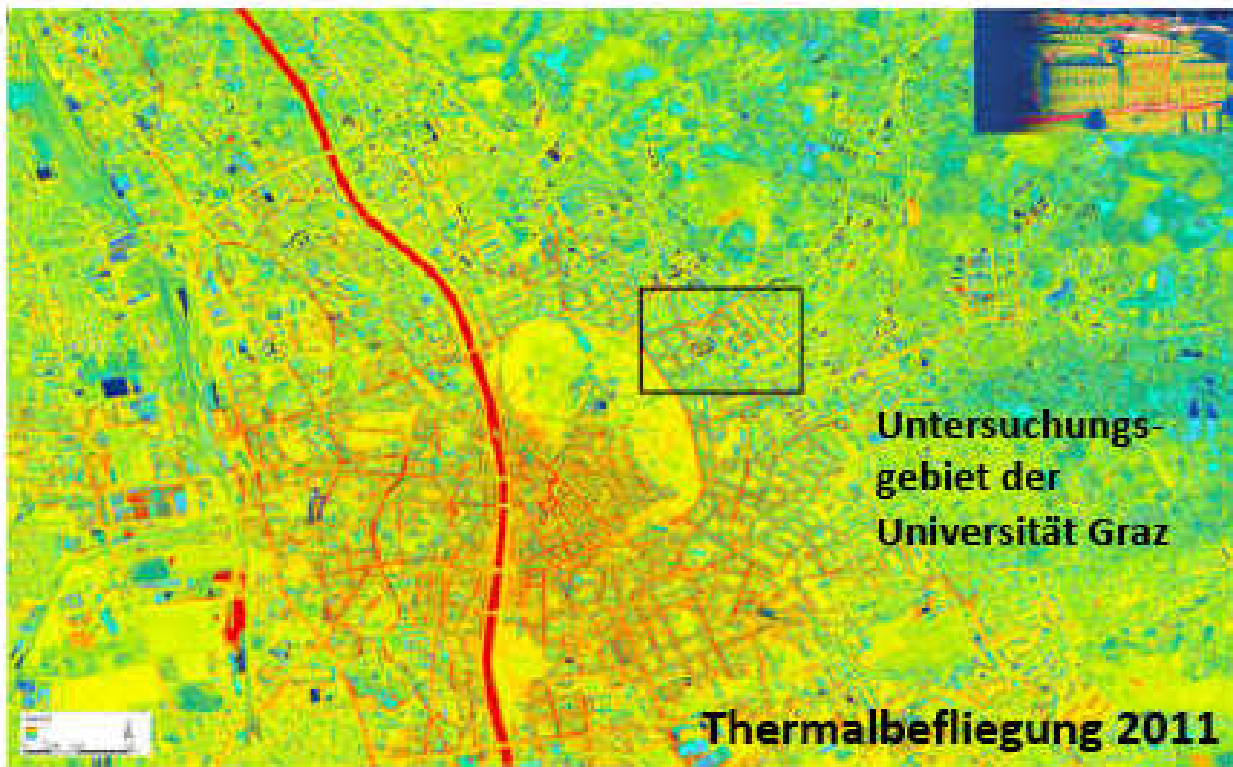
Strahlungsinformation vs. Thermalinformaion



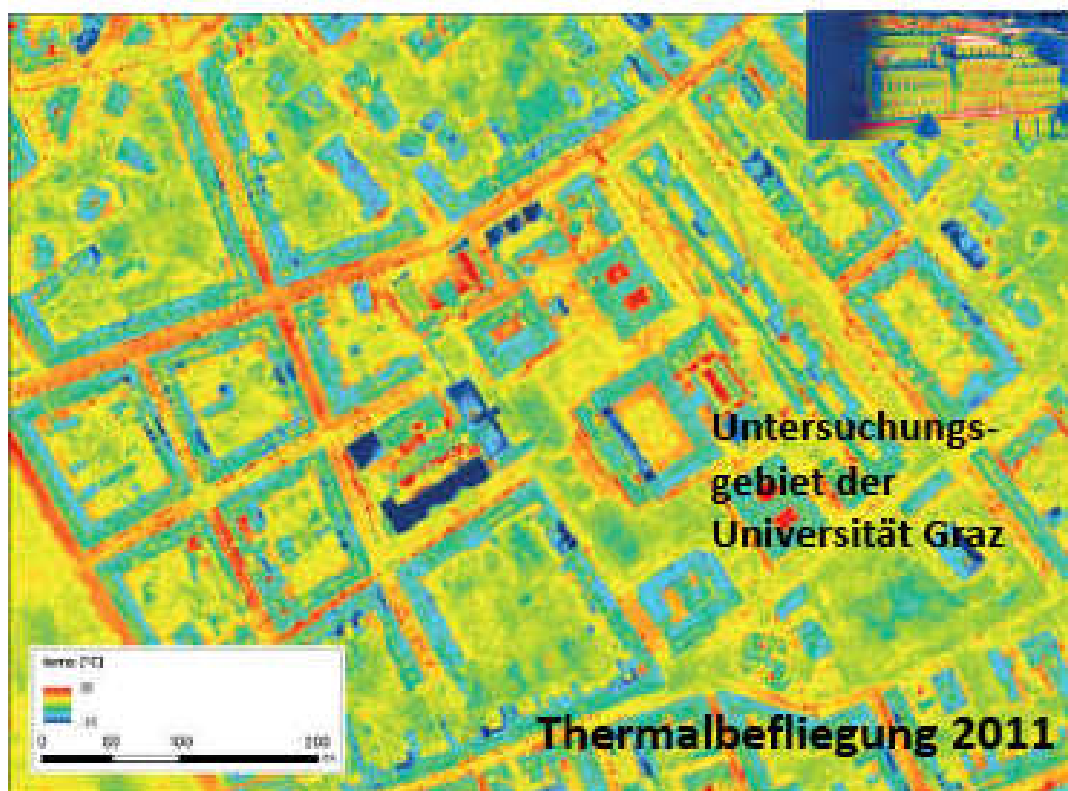
Anmerkung

- Ausgangslage: „Thermalbefliegung“
- Keine Baumängeldetektion / Abschätzung Energiebilanz der Dachflächen (ca. 100 km² in ca. 2 Stunden)
- Workflow: Bild aus der Luft vs. Luftbild, Katasterinformation
- Bewusstseinsbildung: Strahlungsinformation / Thermalinformation
- **Maßnahmen für künftige Befliegungen**

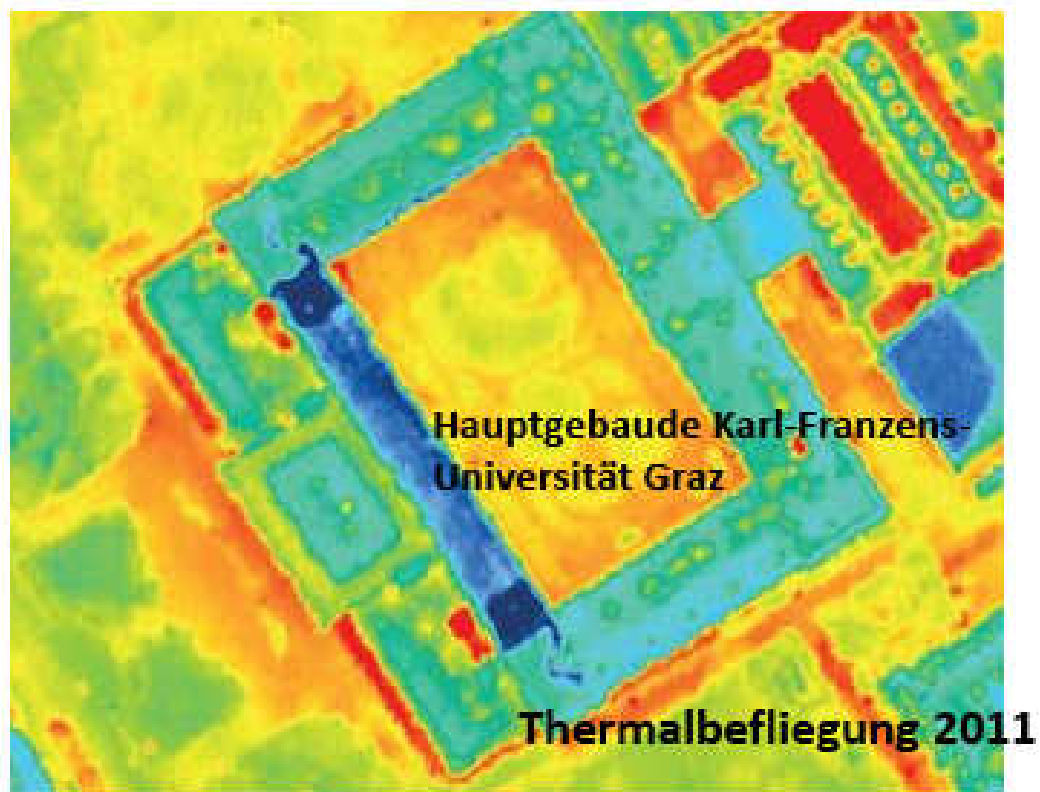
TIR4U – Thermal InfraRed detection of Roof heat loss for the University of Graz



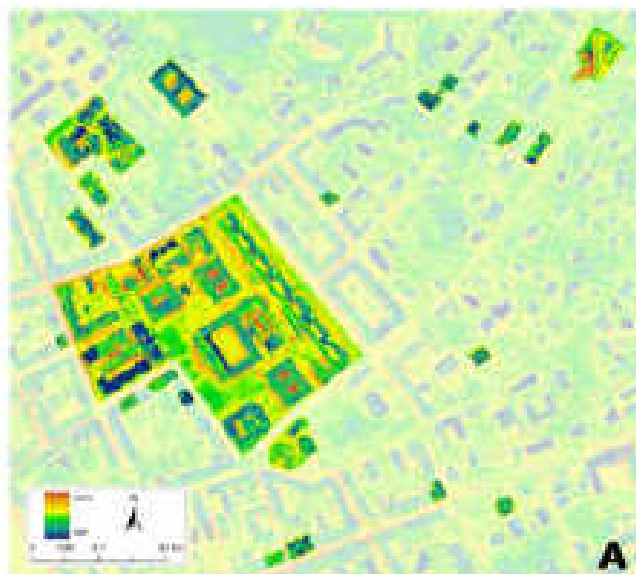
TIR4U – Thermal InfraRed detection of Roof heat loss for the University of Graz



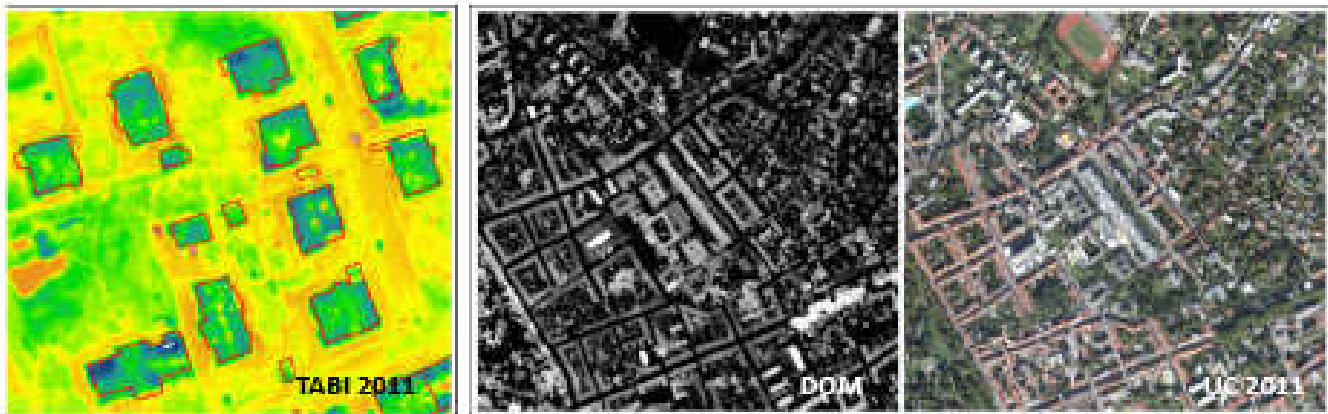
TIR4U – Thermal InfraRed detection of Roof heat loss for the University of Graz



Lage der Gebäude der Universität Graz



Gebäudeabgrenzung und Klassifikation der Dacheindeckung



Eine Methode zur automatischen Abgrenzung der Gebäudeaußengrenzen wurde aus einer Kombination von multispektralen Daten und einem digitalen Oberflächenmodell (DOM) entwickelt.

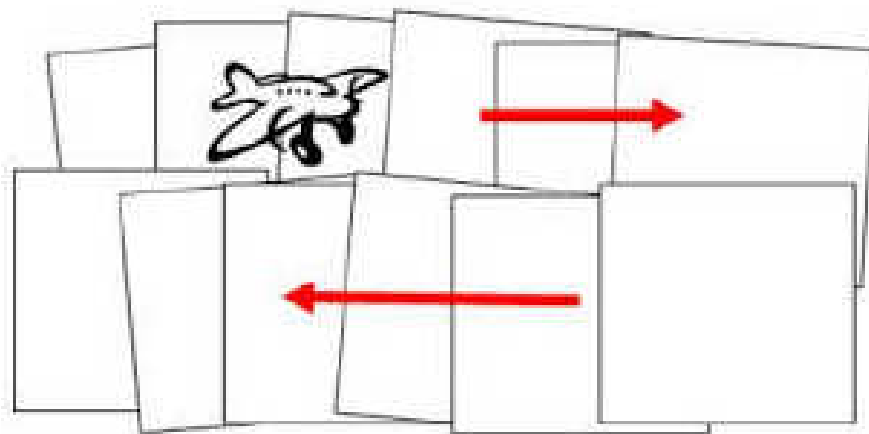
Gebäudeinformation aus dem Kataster und Abgrenzung der Gebäude wurde mit den Thermaldaten verknüpft.



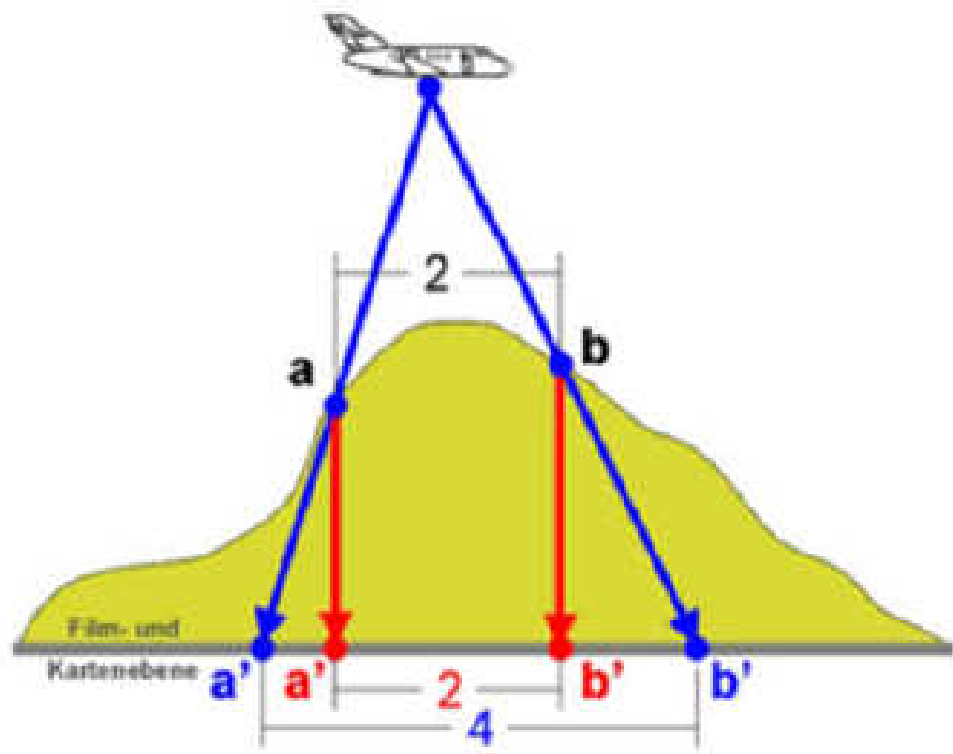
Exkurs: Bild aus der Luft / Luftbild

- Trajektorie (Position / Orientierung) der Kamera ist bekannt
- Aufnahmen kalibrieren (Sensorverzeichnung korrigieren / parallel / rechte Winkel)
- Entzerren, Mosaikieren, Streifen überlappen
- Orthofoto → true Orthofoto: DOM Höheninformation
- Erst dann sind Daten mit Kataster verknüpfbar / verwertbar
- Kataster: Adresse, Dachmaterialien, Traufengrenze, Dachfirst, Dachneigung, Nutzung / Temperatur des Dachraumes, ...

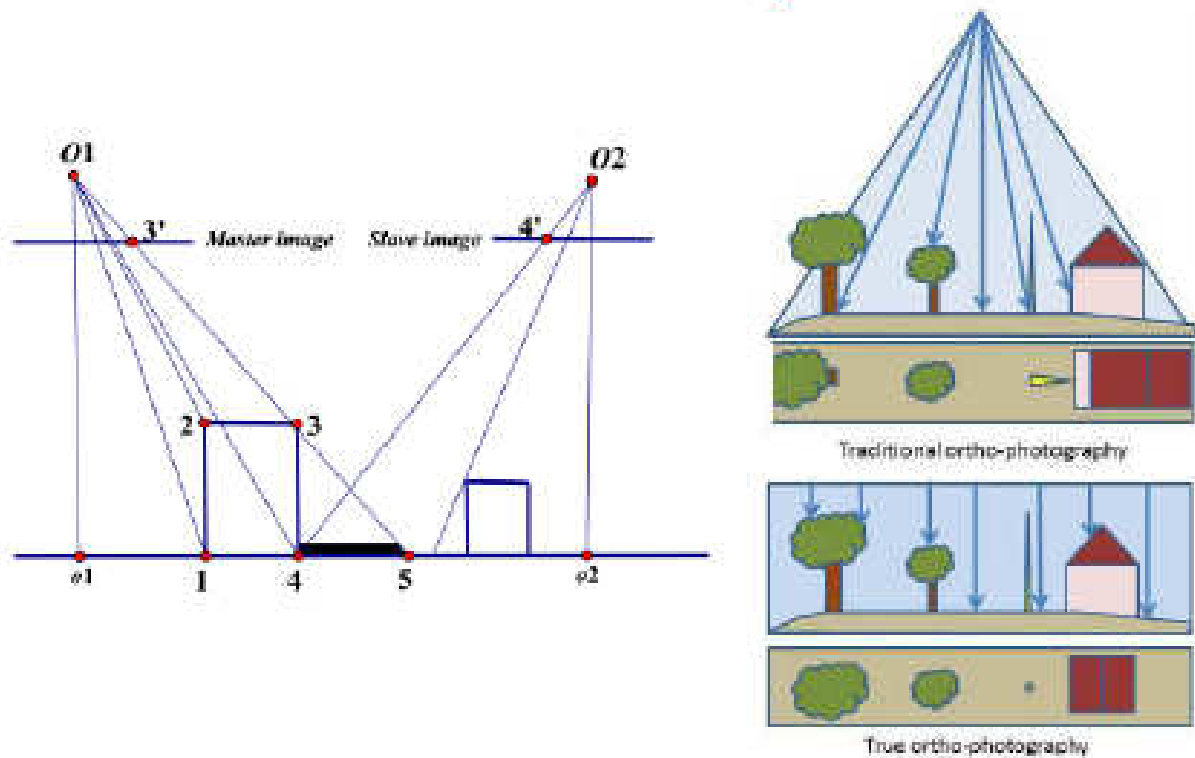
Exkurs: Bild aus der Luft / Luftbild



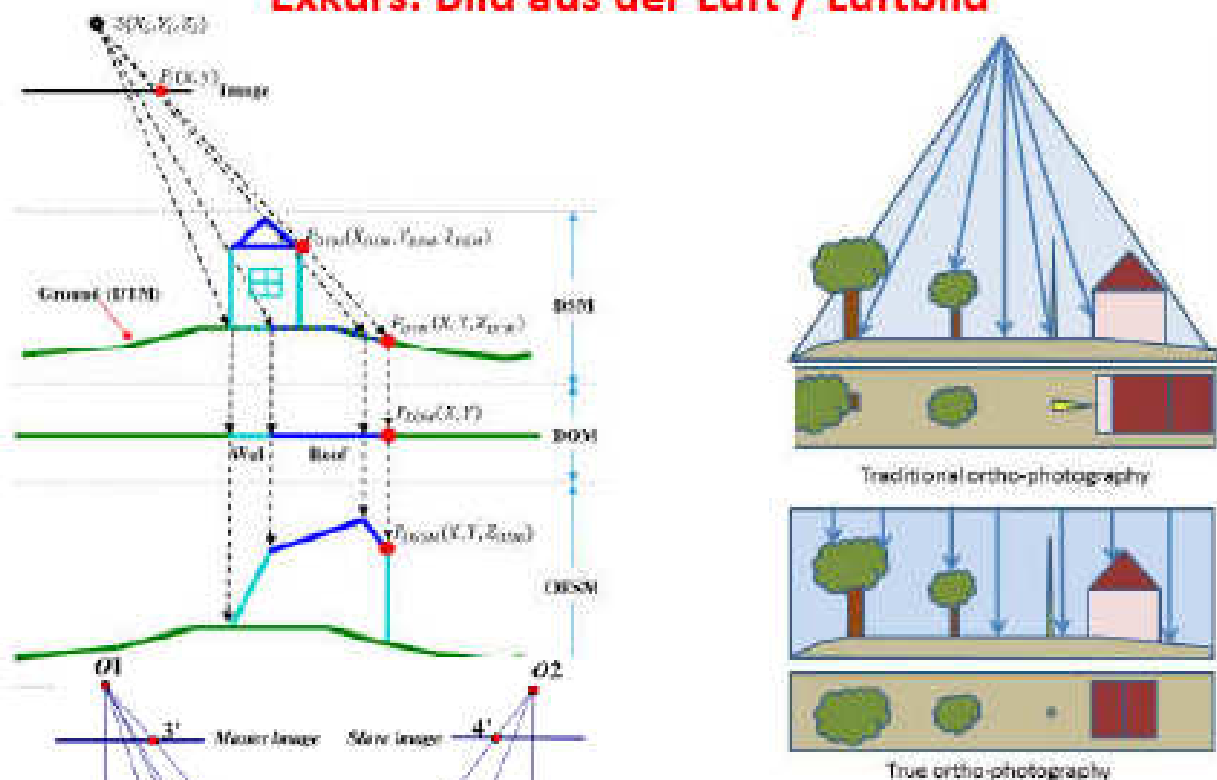
Exkurs: Bild aus der Luft / Luftbild



Exkurs: Bild aus der Luft / Luftbild



Exkurs: Bild aus der Luft / Luftbild



Gebäudeabgrenzung und Klassifikation der Dacheindeckung



Eine Methode zur automatischen Abgrenzung der Gebäudeaußengrenzen wurde aus einer Kombination von multispektralen Daten und einem digitalen Oberflächenmodell (DOM) entwickelt. Gebäudeinformation aus dem Kataster und Abgrenzung der Gebäude wurde mit den Thermaldaten verknüpft.



Katasterinformation / Klassifikation der Dächer

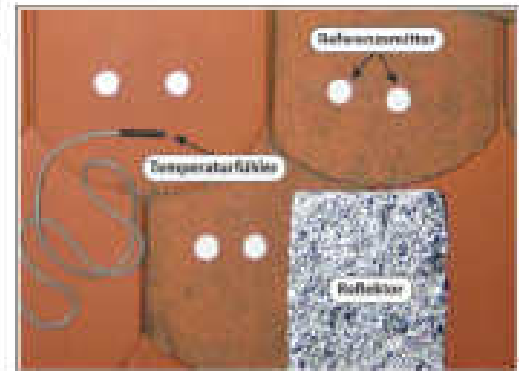
- Adressinformation
- Dachmaterial: Automatisiert aus UltraCam, RGB / NIR, besser Hyperspektralbefliegung
- Emissionskoeffizient der Dacheindeckungsmaterialien
- Nutzung des Dachraumes
- Temperatur des Dachraumes
- Dachneigung
-



In Situ Erfassung der Emissionsgrade

Messsetting und Messvorgang

- 7 unterschiedliche Dacheindeckungsmaterialien (Betonplatten, Glas, Faserzement-schindel, Metall, Schiefer, Schotter und Tonziegel)
- 5 Gebäude des Campus der Universität
- im Februar 2014
- Infrarotkamera der Typs FLIR T 640,
- Spektralbereich von 7,5 bis 14 μm
- 1 bis 3 Stunden nach Sonnenuntergang bei einer Lufttemperatur von ca. 3°C und einer relativen Luftfeuchte von 60%.

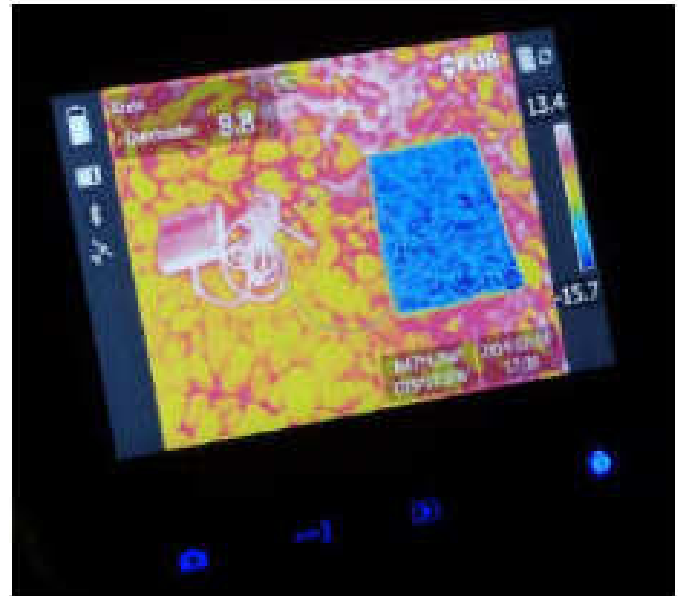


In Situ Erfassung der Emissionsgrade



In Situ Erfassung der Emissionsgrade

Messsetting und Messvorgang



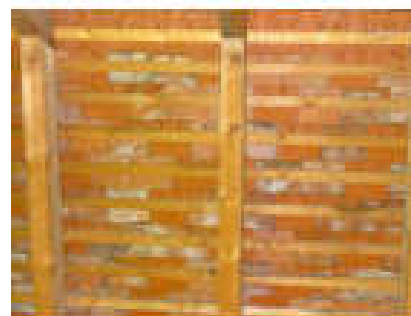
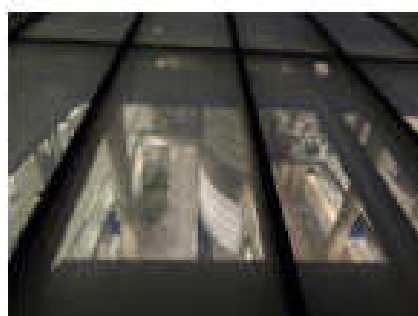
In Situ Erfassung der Emissionsgrade

In-Situ Messwerte vs. Literaturangaben

Material	ϵ in-situ	ϵ Tabellen	Material	ϵ	ϵ Tabellen
Betonplatten	0,94	0,88-0,95 ¹	Schiefer	0,74	0,97 ²
Metallumfassung	0,86	0,02-0,97 ²	Faserzement I	0,93	0,88-0,95 ¹
Schotter	0,93	-	Faserzement II	0,93	0,88-0,95 ¹
Glas	0,83	0,76-0,94 ²	Tonziegel	0,88-0,95	0,91-0,93 ²

¹ Fausch, G. (2007) *Handbuch der Bauphysik*, 2. Aufl., S. 1000-1001, 2007

² Vergleich der in-situ erfassten Emissionsgrade mit Tabellenwerten aus der Literatur

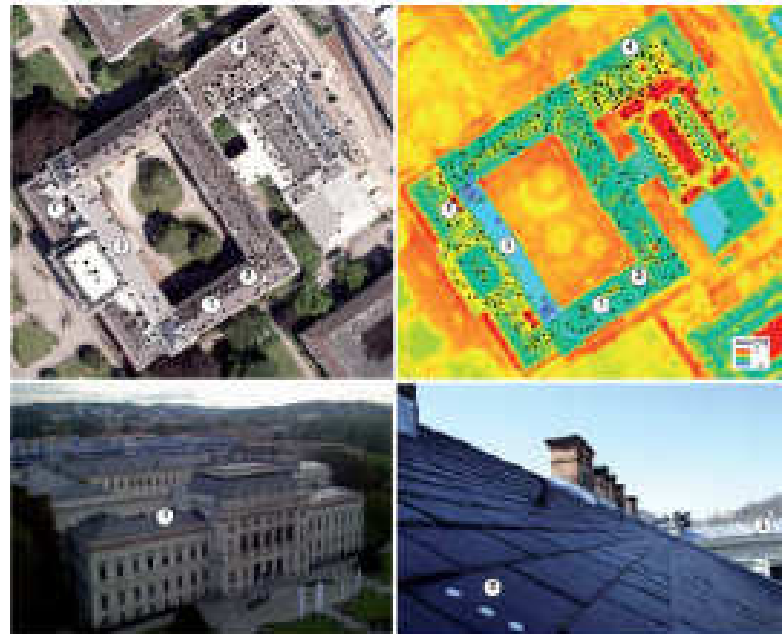


Dachflächenanalyse / Beispielsgebäude

Analyse thermaler Anomalien mittels automatischer Hot Spot Detektion

In zwei Schritten:

- 1) Ausweisung als potenzielle Hot Spots Rasterzellen
- 2) Überlappende Nachbarschaftsanalyse der erfassten potenziellen Hot Spots



- 1: Position der Datenlogger
- 2: Position der in-situ Messung
- 3: Metalldach
- 4: Ventilatoren

Ergebnis der Hot Spot Detektion am Beispiel des Hauptgebäudes der Universität Graz

Dachflächenanalyse / Beispielsgebäude

Analyse thermaler Anomalien mittels automatischer Hot Spot Detektion

Die Modellparameter-Kalibrierung erfolgte für zwei Gebäudetypen:

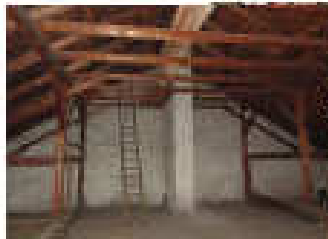
- (a) Typus Einzelgebäude:
homogene Dachlandschaft; geringe Anzahl an Kaminen und Entlüftungen
- (b) Typus komplexe Gebäude:
Sehr heterogene Dachlandschaft; hohe Anzahl an Kaminen und Entlüftungen; komplexe Installationen (Klimaanlagen)

Positionierung der Datenlogger

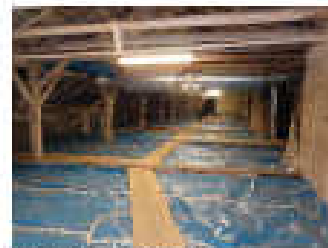
- Berücksichtigung der Verhältnisse des obersten Dachraumes
- Beitrag zur Methodenverbesserung dieser Fernerkundungsmethode
- 8 Gebäude mit 18 Temperaturdatenlogger (jeweils 2 pro Raum, im Hauptgebäude 2 Räume, 10-Minuten Intervall Temperatur und Luftfeuchte, Juni 2013 – Juli 2014)

Dachraummonitoring / Beispielsgebäude

Positionierung der Datenlogger



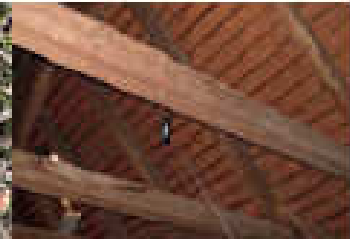
Mozartgasse 8
(keine Bodendämmung)



Mozartgasse 14
(Bodendämmung und Lüftung vorhanden)



- | | |
|-----------------------|--------------------------|
| 1: Elisabethstraße 27 | 5: Mozartgasse 14 |
| 2: Holteigasse 6 | 6: Schubertstraße 51 |
| 3: Mozartgasse 3 | 7/8: Universitätsplatz 3 |
| 4: Mozartgasse 8 | |



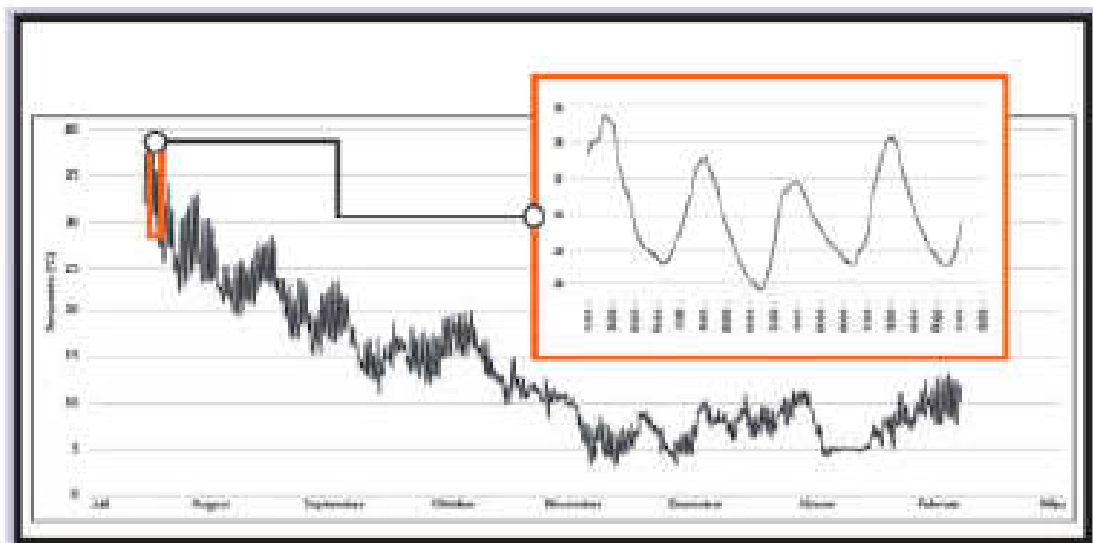
Position Datenlogger ca. 3m
über Boden



Position Datenlogger ca.
0,5m über Boden

Dachraummonitoring / Beispielsgebäude

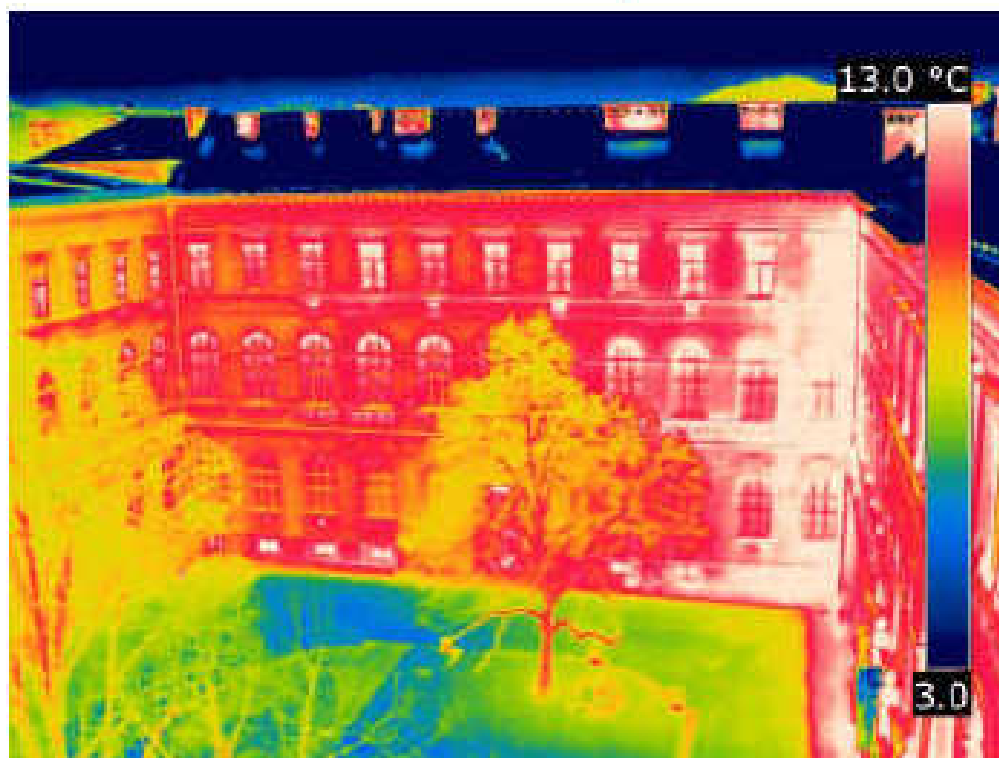
Berücksichtigung der thermalen Situation im obersten Dachraum



**Beispiel Temperaturdatenlogger Hauptgebäude der Karl Franzens Universität
Graz (Universitätsplatz 3)**

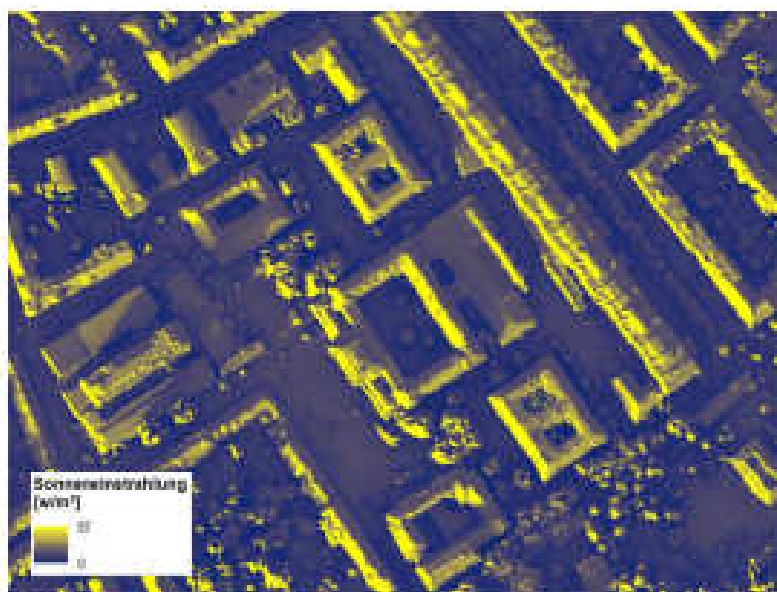
Der nicht gedämmte oberste Dachraum zeigt einen ausgeprägten Tagesgang der Temperatur.

Aufnahmezeit: 20.12.2011; 19:52 – 21:51



Simulation Sonnenstrahlung

Aufnahmezeitpunkt: 20.12.2011, 19:52-21:51 Uhr

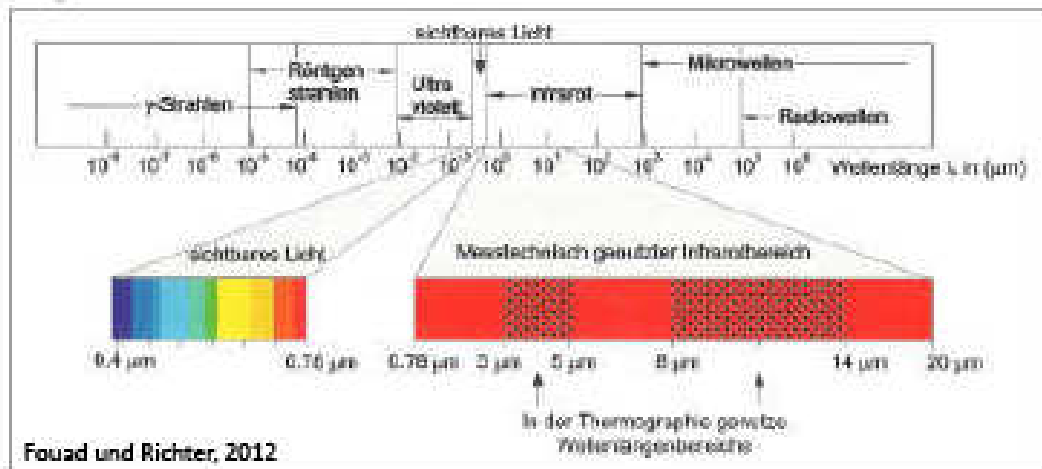


Summe der direkten und diffusen Sonneneinstrahlung sechs Stunden vor dem Zeitpunkt der Befliegung

- **Thermische Einflüsse** durch Sonneneinstrahlung
- **Angaben in der Literatur:** 4 bis 12 Stunden nach So-Untergang
- **Graz:** Auskühlungszeit von 3-5 Stunden
- **Modellierung der Himmelsstrahlung** auf Basis eines DOM's der Stadt zeigen, dass in den Daten für alle süd- bis westlich exponierten Dachflächen zum Befliegungszeitpunkt noch Effekte der im Laufe der 6 Stunden eingegangenen Sonneneinstrahlung zu erwarten sind.

Sensor im MW Bereich

Wellenlängenbereich



Fouad und Richter, 2012

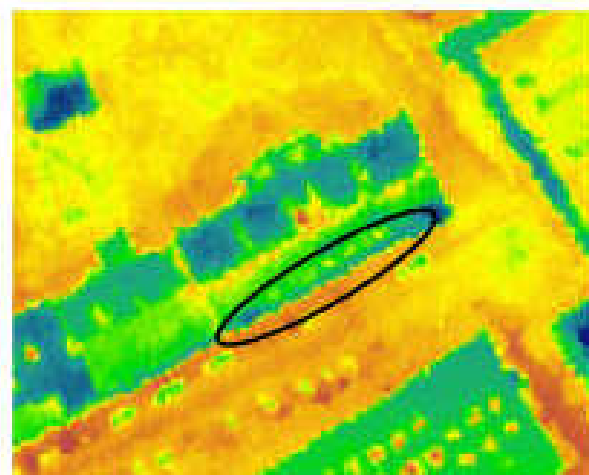
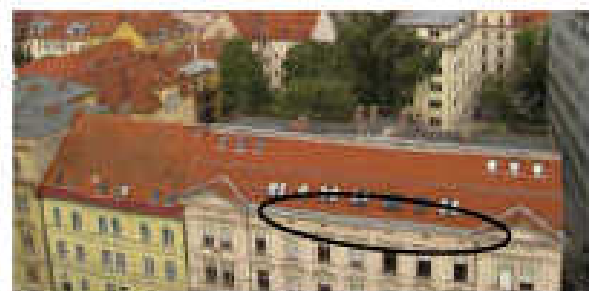
Elektromagnetisches Spektrum und der messtechnisch genutzte Infrarotbereich

- Sensor TABI -1800: 3,7 – 4,8 μm (mittleres Infrarot)
- Detektion von sehr hohen Temperaturen
- Wärmeverlust von Gebäuden: Wellenlängenbereich von 8 -13 μm (langwelliges IR)
- „Handheld“ Thermalkameras für Referenzmessungen im mittleren IR schwer verfügbar.

Ergebnisse / Problemfelder 3

Geometrische Auflösung

- Geometrische Auflösung: 60cm
- Heterogenität der Dachlandschaft
- Kleinere Einheiten aus Metallen mit einem niedrigen Emissionsgrad
- Hoher Anteil an Mischpixeln und somit Mischtemperaturen



Ergebnisse

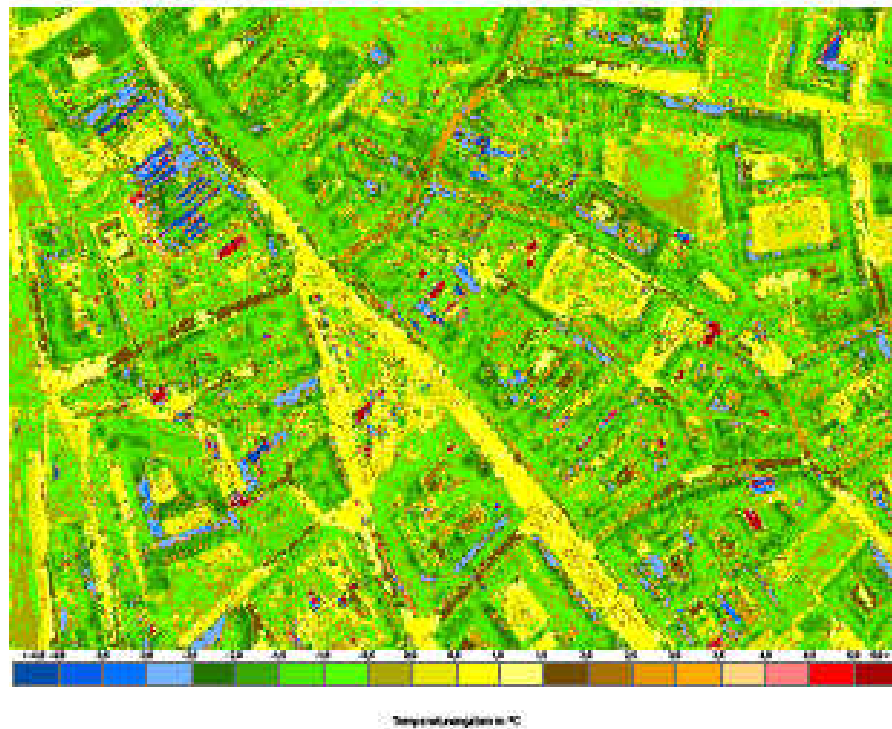
- Das Projekt TIR4U hat **wichtige Erkenntnisse für die methodische Umsetzung** einer Thermalbefliegung zum Zwecke der Dachanalysen gebracht.
- **Betreuung zukünftiger Flugkampagnen** hinsichtlich der klimatischen Rahmenbedingungen (Wetter / Aufnahmezeitpunkt / Jahreszeit / zusätzliche Messkampagnen im Gelände ...)
- Notwendigkeit einer **Einbindung der Bevölkerung**: wichtige Grundlage für die Analyse der Daten: Informationen über die Gestaltung, Eindeckung, Dämmung und Nutzung zum Befliegungszeitpunkt.
- Hausbesitzer/-in bekommt **Informationen über das thermische Verhalten der Dächer**.
- Dieser **Informationsaustausch** erfolgt entweder über eine analoge Fragebogenaktion oder über ein WEBGIS gestütztes Online Formular.

Dachflächenanalyse



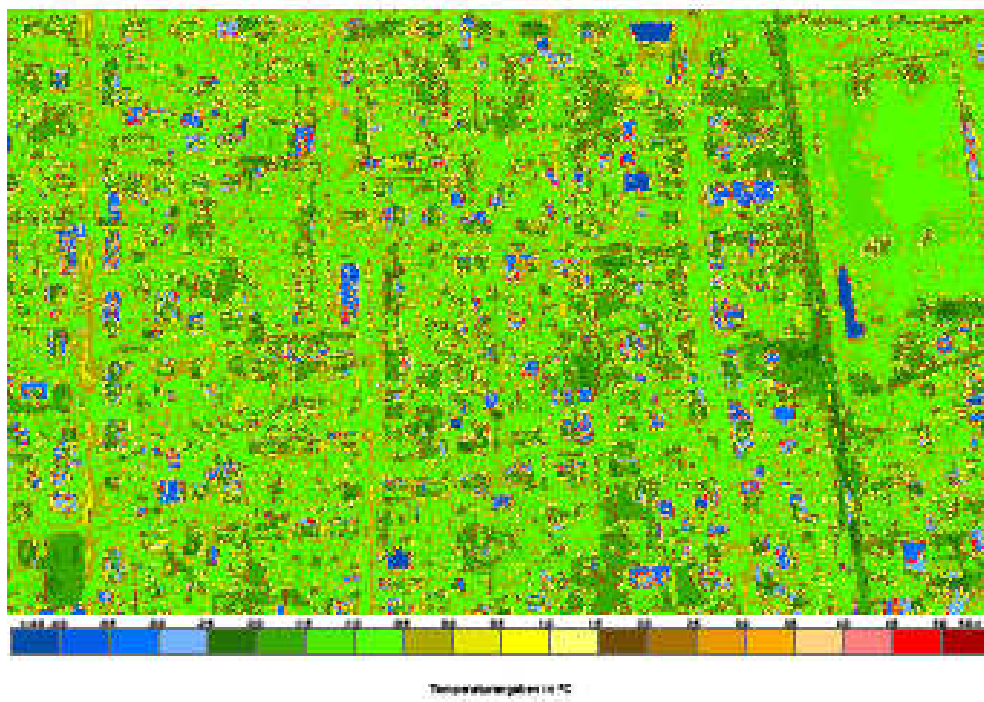
Ausblick

Dachflächen / Altstadt



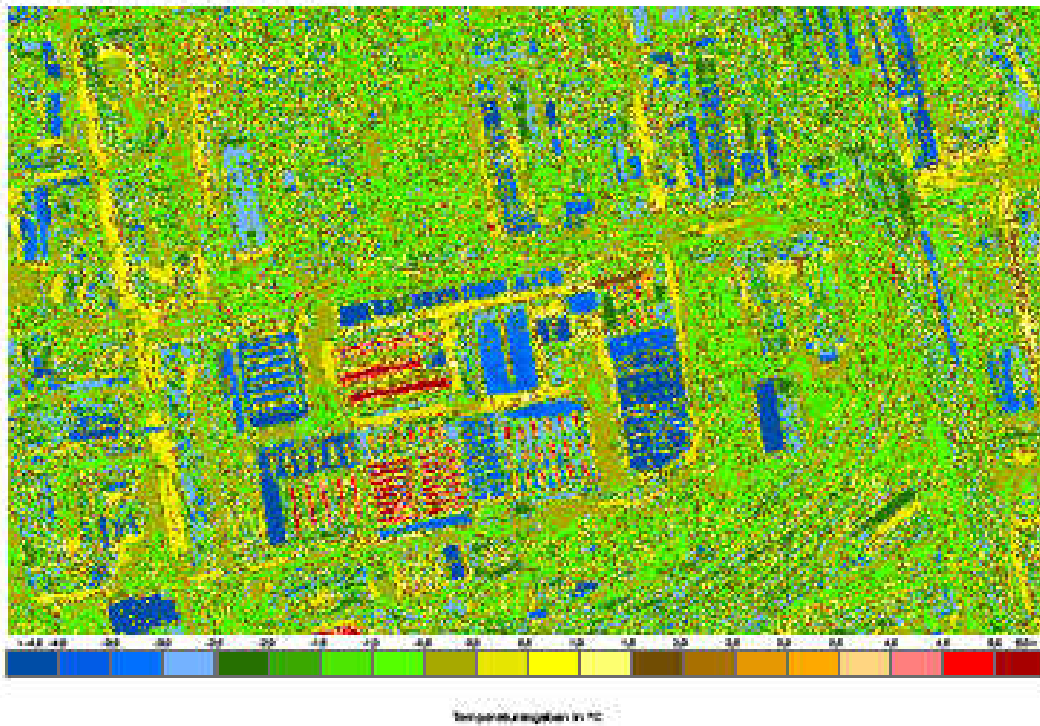
Ausblick

Dachflächen / Gartenstadt



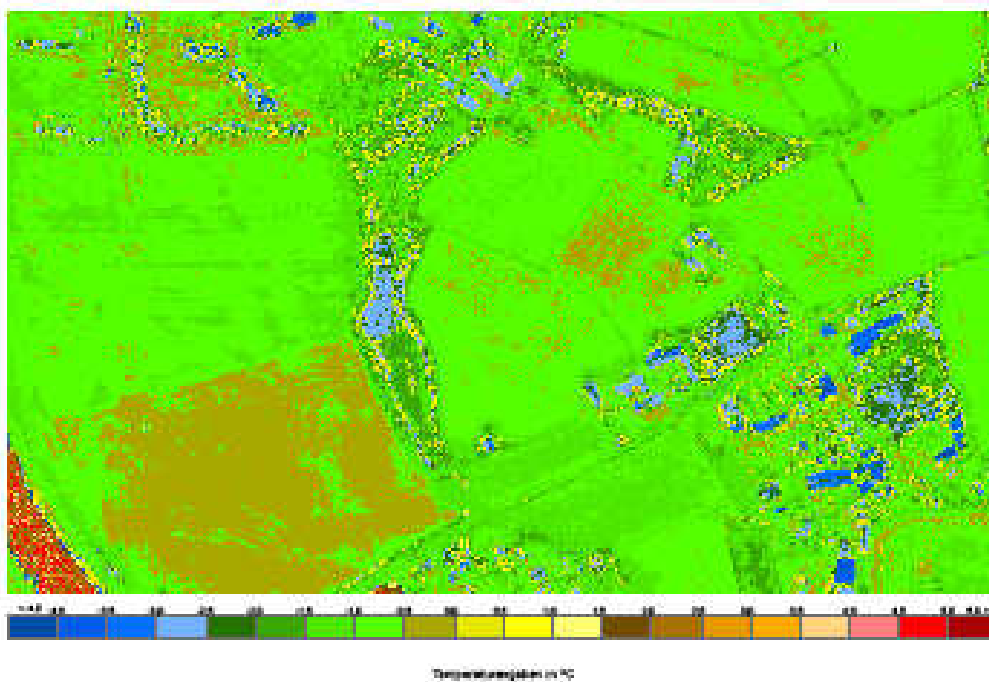
Ausblick

Dachflächen / Industriegebiet



Ausblick

Dachflächen / Freiland



Ausblick

Neubefliegung



- Die Flugplattform ADAM/ARGUS von Joanneum Research ermöglicht multisensorale Fernerkundung / Thermalkamera (INFRATEC)
- Joanneum Research: Datenaufnahme, Datenübertragung und die Erstellung des Orthobildmosaikes
- Institut für Geographie und Raumforschung: Datenanalyse, Interpretation und Darstellung
- Dieser Workflow soll als Best Practice Beispiel für andere Städte dienen.

