

# Luftbildbasierte 3D-Modelle und energetische Quartiersanalyse am Beispiel Berlin-Moabit

Philip Gorzalka

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Institut für Solarforschung, Jülich

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages



Wissen für Morgen

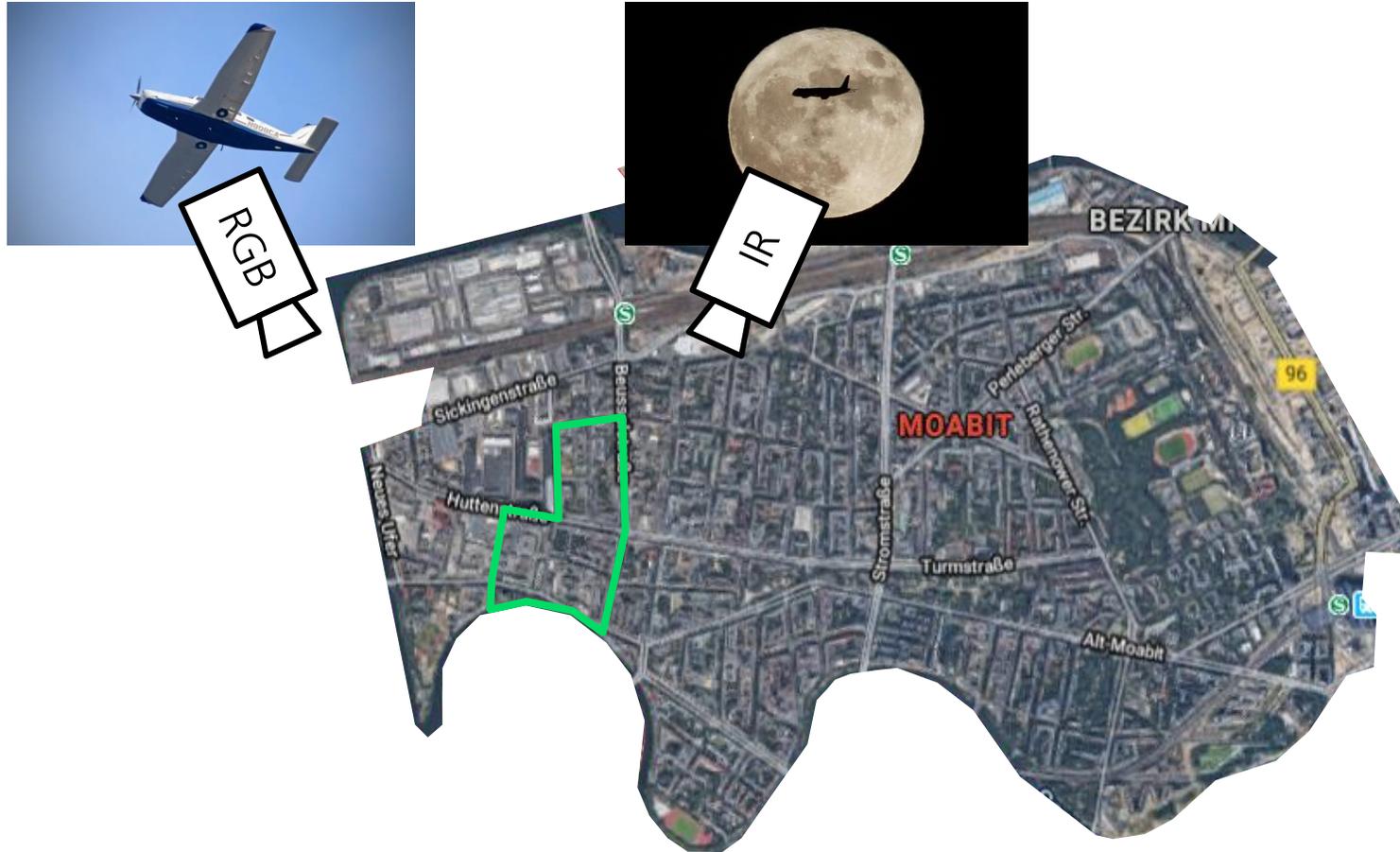


# Projekt Gebäudetomograph



# Testquartier Berlin-Moabit

## Aufgenommene Daten



# Gliederung

- 3D-Polygonmodell aus Luftbildphotogrammetrie
- Auswertung Infrarotbefliegung
- Methodenvergleich
- Zusammenfassung



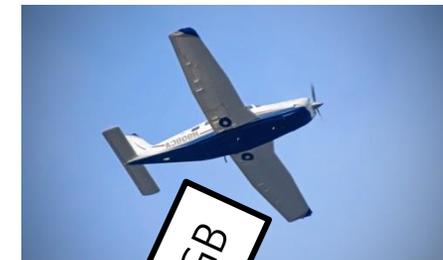
# Gliederung

- 3D-Polygonmodell aus Luftbildphotogrammetrie
- Auswertung Infrarotbefliegung
- Methodenvergleich
- Zusammenfassung



# 3D-Polygonmodell aus Luftbildphotogrammetrie

## Modellgenerierung



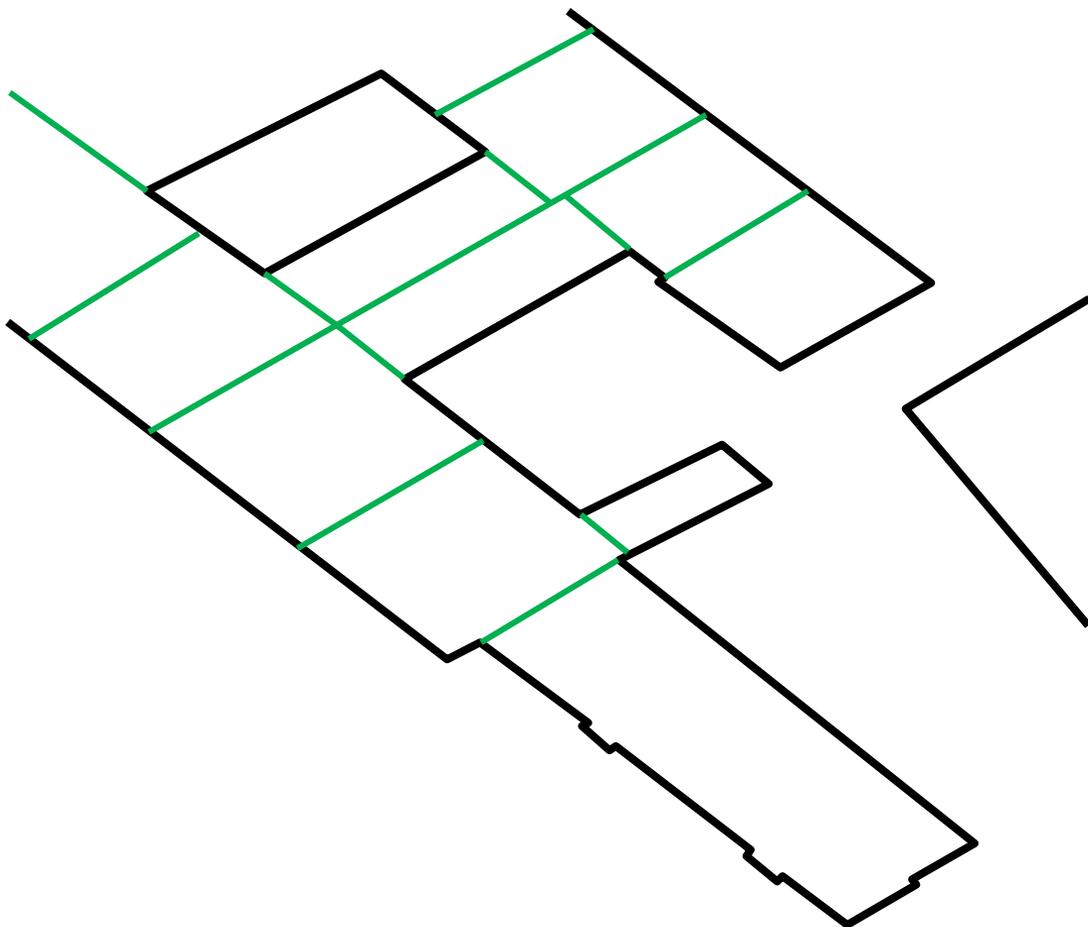
### Photogrammetrie

- Aus mehreren Positionen fotografieren → Punktwolke
- Vegetation per NIR-Kanal ausfiltern

Referenz: Frommholz, D., Linkiewicz, M., Meissner, H. et al. (2017), 'Reconstructing Buildings with Discontinuities and Roof Overhangs from Oblique Aerial Imagery', Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-1/W1: 465–471.

# 3D-Polygonmodell aus Luftbildphotogrammetrie

## Modellgenerierung



### Photogrammetrie

- Aus mehreren Positionen fotografieren → Punktwolke
- Vegetation per NIR-Kanal ausfiltern

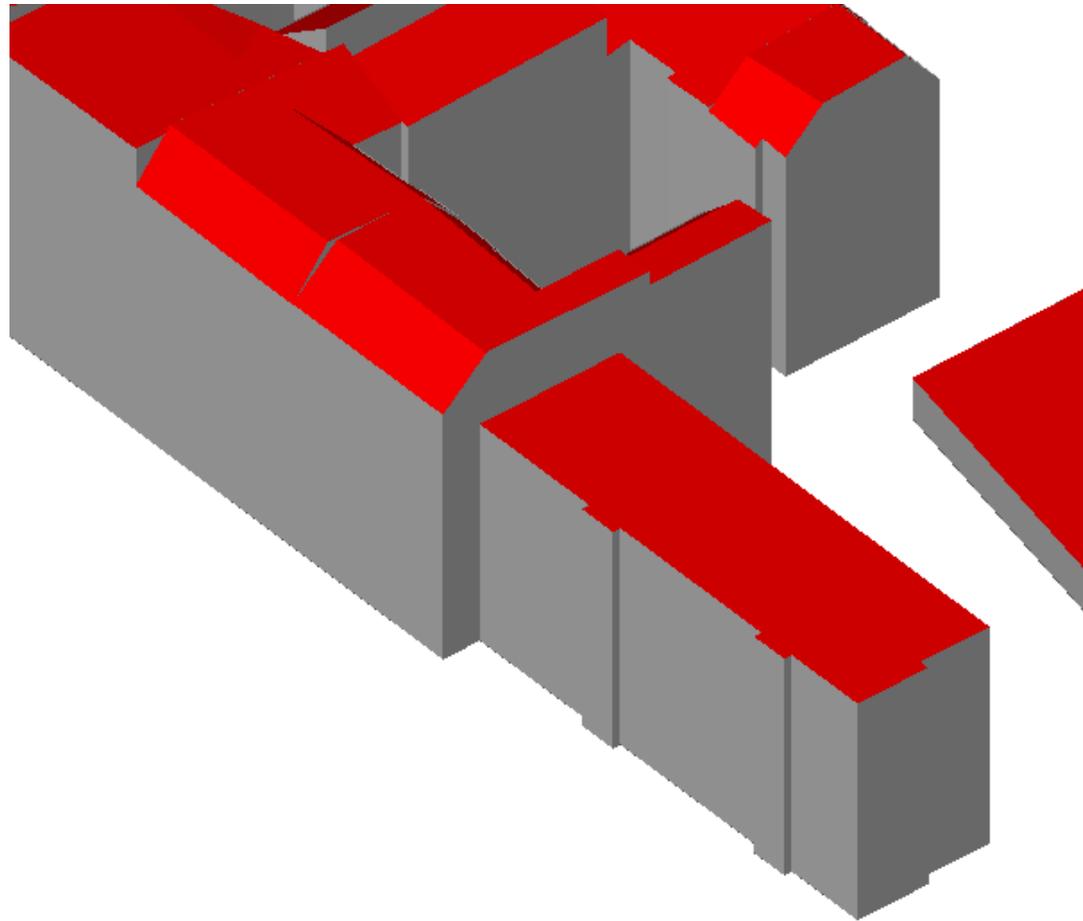
### Ableitung eines 3D-Polygonmodells

- Punkte filtern und nach 2D projizieren
- Gebäudeumrisse aus Punktansammlungen finden
- Hier: nur zur Kontrolle/Korrektur von ALKIS-Grundrissen

Referenz: Frommholz, D., Linkiewicz, M., Meissner, H. et al. (2017), 'Reconstructing Buildings with Discontinuities and Roof Overhangs from Oblique Aerial Imagery', Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-1/W1: 465–471.

# 3D-Polygonmodell aus Luftbildphotogrammetrie

## Modellgenerierung



### Photogrammetrie

- Aus mehreren Positionen fotografieren → Punktwolke
- Vegetation per NIR-Kanal ausfiltern

### Ableitung eines 3D-Polygonmodells

- Punkte filtern und nach 2D projizieren
- Gebäudeumrisse aus Punktansammlungen finden
- Hier: nur zur Kontrolle/Korrektur von ALKIS-Grundrissen
- Innerhalb von Gebäuden: Dächer an Punktwolke fitten
- Dächer, Wände und Grundflächen verschneiden  
→ Polygone

Referenz: Frommholz, D., Linkiewicz, M., Meissner, H. et al. (2017), 'Reconstructing Buildings with Discontinuities and Roof Overhangs from Oblique Aerial Imagery', Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-1/W1: 465–471.

# 3D-Polygonmodell aus Luftbildphotogrammetrie

## Modellgenerierung



### Photogrammetrie

- Aus mehreren Positionen fotografieren → Punktwolke
- Vegetation per NIR-Kanal ausfiltern

### Ableitung eines 3D-Polygonmodells

- Punkte filtern und nach 2D projizieren
- Gebäudeumrisse aus Punktansammlungen finden
- Hier: nur zur Kontrolle/Korrektur von ALKIS-Grundrissen
- Innerhalb von Gebäuden: Dächer an Punktwolke fitten
- Dächer, Wände und Grundflächen verschneiden  
→ Polygone
- Polygone aus ursprünglichen Bildern texturieren  
(beinhaltet Sichtbarkeitsanalysen)  
→ OBJ-Datei mit texturierten LOD2-Gebäuden

Referenz: Frommholz, D., Linkiewicz, M., Meissner, H. et al. (2017), 'Reconstructing Buildings with Discontinuities and Roof Overhangs from Oblique Aerial Imagery', Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci., XLII-1/W1: 465–471.

# 3D-Polygonmodell aus Luftbildphotogrammetrie

## Auswertung



### Fenstererkennung zur Ermittlung von

- Fensterfläche
  - Geschossigkeit
- Bildqualität meistens zu gering

### Export nach CityGML

### Weiterverarbeitung

- Import in Python-Gebäudemodell
- Gemeinsame Wandflächen von Nachbargebäuden
- Auswertung Flächen (Wand, Dach, ...) je Gebäude

ID	Grundfl. [m <sup>2</sup> ]	Volumen [m <sup>3</sup> ]	Dachfl. [m <sup>2</sup> ]	Fensterfl. [m <sup>2</sup> ]	Gesamte Wandfl. [m <sup>2</sup> ]	Geteilte Wandfl. [m <sup>2</sup> ]
73...9D	94,6	1892,7	101,7	65,4	584,2	215,8
86...A4	103,1	2084,1	104,8	13,0	347,5	547,3
91...1B	1679,9	38637,0	1679,9	0,0	4921,6	255,1



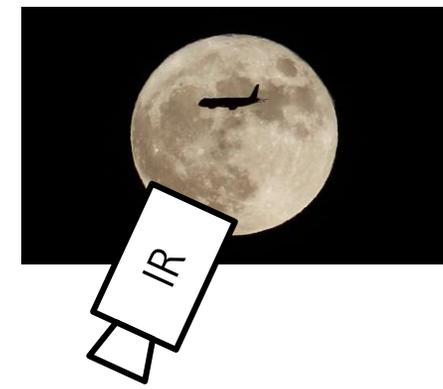
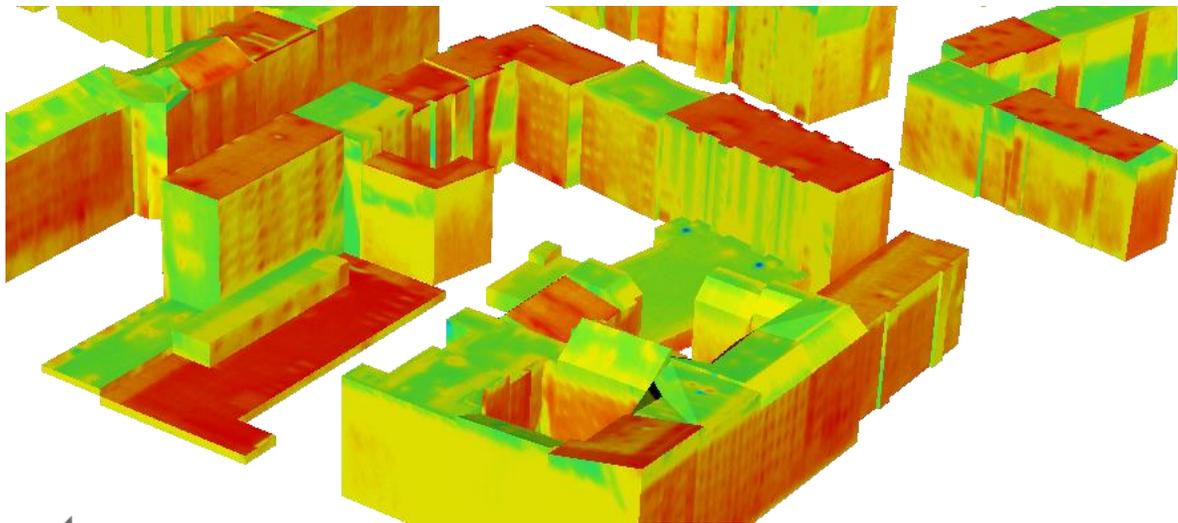
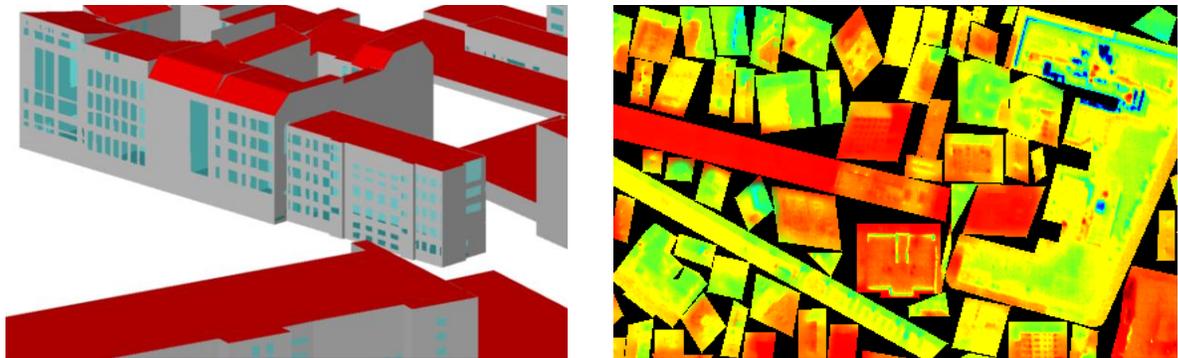
# Gliederung

- 3D-Polygonmodell aus Luftbildphotogrammetrie
- Auswertung Infrarotbefliegung
- Methodenvergleich
- Zusammenfassung



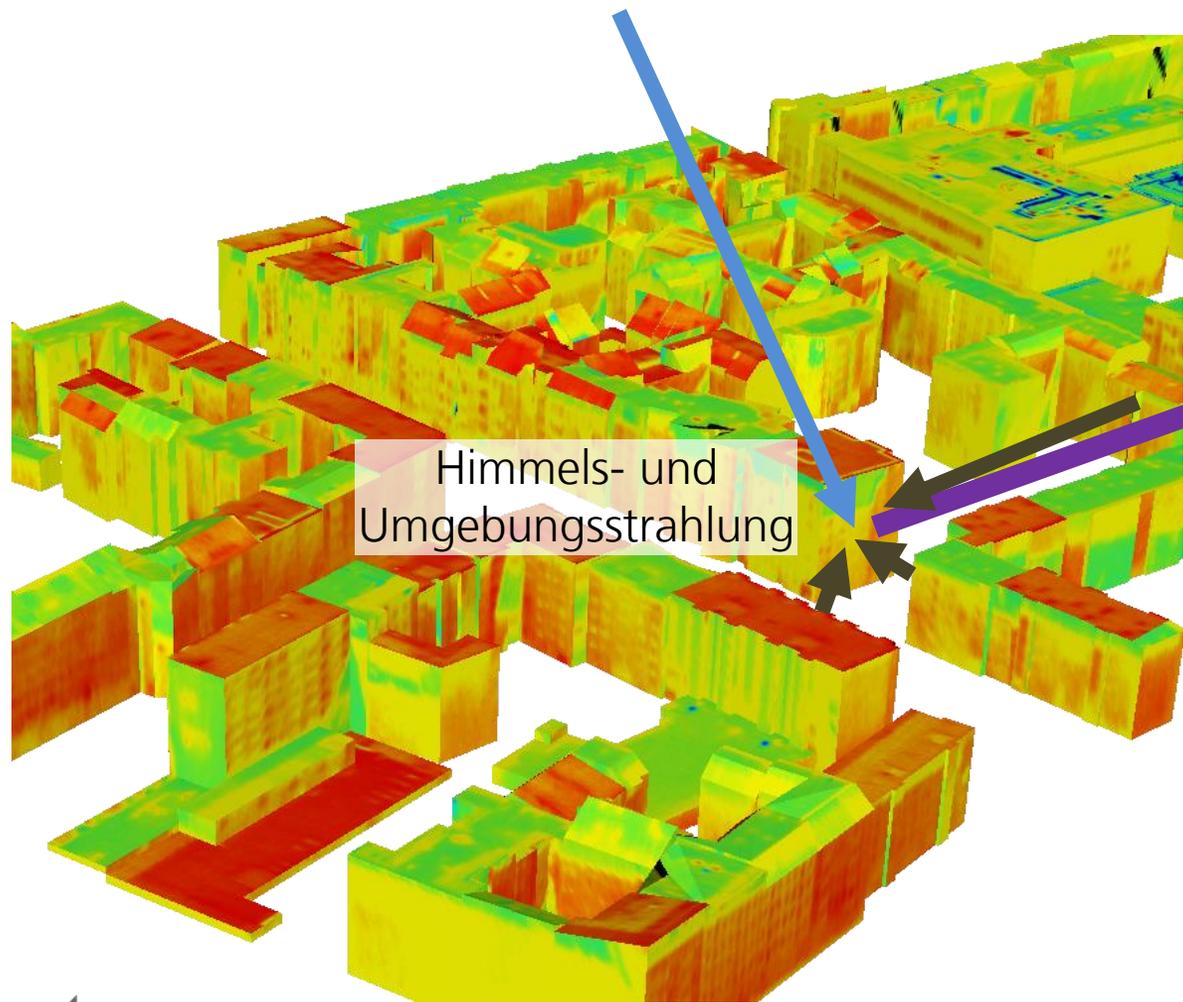
# Auswertung Infrarotbefliegung

## Berechnung der Oberflächentemperatur



# Auswertung Infrarotbefliegung

Berechnung der Oberflächentemperatur



Himmels- und Umgebungsstrahlung

~~$T_S = T_{BB}(L_{cam}/\epsilon)$~~   
 Transmissionsverluste



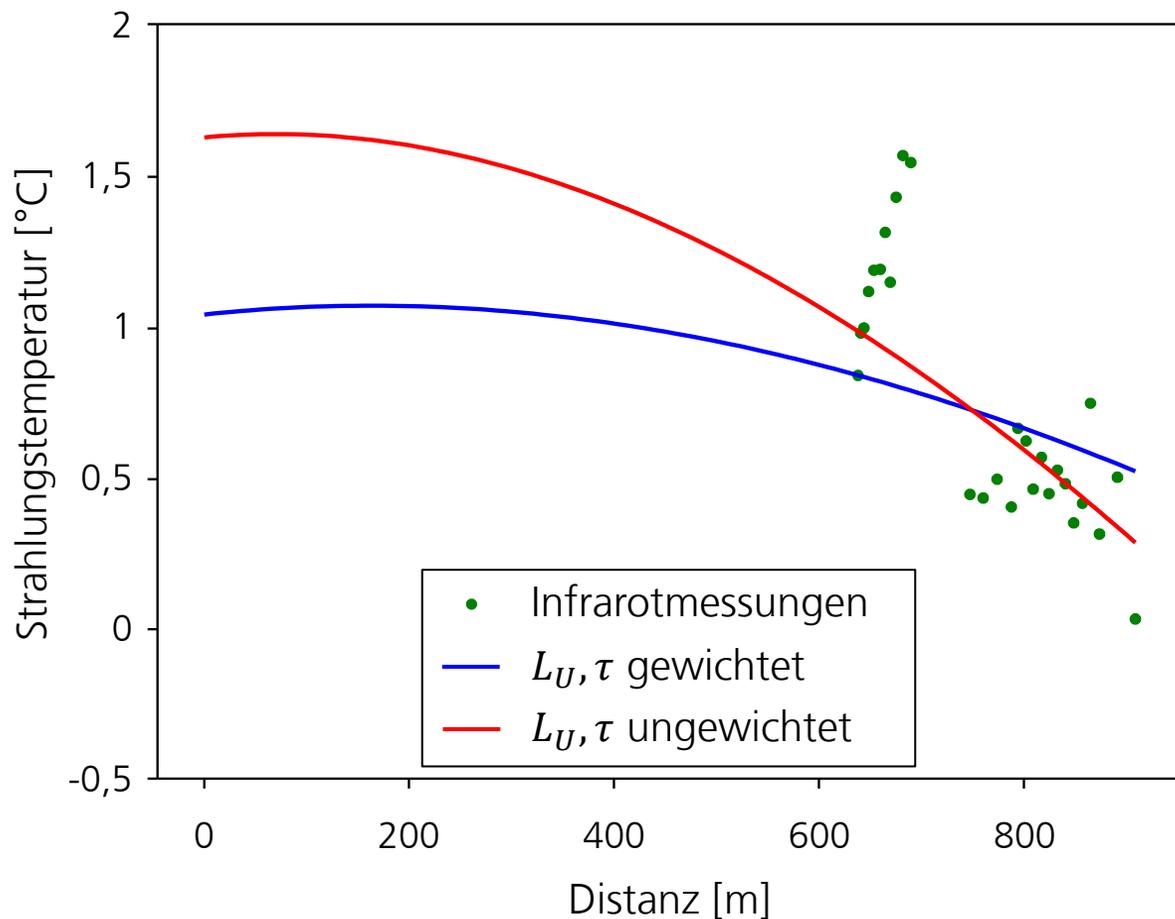
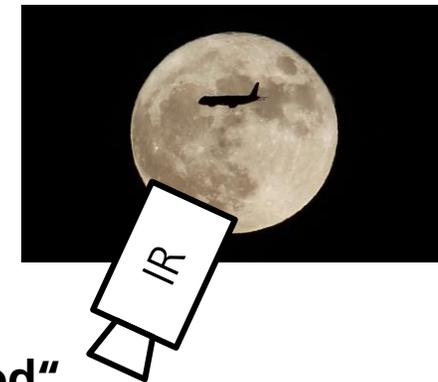
Eigenstrahlung der Atmosphäre

$$T_S = T_{BB} \left( \frac{\frac{L_{cam} - L_U}{\tau} - \int_{\Omega} f_r(\omega_i, \omega_e) \cdot L_i(\omega_i) d\omega_i}{\epsilon} \right)$$



# Auswertung Infrarotbefliegung

## Einfluss der Atmosphäre



### Kalibrierung „multiple angle method“

- Betrachtung einer Stelle aus verschiedenen Winkeln
- Einbezug einer Bodenmessung
- ➔ hier: Datengrundlage nicht ausreichend

### MODTRAN

- Simulation der Atmosphäre aus Messdaten
- Gewichtung mit spektraler Empfindlichkeit der Kamera
- Oder ohne?
- ➔ Erheblicher Einfluss auf Messwerte

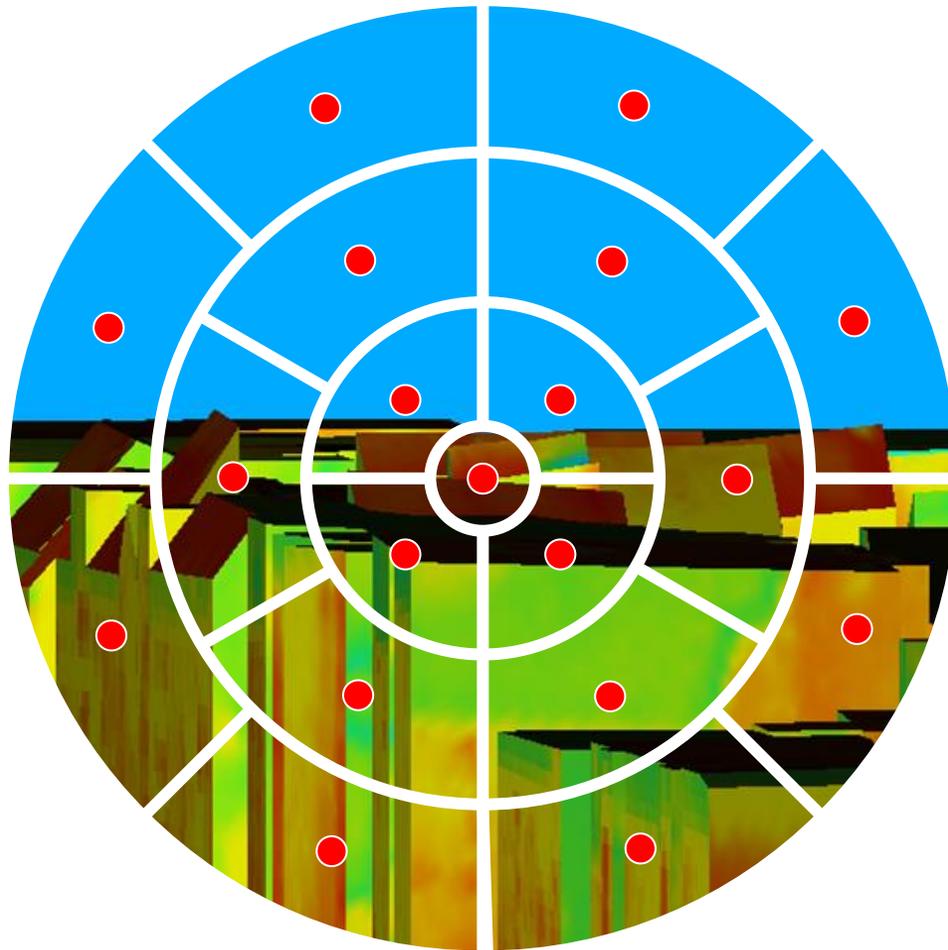
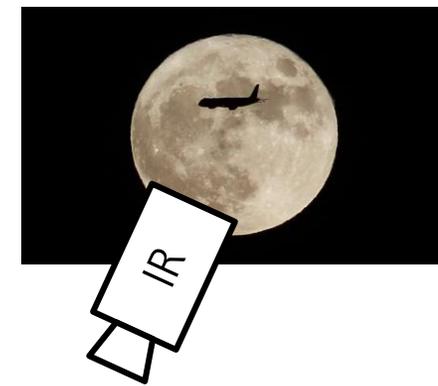
**Vorteil 3D-Modell:** Entfernung zu Beginn berechnet

$$T_S = T_{BB} \left( \frac{\frac{L_{cam} - L_U}{\tau} - \int_{\Omega} f_r(\omega_i, \omega_e) \cdot L_i(\omega_i) d\omega_i}{\varepsilon} \right)$$



# Auswertung Infrarotbefliegung

## Einfluss der reflektierten Strahlung



### Vorgehensweise

- Diskretisierung des Halbraums
- Raytracing
- „Getroffenes“ Pixel liefert einfallende Strahlung (Annahme: Lambertsch)

### Vorteile des 3D-Modells

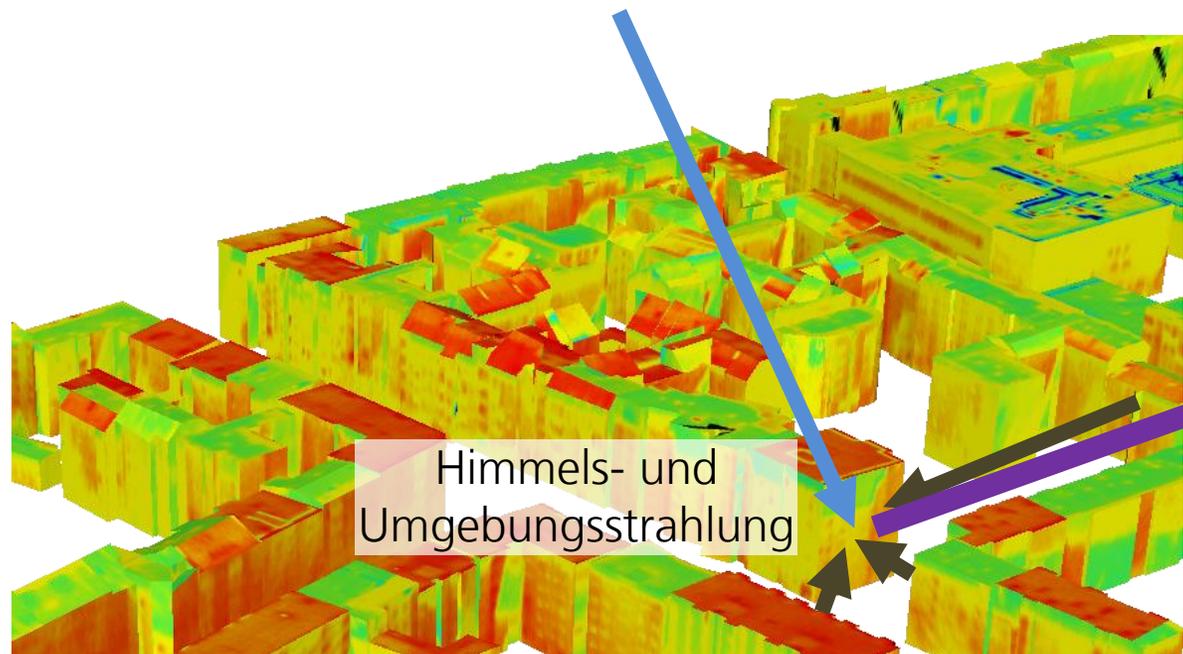
- Richtung des Halbraums
- Effiziente Raytracing-Berechnung

$$T_S = T_{BB} \left( \frac{\frac{L_{cam} - L_U}{\tau} - \int_{\Omega} f_r(\omega_i, \omega_e) \cdot L_i(\omega_i) d\omega_i}{\varepsilon} \right)$$



# Auswertung Infrarotbefliegung

## Emissivität



- Emissivität ist **material-** und **winkelabhängig**

### Vorteile 3D-Modell

- Zuordnung von Materialien zur Semantik
- Winkel zwischen Polygonnormale und Linie zur Kamera

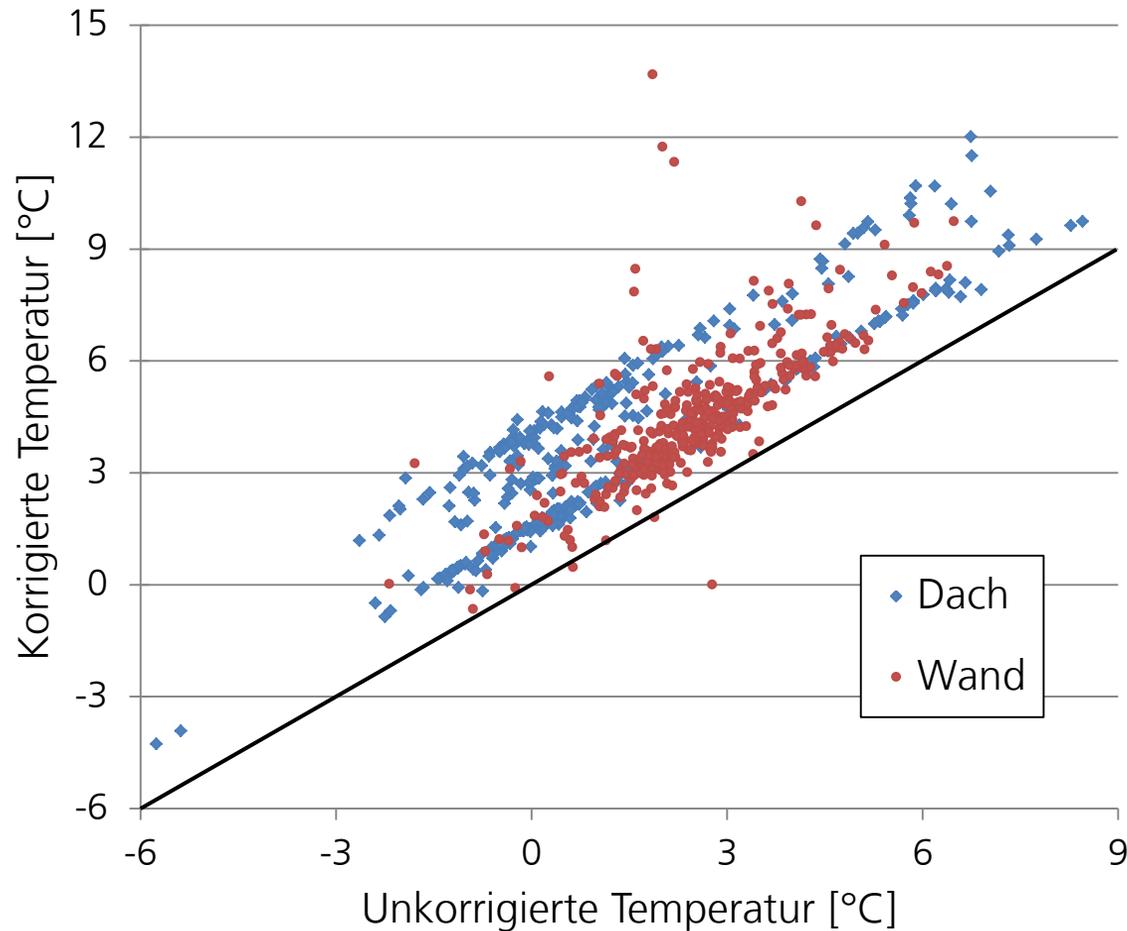
Flächentyp	Material (Annahme)	Emissivität
Flachdach (< 5°)	Bitumen	0,96
Steildach	Dachziegel	0,9
Wand	Putz	0,91

$$T_S = T_{BB} \left( \frac{\frac{L_{cam} - L_U}{\tau} - \int_{\Omega} f_r(\omega_i, \omega_e) \cdot L_i(\omega_i) d\omega_i}{\epsilon} \right)$$



# Auswertung Infrarotbefliegung

## Fazit



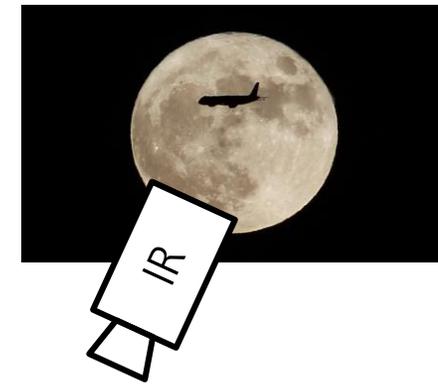
- Grober Überblick über energetische Qualität von Gebäudehüllen durch Temperaturen
- 3D-Modell sehr hilfreich bei Korrektur und Auswertung
- Relative Änderungen vor allem bei Wänden

## Verbesserungspotenzial

- Materialerkennung (Emissivitäts-/Reflektivitätswerte)
- Messung von Atmosphäreigenschaften vor Ort
- Einschränkung bzw. Abstimmung des Frequenzbands passend zu Atmosphäre und IR-Sensor
- Effizienteres Raytracing

## Umfangreiche Validierung offen

- Oberflächentemperatur
- Qualität der Gebäudehülle



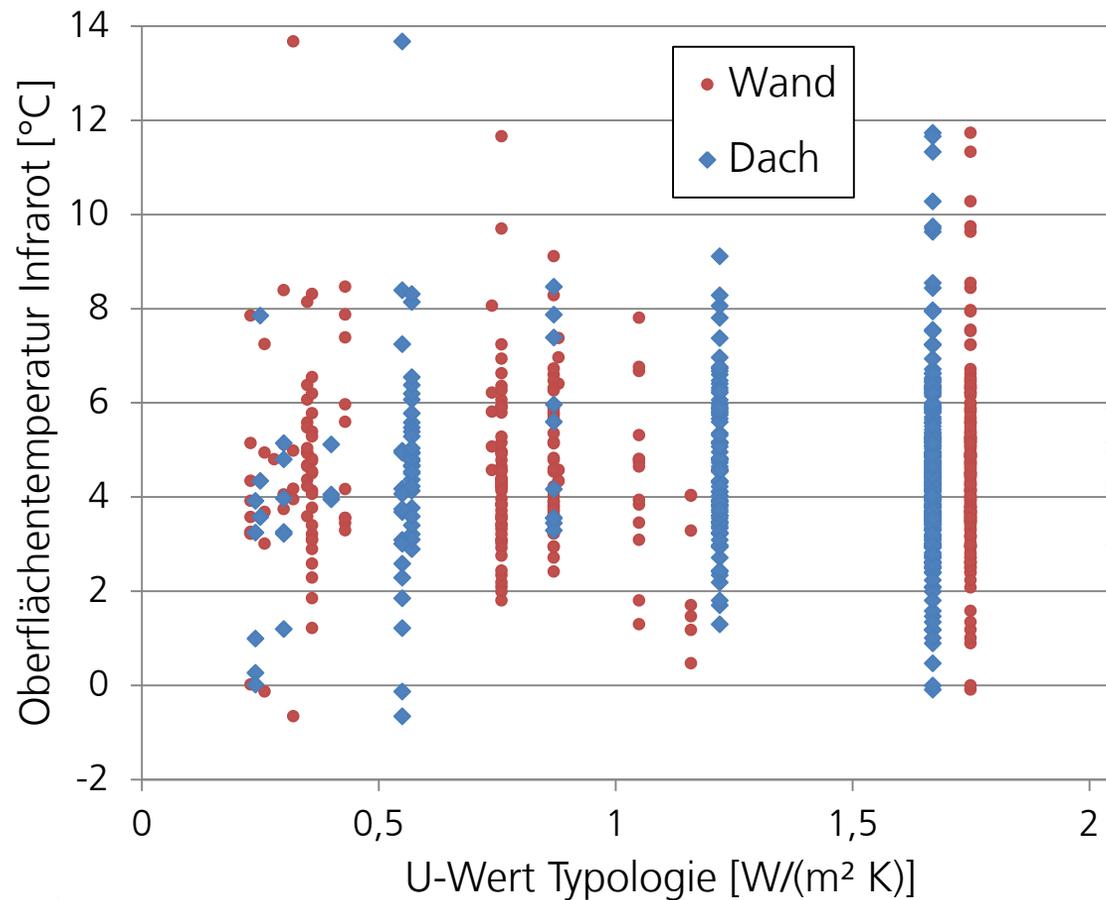
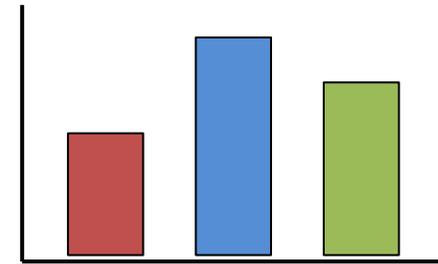
# Gliederung

- 3D-Polygonmodell aus Luftbildphotogrammetrie
- Auswertung Infrarotbefliegung
- Methodenvergleich
- Zusammenfassung



# Methodenvergleich

## Übersicht



### HFT Stuttgart (SimStadt)

- Basis: DLR-3D-Modell + Baualtersklassen
- Typologie für energetische Parameter
- ➔ Energiebedarf

### HCU Hamburg

- Basis: Kataster + Baualtersklassen
- Typologie für energetische Parameter
- ➔ Energiebedarf

### DLR

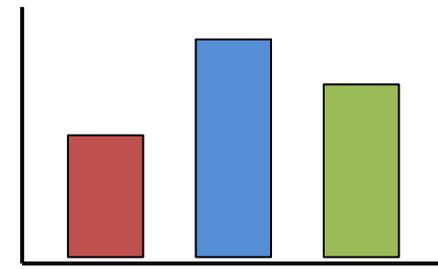
- Fenstererkennung
- Oberflächentemperatur (Infrarot)

➔ **Vergleich:** Parameter, Energiebedarfe, IR-Messwerte



# Methodenvergleich

## Analyse der Unsicherheiten



### Infrarotthermographie

- Messwerte der Kamera
- Atmosphäre
- Reflexion/Emission  
(Oberflächenmaterial und –eigenschaften)
- Unbeheizte Dachböden

### Typologie

- Statistische Unsicherheiten
  - Zuordnung Baualtersklassen
  - Renovierungen
- 
- Voneinander unabhängige Unsicherheiten auf beiden Seiten
  - Optimierungen jeweils in Arbeit
  - Erhebliches Potenzial in Kombination der Methoden

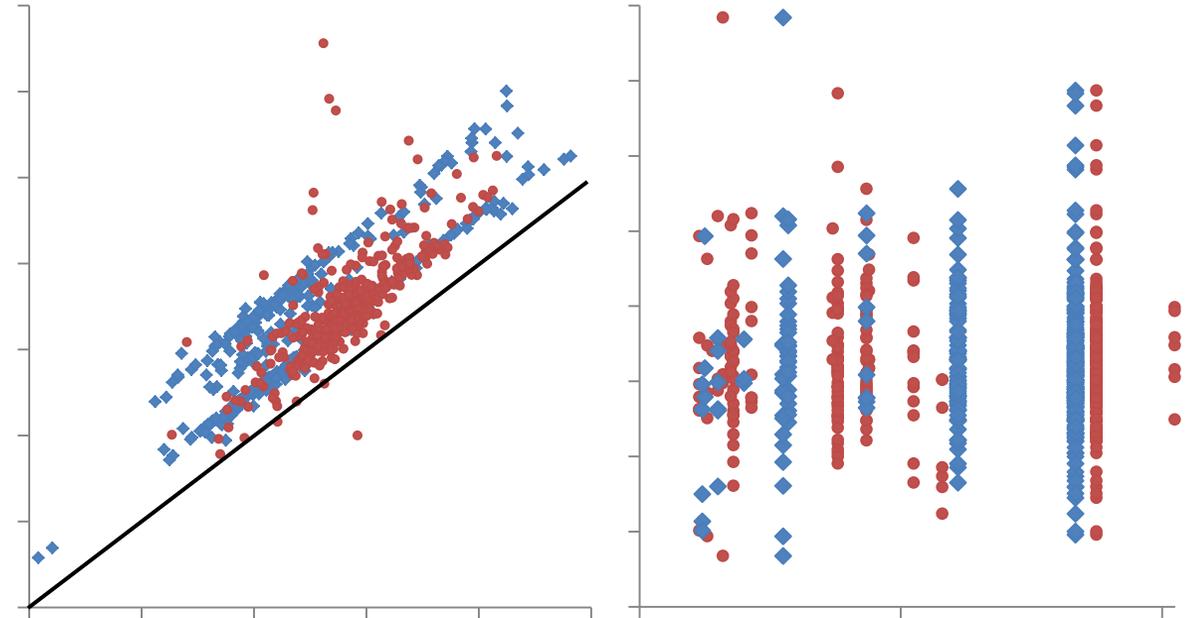
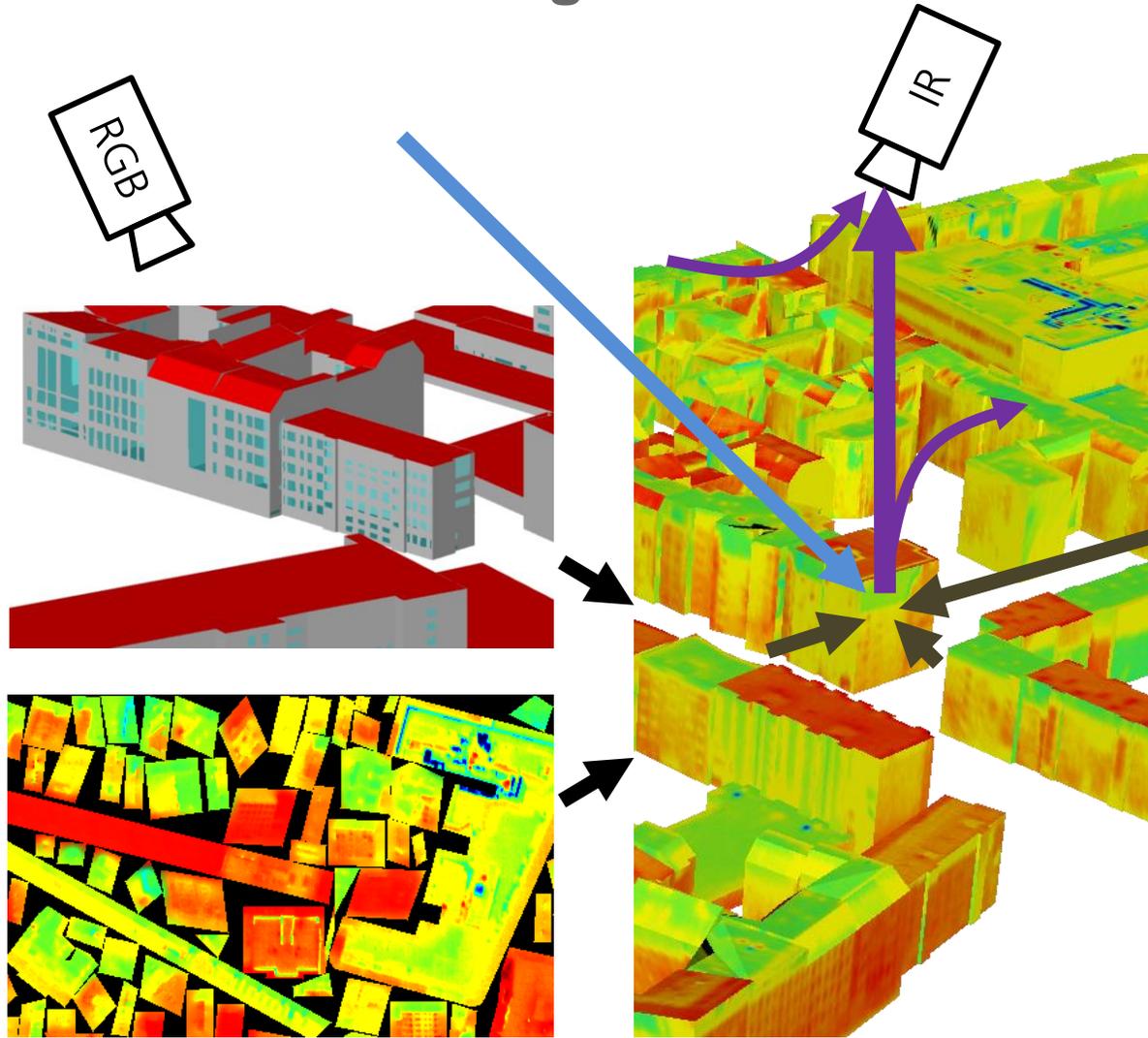


# Gliederung

- 3D-Polygonmodell aus Luftbildphotogrammetrie
- Auswertung Infrarotbefliegung
- Methodenvergleich
- Zusammenfassung



# Zusammenfassung



**Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!**

**Philip Gorzalka**  
Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt  
Institut für Solarforschung  
philip.gorzalka@dlr.de



# Hinweise zu Abbildungen

- BMWi-Logo mit Förderzusatz: © Bundesministerium für Wirtschaft und Energie
- Kartenausschnitt Moabit:
  - Bilder © 2019 Google, Bilder © 2019 CNES / Airbus, GeoBasis-DE/BKG, GeoContent, Landsat / Copernicus, Maxar Technologies
  - Kartendaten © 2019 GeoBasis-DE/BKG (©2009), Google
- [Computertomograph](#): [Pixabay License](#)
- [Kleinflugzeug vor Taghimmel](#): [CC0 Public Domain](#)
- [Flugzeug vor Mond](#): [Pixabay License](#)
- 3D-Ansicht Moabit:
  - Bilder © 2019 Google, Bilder © GeoBasis-DE/BKG, GeoContent, Maxar Technologies
  - Kartendaten © 2019 GeoBasis-DE/BKG (©2009)
- Übrige Abbildungen: DLR (CC-BY 3.0)
  - 3D-Modell-Ansichten erstellt mit [FZKViewer](#) bzw. [CloudCompare](#)

