THERMALBILDAUSWERTUNG WIEN
VERWENDUNGSMÖGLICHKEITEN VON THERMALBILDERN
IM STÄDTISCHEN RAUM

MASTERARBEIT

an der Universität für Bodenkultur Wien
Department für Raum, Landschaft und Infrastruktur
Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation

eingereicht von

Martina Jobst bakk.tech.

betreut von
Univ.Prof. Dr.rer.nat. Clement Atzberger

unter Mitbetreuung von
Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Reinfried Mansberger

EIDESSTAATLICHE VERSICHERUNG

Ich versichere hiermit, dass ich meine Prüfungsarbeit

Thermalbildauswertung Wien

Anwendungen von Thermalbildern im städtischen Raum

selbstständig und ohne fremde Hilfe angefertigt, und dass ich alle von anderen Autoren wörtlich übernommenen Stellen wie auch die sich an die Gedankengänge anderer Autoren eng anlehnenden Ausführungen meiner Arbeit besonders gekennzeichnet und die Quellen zitiert habe.

Weiters versichere ich, dass ich diese Masterarbeit weder im Inland noch im Ausland in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Wien, 23.04.2013

Ort, Datum

Unterschrift

DANKSAGUNG

Diese Masterarbeit wurde an der Universität für Bodenkultur am Institut für Vermessung, Fernerkundung und Landinformation (IVFL) unter der Leitung von Herrn Univ.Prof. Dr.rer.nat. Clement Atzberger durchgeführt. Mitbetreuer war Ass.Prof. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Reinfried Mansberger. Da mir während meiner Arbeit mehrere Personen hilfreich zur Seite standen, gilt es hier, ihnen meinen Dank auszusprechen.

Danke, an meine Betreuer des IVFL, Univ.Prof Clement Atzberger und Ass.Prof. Reinfried Mansberger, die mich im Laufe der Arbeit mit Literatur und guten Ideen unterstützten.

Danke, an Herrn Dipl.-Ing. Hubert Lehner von der MA 41 – Stadtvermessung der Stadt Wien, der die Datenübergabe koordinierte und bei technischen Fragen als Anlaufstelle diente.

Danke, an die Herrn Dr. Thomas Bauer und Mag. Franz Suppan, die mir bei Fragen zu ArcGIS (Fa. ESRI) Ideen und Lösungen anbieten konnten.

Ein großer Dank an meine wundervollen Eltern für die jahrelange Förderung und Unterstützung, ohne die mein Studium nicht möglich gewesen wäre.

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis ..... *VI*

Tabellenverzeichnis ..... *X*

Kurzfassung ..... *XI*

Abstract ..... *XI*

1 Einleitung *1*

2 Ziel der Arbeit *2*

3 Theoretische Grundlagen *3*

3.1 Thermalstrahlung **3**

3.1.1 Materialeigenschaften (Emissionsgrade) 4

3.2 Thermalbildaufnahme **6**

3.2.1 Kalibrierung und Störfaktoren 6

3.2.2 Messablauf 7

3.2.3 Pre-processing der Thermaldaten 8

3.2.4 Randbedingungen 9

4 Verwendung von Thermalbildern (good Practice) *10*

4.1 Wärmeverlustkarten – Heat Loss Maps **10**

4.1.1 HEAT 11

4.1.2 ENERGY CITY 13

4.1.3 Kommerzielles Beispiel einer Wärmeverlustkarte – Heat Loss Map Jersey (UK) 15

4.2 Auffinden von potentiellen Problemstellen im Wärmeleitungsnetz **16**

4.3 Kritik **17**

5 Testgebiet und Daten *18*

5.1 Thermalbild Wien **18**

5.1.1 Flugdaten ... 19
5.1.2 Sensor-Daten ... 19
5.1.3 Datenkorrektur ... 20
5.2 Weitere Geodaten ... 21
5.2.1 Mehrzweckkarte und Flächen-Mehrzweckkarte (FMZK) ... 22
5.2.2 Orthophoto ... 24
5.2.3 Digitaler Zentraler Leitungskataster (ZLK) ... 24
5.2.4 Digitaler Weichenplan ... 26
6 Methodik ... 28
6.1 Auswahl des Testgebietes ... 28
6.2 Erstellung einer Heat Loss Map für einzelne Gebäude ... 30
6.2.1 Verwendete Daten ... 30
6.2.2 Auswahl der Gebäude ... 30
6.2.3 Heat Loss Map – Rathaus ... 32
6.2.4 Heat Loss Map – Gebäudekomplex Grünentorgasse ... 34
6.2.5 Heat Loss Map – Gebäudekomplex Kolingasse ... 35
6.3 Ortung potentieller Problemstellen im Fernwärmeleitungsnetz ... 38
6.3.1 Verwendete Daten ... 38
6.3.2 Verschneiden von Thermalbild und Leitungsnetz ... 38
6.3.3 Selektion verfälschender Bereiche ... 40
6.3.4 Optische Ausschlusskriterien ... 45
6.4 Überprüfung der Straßenbahnweichen-Heizungen ... 47
6.4.1 Verwendete Daten ... 47
6.4.2 Darstellen von Weichen und Gleiskörper ... 47
6.4.3 Statistische Auswertung einzelner Weichen im Testgebiet ... 48

6.4.4 Statistische Auswertung aller Weichen im Testgebiet 51

7 Ergebnisse und Diskussion 54

7.1 Erstellung einer Heat Loss Map für einzelne Gebäude 54

7.1.1 Heat Loss Map – Rathaus 54

7.1.2 Heat Loss Map – Gebäudekomplex Grünentorgasse 57

7.1.3 Heat Loss Map – Gebäudekomplex Kolingasse 60

7.1.4 Diskussion der Ergebnisse 62

7.1.5 Aufwandsschätzung 64

7.2 Ortung potentieller Problemstellen im Fernwärmeleitungsnetz 65

7.2.1 Identifizierte Problemstellen 66

7.2.2 Fehlerquellen 67

7.2.3 Diskussion der Ergebnisse 68

7.2.4 Aufwandsschätzung 68

7.3 Überprüfung der Straßenbahnweichen-Heizungen 70

7.3.1 Beispiel „Funktionierende Weichenheizung“ 71

7.3.2 Beispiel „Schwache Weichenheizung“ 71

7.3.3 Beispiel „Keine/nicht funktionierende Weichenheizung“ 72

7.3.4 Heizungen ohne Weichen 73

7.3.5 Diskussion der Ergebnisse 73

7.3.6 Aufwandsschätzung 73

8 Schlussfolgerung und Ausblick 75

9 Zusammenfassung 77

Literaturverzeichnis XIII

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABB. 1 – ELEKTROMAGNETISCHES SPEKTRUM, UNVERÄNDERT NACH (ALBERTZ, 2007 S. 11) 4
ABB. 2 – EMISSIONSGRADE NACH MATERIAL (LILLESAND, ET AL., 2008 S. 359) 5
ABB. 3 – SCHEMATISCHER ABLAUF DER THERMALBILDAUFNAHME 7
ABB. 4 – ORTHOREKTIFIZIERTER EINZELFLUGSTREIFEN (STADT WIEN, MA 41 – STADTVERMESSUNG, 2012)..... 8
ABB. 5 – ORTHOREKTIFIZIERTER EINZELFLUGSTREIFEN (STADT WIEN, MA 41 – STADTVERMESSUNG, 2012)..... 8
ABB. 6 – *HEAT SCORE*, ERMITTELT NACH MITTLERER DACHTEMPERATUR (HAY, 2011) 11
ABB. 7 – HEAT SCORE KLASSEN NACH HAY (HAY, 2011) 12
ABB. 8 – HEAT SCORE FÜR EIN HAUS MIT GEMÄßIGTEN WÄRMEVERLUSTEN (HAY, 2011) 12
ABB. 9 – TEMPERATURVERLAUF EINES DACHES MIT HOT SPOTS (HAY, 2011) 13
ABB. 10 – ARBEITSABLAUF ZUR BERECHNUNG VON OBERFLÄCHENTEMPERATUREN, UNVERÄNDERT NACH (BITELLI, ET AL., 2011 S. 17) 14
ABB. 11 – HOMEPAGE DER REGIERUNG VON JERSEY (STATES OF JERSEY, 2013) 15
ABB. 12 – JERSEY HEAT LOSS MAP (STATES OF JERSEY, 2013) 16
ABB. 13 – GEBIET DER THERMALBILDBAUFNAHME VOM 01.02.2012 (STADT WIEN, MA 41 – STADTVERMESSUNG, 2012) 18
ABB. 14 – THERMALBILD VON WIEN VOM 01.02.2012, KORRIGIERT MITTELS DGM (STADT WIEN, MA 41 – STADTVERMESSUNG, 2012) 20
ABB. 15 – HISTOGRAMM THERMALBILD MIT MITTELWERT UND STDABW 21
ABB. 16 – DARSTELLUNG FLÄCHEN-MEHRZWECKKARTE FÜR DAS TESTGEBIET (STADT WIEN, MA 41 – STADTVERMESSUNG, 2012) 22
ABB. 17 – ORTHOPHOTO DES TESTGEBIETES (STADT WIEN, MA 41 – STADTVERMESSUNG, 2012)..... 24
ABB. 18 – DARSTELLUNG FERNWÄRMELEITUNGEN UND SCHÄCHTE FÜR DAS TESTGEBIET (STADT WIEN, MA 41 – STADTVERMESSUNG, 2012) (STADT WIEN, MA 28 – STRAßENVERWALTUNG UND STRAßENBAU, 2013) 25
ABB. 19 – FERNWÄRMELEITUNGEN MIT L_QUAL ID 1 (BLAU) (STADT WIEN, MA 41 – STADTVERMESSUNG, 2012) 26
ABB. 20 – DARSTELLUNG DER WEICHEN ALS LINIEN 26
ABB. 21 – DIGITALER WEICHENPLAN MIT SCHIENENBEREICH UND THERMALBILD 27
ABB. 22 – DIGITALER WEICHENPLAN MIT SCHIENENBEREICH UND THERMALBILD 27
ABB. 23 – FERNWÄRMELEITUNG (STADT WIEN, MA 41 – STADTVERMESSUNG, 2012) 28
ABB. 24 – STRAßENBAHNWEICHEN-HEIZUNG (STADT WIEN, MA 41 – STADTVERMESSUNG, 2012) 28
ABB. 25 – STELLEN MIT GUT SICHTBAREN TEMPERATURUNTERSCHIEDEN (ROT) 29
ABB. 26 – AUSGEWÄHLTES TESTGEBIET (STADT WIEN, MA 41 – STADTVERMESSUNG, 2012) 29
ABB. 27 – RATHAUS, THERMALBILD 30
ABB. 28 – RATHAUS, ORTHOPHOTO 30
ABB. 29 – GEBÄUDE GRÜNENTORGASSE, THERMALBILD 31
ABB. 30 – GEBÄUDE GRÜNENTORGASSE, ORTHOPHOTO 31
ABB. 31 – GEBÄUDE KOLINGASSE, THERMALBILD 31

ABB. 32 – GEBÄUDE KOLINGASSE, ORTHOPHOTO 31
ABB. 33 – LAGE DER GEBÄUDE FÜR DIE HEAT LOSS MAPS 31
ABB. 34 – FLÄCHEN-MEHRZWECKKARTE DES RATHAUSES 32
ABB. 35 – IDENTIFIZIERUNG DER EINZELNEN FLÄCHEN DES RATHAUSES ÜBER FMZK_ID 32
ABB. 36 – EINZELNE FLÄCHEN DES RATHAUSES AUS FMZK 33
ABB. 37 – ZUSAMMENGEFÜGTE FLÄCHE MIT PUFFER 33
ABB. 38 – VERSCHNEIDEN VON THERMALBILD UND RATHAUS 33
ABB. 39 – FLÄCHEN-MEHRZWECKKARTE DES GEBÄUDEKOMPLEXES GRÜNENTORGASSE 34
ABB. 40 – IDENTIFIZIERUNG DER EINZELNEN FLÄCHEN DES GEBÄUDEKOMPLEXES GRÜNENTORGASSE 34
ABB. 41 – EINZELNE FLÄCHEN AUS FMZK 35
ABB. 42 – ZUSAMMENGEFÜGTE FLÄCHE MIT PUFFER 35
ABB. 43 – VERSCHNEIDEN VON THERMALBILD UND GEBÄUDEKOMPLEX GRÜNENTORGASSE 35
ABB. 44 – FLÄCHEN-MEHRZWECKKARTE DES GEBÄUDEKOMPLEXES KOLINGASSE 36
ABB. 45 – IDENTIFIZIERUNG DER EINZELNEN FLÄCHEN DES GEBÄUDES KOLINGASSE 36
ABB. 46 – EINZELNE FLÄCHEN AUS FMZK 37
ABB. 47 – ZUSAMMENGEFÜGTE FLÄCHE MIT PUFFER 37
ABB. 48 – VERSCHNEIDEN VON THERMALBILD UND GEBÄUDEKOMPLEX KOLINGASSE 37
ABB. 49 – ÜBERLAGERUNG VON LEITUNGSNETZ UND THERMALBILD, VOTIVKIRCHE 38
ABB. 50 – PUFFER UM LEITUNGEN (LILA) 39
ABB. 51 – FUNKTION „AUSSCHNEIDEN“ FÜR RASTERDATEN 39
ABB. 52 – VERSCHNEIDUNG VON THERMALBILD UND LEITUNGSNETZ 40
ABB. 53 – HOHE TEMPERATUREN ENTLANG DER LEITUNG 40
ABB. 54 – HOHE TEMPERATUREN STAMMEN VON GEBÄUDE 40
ABB. 55 – SELEKTION VON FLÄCHEN NACH IHRER NUTZUNG 41
ABB. 56 – SHAPEFILE MIT AUSGESUCHTEN FLÄCHEN 42
ABB. 57 – ZUSAMMENGESETZTE FLÄCHE 42
ABB. 58 – RASTERWERTE ENTLANG VON STRAßEN ODER OFFENEN FLÄCHEN (GRAU) 42
ABB. 59 – STELLEN MIT TEMPERATUREN ÜBER 0° C 43
ABB. 60 – ABSTAND ZWISCHEN WÄRMEQUELLE UND SCHACHT 43
ABB. 61 – PUFFER UM SCHÄCHTE (HELLROSA) 44
ABB. 62 – ENTFERNEN DER PUFFER MIT FUNKTION „RADIEREN“ 44
ABB. 63 – ABSTAND ZW. WÄRMEQUELLE UND SCHACHT 45
ABB. 64 – HOHLRÄUME (SCHWARZ) MIT PUFFER (ROSA) 45
ABB. 65 – RASTERDATEN (GRAU) OHNE SCHÄCHTE UND HOHLRÄUME 45
ABB. 66 – VERMUTLICHER BUS ALS WÄRMEQUELLE 46
ABB. 67 – MOTORHAUBEN VON AUTOS ALS WÄRMEQUELLE 46
ABB. 68 – STRAßENBAHNWEICHEN-HEIZUNGEN BEI -15° C BIS 12° C 47
ABB. 69 – WEICHENHEIZUNG LIEGT GENAU AUF SCHIENEN 48
ABB. 70 – WEICHENHEIZUNG LIEGT NEBEN SCHIENEN 48

ABB. 71 – WEICHEN MIT HEIZUNG 48
ABB. 72 – WEICHEN OHNE HEIZUNG 48
ABB. 73 – ABSTAND ZWISCHEN WEICHE UND HEIZUNG 49
ABB. 74 – PUFFER UM AUSGEWÄHLTE WEICHEN (PINK) 49
ABB. 75 – ABFRAGE DER ZONAL STATISTICS FÜR AUSGEWÄHLTE WEICHEN 50
ABB. 76 – ZONAL STATISTICS TABELLE FÜR AUSGEWÄHLTE WEICHEN 50
ABB. 77 – HEIZUNGEN LIEGEN AUßERHALB DES PUFFERS 51
ABB. 78 – HEIZUNGEN LIEGEN INNERHALB DES PUFFERS 51
ABB. 79 – ABFRAGE DER ZONAL STATISTICS FÜR ALLE WEICHEN IM TESTGEBIET 51
ABB. 80 – ZONAL STATISTICS FÜR ALLE WEICHEN IM TESTGEBIET 52
ABB. 81 – SQL ABFRAGE NACH GRENZWERTEN 53
ABB. 82 – OSTFASSADE RATHAUS (21.03.213) 55
ABB. 83 – SÜDFASSADE RATHAUS (21.03.2013) 55
ABB. 84 – WESTFASSADE RATHAUS (21.03.2013) 55
ABB. 85 – NORDFASSADE RATHAUS (21.03.2013) 55
ABB. 86 – HOT SPOTS AB -3° C, RATHAUS 55
ABB. 87 – HOT SPOTS AB -3° C, RATHAUS 55
ABB. 88 – HOT SPOTS AB 0° C, RATHAUS 56
ABB. 89 – HOT SPOTS AB 0° C, RATHAUS 56
ABB. 90 – HOT SPOTS AB 3° C, RATHAUS 56
ABB. 91 – HOT SPOTS AB 3° C, RATHAUS 56
ABB. 92 – AUSZUG AUS DATENBLATT GRÜNENTORGASSE 31 (WIEN KULTURGUT, VIENNAGIS, 2013) 57
ABB. 93 – SÜDFASSADE, GRÜNENTORGASSE (21.03.213) 58
ABB. 94 – WESTFASSADE, HAHNGASSE (21.03.2013) 58
ABB. 95 – NORDFASSADE, MOSERGASSE (21.03.2013) 58
ABB. 96 – OSTFASSADE, ROßAUER LÄNDE (21.03.2013) 58
ABB. 97 – HOT SPOTS AB -3° C, GRÜNENTORGASSE 59
ABB. 98 – HOT SPOTS AB -3° C, GRÜNENTORGASSE 59
ABB. 99 – HOT SPOTS AB 0° C, GRÜNENTORGASSE 59
ABB. 100 – HOT SPOTS AB 0° C, GRÜNENTORGASSE 59
ABB. 101 – HOT SPOTS AB 3° C, GRÜNENTORGASSE 59
ABB. 102 – HOT SPOTS AB 3° C, GRÜNENTORGASSE 59
ABB. 103 – AUSZUG AUS DATENBLATT KOLINGASSE 9 (WIEN KULTURGUT, VIENNAGIS, 2013) 60
ABB. 104 – SÜD-OST FASSADE, KOLINGASSE (21.03.213) 61
ABB. 105 – SÜD-WEST FASSADE, KOLING. (21.03.2013) 61
ABB. 106 – NORD-WEST FASSADE, KOLING. (21.03.2013) 61
ABB. 107 – NORD-OST FASSADE, KOLING. (21.03.2013) 61
ABB. 108 – HOT SPOTS AB -3° C, KOLINGASSE 61
ABB. 109 – HOT SPOTS AB -3° C, KOLINGASSE 61

ABB. 110 – HOT SPOTS AB 0° C, KOLINGASSE 62
ABB. 111 – HOT SPOTS AB 0° C, KOLINGASSE 62
ABB. 112 – HOT SPOTS AB 3° C, KOLINGASSE 62
ABB. 113 – HOT SPOTS AB 3° C, KOLINGASSE 62
ABB. 114 – VON DER SONNE ERWÄRMTE DACHFLÄCHEN 63
ABB. 115 – VON DER SONNE ERWÄRMTE DACHFLÄCHEN 63
ABB. 116 – ERGEBNIS DER ABFRAGE FÜR WERTE AB 5° C 65
ABB. 117 – MÖGLICHE PROBLEMSTELLE, AKH 66
ABB. 118 – LAGE DER PROBLEMSTELLEN AUF KARTE 66
ABB. 119 – MÖGLICHE PROBLEMSTELLE, MARIA-THERESIEN-STRAßE/ LIECHTENSTEINSTRAßE 66
ABB. 120 – LAGE DER PROBLEMSTELLEN AUF KARTE 66
ABB. 121 – SCHACHT DER FERNWÄRME WIEN GMBH, LIECHTENSTEINSTRAßE 67
ABB. 122 – LAGE DER PROBLEMSTELLE IN DER LIECHTENSTEINSTRAßE 67
ABB. 123 – GLASDACH WIRD ALS PROBLEMSTELLE ANGEZEIGT 67
ABB. 124 – FLÄCHE ENTHÄLT NUTZUNG 60 = „BAUSTELLE“ 67
ABB. 125 – SCHACHT WIRD TROTZ PUFFER NICHT VON ABFRAGE AUSGESCHLOSSEN 68
ABB. 126 – WEICHEN, KLASSIFIZIERT NACH FUNKTION DER HEIZUNGEN 70
ABB. 127 – FUNKTIONIERENDE HEIZUNGEN, NUßDORFERSTR. 71
ABB. 128 – FUNKTIONIERENDE HEIZUNGEN, WIPPLINGERSTR. 71
ABB. 129 – WEICHEN NUßDORFERSTRAßE (21.03.2013) 71
ABB. 130 – WEICHEN WIPPLINGERSTRAßE (21.03.2013) 71
ABB. 131 – SCHWACHE HEIZUNGEN, SCHOTTENRING 71
ABB. 132 – SCHWACHE HEIZUNGEN, SCHOTTENRING 71
ABB. 133 – WEICHEN SCHOTTENRING (21.03.2013) 72
ABB. 134 – WEICHEN SCHOTTENRING (21.03.2013) 72
ABB. 135 – KEINE HEIZUNGEN, WÄHRINGER GÜRTEL 72
ABB. 136 – KEINE HEIZUNGEN, SCHOTTENTOR 72
ABB. 137 – WEICHEN WÄHRINGER GÜRTEL (21.03.2013) 72
ABB. 138 – WEICHEN SCHOTTENTOR (21.03.2013) 72
ABB. 139 – HEIZUNG OHNE EINGEZEICHNETE WEICHEN 73
ABB. 140 – WEICHEN NUßDORFERSTRAßE (21.03.2013) 73

TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1 – RANDBEDINGUNGEN FÜR THERMALAUFNAHMEN 9
TABELLE 2 – WÄRMEVERLUSTKLASSEN DER HEAT LOSS MAP JERSEY, UNVERÄNDERT NACH (STATES OF JERSEY, 2013) 16
TABELLE 3 – DATEN DER THERMALBEFLIEGUNG (STADT WIEN, MA 41 – STADTVERMESSUNG, 2012) 19
TABELLE 4 – TECHNISCHES DATENBLATT TABI-1800, VERÄNDERT NACH (ITRES RESEARCH LIMITED, 2011) 20
TABELLE 5 – FLÄCHENNUTZUNGSKLASSEN IN FLÄCHEN-MEHRZWECKKARTE VERÄNDERT NACH (STADT WIEN, MA 41 – STADTVERMESSUNG, 2012) 23
TABELLE 6 – GENAUIGKEITEN DER LAGE FÜR FERNWÄRMELEITUNGEN 25
TABELLE 7 – NUTZUNGSARTEN, DIE DIE ORTUNG POTENTIELLER PROBLEMSTELLEN VERFÄLSCHEN 41
TABELLE 8 – GRENZWERTE ZUR EINTEILUNG DER WEICHENHEIZUNGEN 52
TABELLE 9 – AUFWANDSSCHÄTZUNG FÜR DIE ERSTELLUNG EINER HEAT LOSS MAP 64
TABELLE 10 – AUFWANDSSCHÄTZUNG FÜR DIE ORTUNG POTENTIELLER PROBLEMSTELLEN IM FERNWÄRMELEITUNGSNETZ 69
TABELLE 11 – AUFWANDSSCHÄTZUNG FÜR DIE ÜBERPRÜFUNG DER STRAßENBAHNWEICHEN-HEIZUNGEN 74

KURZFASSUNG

Die Stadt Wien führte im Februar 2012 eine Thermalbefliegung eines ca. 30 km² großen Gebietes durch. Im Auftrag der Stadt Wien sollten durch Kombination des aufgenommenen Thermalbildes und diverser Geodaten verschiedene Objekte auf Wärmeverluste untersucht werden. Angelehnt an bereits realisierte Projekte im Ausland und durch Analyse der Daten wurden von der Stadt Wien drei Teilfragen formuliert, die im Zuge dieser Arbeit beantwortet werden sollten.

Die Fragen beinhalteten (1) die Erstellung von Wärmeverlustkarten (Heat Loss Maps) für einzelne Gebäude, (2) die Ortung potentieller Problemstellen im Fernwärmeleitungsnetz (Schwachstellen, Isolationsschäden,…) und (3) die Überprüfung der Straßenbahnweichen-Heizungen für ein Testgebiet. Die drei thematischen Auswertungen wurden mit dem Programm ArcGIS 10 – ArcMap (Fa. ESRI) durchgeführt. Die zu untersuchenden Objekte wurden unter Zuhilfenahme verfügbarer digitaler Datensätze selektiert, analysiert und mit dem Thermalbild verschnitten. Innerhalb der damit gewonnen neuen Informationen wurden Hot Spots ausgelesen bzw. die Objekte je nach vorkommenden Temperaturen klassifiziert.

Es stellte sich heraus, dass die Erstellung von Heat Loss Maps und die Überprüfung der Straßenbahnweichen-Heizungen mit den vorhandenen Daten gut durchführbar waren und nur wenige Fehlerquellen enthielten. Die Ortung potentieller Problemstelen im Fernwärmeleitungsnetz war auf Grund fehlender Zusatzinformationen und geometrisch fehlerbehafteter Datensätze (Lageungenauigkeiten im Fernwärmekataster) nur mit einem Mehraufwand realisierbar.

Am Ende der Untersuchungen konnte die Aussage getroffen werden, dass bei einer genauen Planung und dem Vorhandensein aller notwendigen Daten Thermalbilder einen Beitrag zur Ressourcen-Schonung leisten können.

ABSTRACT

In February 2012 the City of Vienna implemented a thermal scan flight for an area of 30 km². On behalf of the City of Vienna different objects within the thermal image should be examined for heat losses by combing the thermal image with different geo data. Based on already realized foreign projects and the analysis of the data three research questions were defined by the City of Vienna. Answers to these questions should be given based on investigations outlined in the current thesis.

The research questions included (1) the creation of Heat Loss Maps for individual buildings, (2) the localization of potential leaks in the district heating network and (3) the inspection of the tram-switch heating units within a previously defined test area. The queries were carried

out by the program ArcGIS 10 – ArcMap (Co. ESRI). The investigated objects were selected and analysed by using available digital data sets and intersected with the thermal image. Within the new acquired information Hot Spots were selected and/or objects were classified by their occurring temperatures.

It could be figured out, that the creation of Heat Loss Maps and the inspection of the tram-switch heating units could be implemented easily and with a high reliability. Due to missing additional information and geometrically inaccurate data (position inaccuracy in the heating network cadastre) the location of potential leaks in the district heating system was labour-intensive.

At the end of the investigation it could be stated, that by accurate planning and the availability of additionally required data sets, thermal images are able to contribute in preserving resources.

1 EINLEITUNG

Die weltweite Ressourcenknappheit und die immer höher steigenden Preise für fossile Energieträger werfen auf privater wie auf politischer Ebene die Frage nach mehr Energieeffizienz auf. Verbesserungen und Innovationen bei Maschinen, der Umstieg auf erneuerbare Energieformen und die Bewusstseinsbildung der Bevölkerung sind erste Versuche, sich diesem Problem zu stellen. Ein Bereich, in dem Energieeffizienz noch heute nicht vollständig erreicht ist, sind Wärmeverluste durch schlecht gedämmte Gebäude oder unentdeckte Problemstellen im Fernwärmeleitungsnetz. Die Untersuchung auf Mängel vor Ort ist zeitaufwändig sowie kostenintensiv und führt zu keiner flächendeckenden Lösung. Eine Alternative stellt seit einigen Jahren die Thermalbildaufnahme durch Satelliten oder Flugzeuge dar. Auf der ganzen Welt werden heute Thermalbilder für naturwissenschaftliche Fragestellungen genutzt und es werden damit gute Ergebnisse erzielt (KUENZER, et al., 2007) (WENG, 2009). In Kanada und mehreren Städten Europas werden Thermalbilder bereits für die Feststellung von Wärmeverlusten von Gebäuden verwendet. (HAY, et al., 2010) (European Regional Development Fund, 2012)

Am 01. Februar 2012 führte die Magistratsabteilung 41 – Stadtvermessung der Stadt Wien (im Folgenden auch kurz „MA 41“ genannt) eine erstmalige Winter-Thermalbefliegung eines 30 km² großen Gebietes im Nord-Osten von Wien durch. Verwendet wurde hierfür der TABI-1800 Sensor der kanadischen Firma ITRES bei einer Flughöhe von ca. 500 m. Die Befliegung dauerte von 05:50 bis 07:20 Uhr. Die bei der Befliegung gewonnenen Thermaldaten stellen den Ausgangspunkt dieser Arbeit dar. Diese Daten sollen in einem ersten Versuch in Bezug auf Energieverluste ausgewertet und die resultierenden Ergebnisse auf ihren Nutzen für die Stadt Wien untersucht werden. Als Randbedingungen gelten die Jahres- und Tageszeit während der Aufnahme, das Fehlen von örtlichen Referenzdaten und weiteren Aufnahmen.

Unter diesen Randbedingungen wurden von der MA 41 drei Teilfragen formuliert. Diese Teilfragen beinhalten die Erstellung einer Wärmeverlustkarte (Heat Loss Map) für einzelne Gebäude zur Auffindung von Wärmebrücken innerhalb der Dächer und entlang der Fassaden, die Ortung von Problemstellen im Fernwärmeleitungsnetz und eine Funktionskontrolle der Straßenbahnweichen-Heizung für ein Testgebiet von Wien.

Mit dieser Arbeit soll die Frage beantwortet werden, ob die Verwendung von Thermalbildern der Stadt Wien einen Nutzen bringt. Vor allem im Bereich der Energieeffizienz erhofft sich die Stadt Wien neue Erkenntnisse. Die im Zuge dieser Arbeit erhaltenen Erkenntnisse und Ergebnisse werden von der Stadt Wien übernommen und bei Bedarf weiterverfolgt.

2 ZIEL DER ARBEIT

Die im Februar 2012 aufgenommenen Thermaldaten der Stadt Wien sollen in dieser Arbeit für verschiedene Anwendungen getestet werden. Ob sich die Verwendung von Thermalbildern für die Stadt Wien rentiert, richtet sich nach drei Gesichtspunkten:

- Wie viel Informationen kann man aus den bereitstehenden Daten gewinnen?
- Stellen diese Informationen einen Beitrag zur Förderung der Energieeffizienz dar?
- Wie groß ist der Aufwand um die Thermalbilder nutzbringend auszuwerten?

Im Zuge dieser Arbeit wird versucht, die drei Fragestellungen für die vorliegenden Daten zu beantworten. Die Aufwandsschätzung wird im Anschluss an jede durchgeführte Abfrage einzeln durchgeführt.

Am Beginn der Arbeit steht die Aufbereitung der relevanten Literatur (Kapitel „Theoretische Grundlagen“) sowie die Recherche nach bereits realisierten Projekten für städtische Gebiete. Kapitel 5 bis 7 befassen sich mit folgenden, von der MA 41 formulierten, Teilfragen:

(1) Erstellen einer Wärmeverlustkarte (Heat Loss Map) für einzelne Gebäude zur Auffindungen von Wärmebrücken innerhalb der Dächer und entlang der Fassaden,
(2) Ortung von potentiellen Problemstellen im Fernwärmeleitungsnetz und
(3) Überprüfung der Straßenbahnweichen-Heizungen auf Ausfälle.

Die Thermalbildaufnahme erfolgte nur zu einem Zeitpunkt, daher ist ein Vergleich über mehrere Zeiträume nicht möglich. Es wurden zum Aufnahmezeitpunkt auch keine in situ Temperaturmessungen am Boden durchgeführt.

Um den Rechenaufwand für die Untersuchungen zu minimieren, werden die Abfragen nicht für das gesamte Thermalbild durchgeführt. Zu diesem Zweck wird im Vorfeld ein geeignetes Testgebiet aus der Thermalbildaufnahme ausgewählt. Das Kriterium für die Auswahl des Testgebietes richtet sich nach der Sichtbarkeit relevanter Temperaturunterschiede. Für dieses Gebiet sollen im Anschluss drei voneinander unabhängige Untersuchungen durchgeführt werden. Die dafür benötigten Geodaten werden nur für das Testgebiet bereitgestellt, was wiederrum die Datenmenge reduziert.

Die Resultate werden getrennt auf ihre Verwendbarkeit für die Stadt Wien untersucht und im Kapitel „Ergebnisse und Diskussion“ bewertet. Die am Ende der Arbeit beantworteten und offenen Fragen sowie die Möglichkeiten zur weiteren Forschung werden im Kapitel „Schlussfolgerung und Ausblick“ genauer beschrieben.

3 THEORETISCHE GRUNDLAGEN

Nach ALBERTZ ist jedes Bild „…das Ergebnis eines Abbildungsprozesses, dem sowohl geometrische als auch radiometrische (physikalische) Aspekte zugrunde liegen." (ALBERTZ, 2007 S. 1) Einfach gesagt bedeutet das, dass jedes aufgenomme Bild eines Körpers von dessen geometrischer Form und der von ihm reflektierten bzw. emittierten Strahlung bestimmt wird. Diese Strahlung kann für das menschliche Auge sichtbar oder nicht sichtbar sein. Je nach dem aufzuzeichnenden Teil des elektromagnetischen Spektrums muss für die Aufnahme ein geeigneter Sensor, auch Detektor genannt, verwendet werden. Diese Sensoren können in der Fernerkundung satelliten- oder flugzeuggetragen sein. Während aktive Systeme (z.B. Radar) künstlich Strahlung abgeben und das an der Erdoberfläche reflektierte Signal messen, nutzen passive Systeme (z.B. Thermalstrahlung) die Eigenstrahlung von Objekten, bzw. die von der Erdoberfläche refelktierte Sonnentrahlung. (ALBERTZ, 2007) Das Verfahren, um die für das menschliche Auge nicht wahrnehmbare Thermalstrahlung sichtbar zu machen, bezeichnet man als Thermographie.

3.1 Thermalstrahlung

Laut LILLESAND et al. (2008) versteht man unter dem Begriff Thermalstrahlung jene Strahlung, die Körper auf Grund ihrer Oberflächentemperatur abgeben (emittieren). Jede Oberfläche mit einer Temperatur über 0° K (-273,15° C) gibt Strahlung ab. Die Thermalstrahlung liegt bei auf der Erde herrschenden Temperaturen in einem Spektralbereich von 3 bis etwa 20 μm, dem Mittleren und Fernen Infrarot, und ist für das menschliche Auge unsichtbar. Zum Vergleich: Sichtbares Licht liegt in einem Spektralbereich von 0,4 bis 0,7 μm. Um störende Einflüsse durch die Atmosphäre zu minimieren, werden für Messungen sogenannte atmosphärische Fenster verwendet. Sie liegen im Bereich von 3 bis 5 μm und 8 bis 14 μm und werden im Weiteren genauer erklärt. (LILLESAND, et al., 2008)

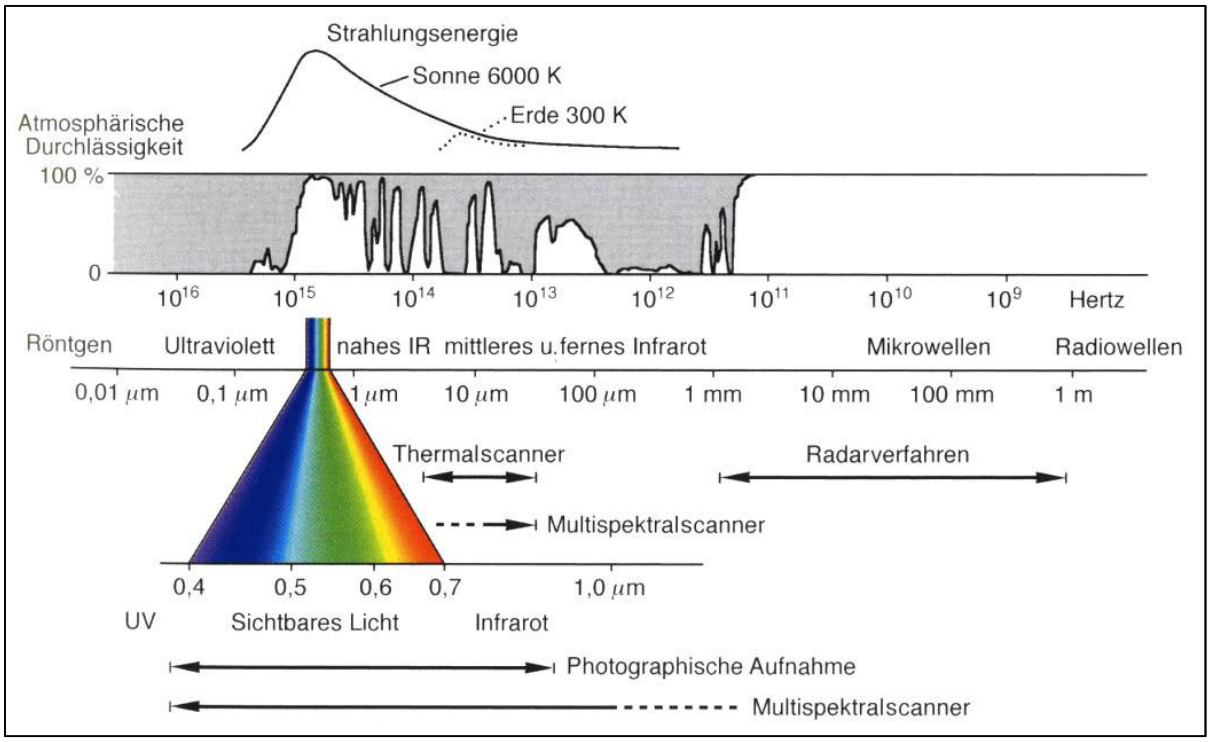


Abb. 1 – Elektromagnetisches Spektrum, unverändert nach (ALBERTZ, 2007 S. 11)

Nach ALBERTZ (2007) kann das Strahlungsverhalten an der Grenzfläche zweier Medien in 3 Bereiche eingeteilt werden: Reflexion (Rückstrahlung), Absorption (Aufnahme) und Transmission (Durchlässigkeit). Die 3 Strahlungsanteile zusammengezählt ergeben den Wert 1 und sind somit eindeutig bestimmbar. Bei der thermalen Strahlung von Objekten ist es schwieriger, die genaue Oberflächentemperatur, auch kinematische Temperatur genannt, festzustellen.

Dem *Kirchhoffschen Gesetz* zu Folge emittiert (ausstrahlen) ein Körper bei gegebener Wellenlänge die gleiche Menge an Strahlung, die er davor absorbiert (aufnehmen) hat. Streng genommen gilt diese Annahme nur für den *idealen schwarzen Körper*. Dieser nimmt alle Strahlung auf und gibt, abhängig von seiner Temperatur, diese Strahlung wieder vollständig ab. Objekte in der Natur geben je nach Material etwas weniger Strahlung ab. Dieses Verhältnis nennt sich Emissionsgrad. Nach Kirchhoff kann aber die Aussage getroffen werden, dass Körper, die viel Strahlung aufnehmen, auch viel Strahlung abgeben. (ALBERTZ, 2007)

3.1.1 Materialeigenschaften (Emissionsgrade)

In der Natur vorkommende Oberflächen emittieren weniger Strahlung als der ideale schwarze Körper, je nach Material und Wellenlänge. Das Verhältnis zwischen der emittierten Strahlung des untersuchten Körpers und der emittierten Strahlung eines idealen schwarzen Körpers bei gleicher Temperatur wird Emissionsgrad ε genannt. (ALBERTZ, 2007)

$$Emissionsgrad\ \varepsilon = \frac{\text{Emittierte Strahlung natürlicher Körper}}{\text{Emittierte Strahlung idealer schwarzer Körper}}$$ Formel 1

Eine Auswahl verschiedener Emissionsgrade liefern LILLESAND et al.:

TABLE 5.3 Typical Emissivities of Various Common Materials over the Range of 8–14 μm

Material	Typical Average Emissivity ε over 8–14 μm[a]
Clear water	0.98–0.99
Wet snow	0.98–0.99
Human skin	0.97–0.99
Rough ice	0.97–0.98
Healthy green vegetation	0.96–0.99
Wet soil	0.95–0.98
Asphaltic concrete	0.94–0.97
Brick	0.93–0.94
Wood	0.93–0.94
Basaltic rock	0.92–0.96
Dry mineral soil	0.92–0.94
Portland cement concrete	0.92–0.94
Paint	0.90–0.96
Dry vegetation	0.88–0.94
Dry snow	0.85–0.90
Granitic rock	0.83–0.87
Glass	0.77–0.81
Sheet iron (rusted)	0.63–0.70
Polished metals	0.16–0.21
Aluminum foil	0.03–0.07
Highly polished gold	0.02–0.03

[a]Emissivity values (ordered from high to low) are typical average values for the materials listed over the range of 8–14 μm. Emissivities associated with only a portion of the 8–14-μm range can vary significantly from these values. Furthermore, emissivities for the materials listed can vary significantly, depending on the condition and arrangement of the materials (e.g., loose soil vs. compacted soil, individual tree leaves vs. tree crowns).

Abb. 2 – Emissionsgrade nach Material (LILLESAND, et al., 2008 S. 359)

LILLESAND et al. (2008) sagen weiter, dass die Emissionsgrade verschiedener Materialien je nach Wellenlänge variieren und daher als Bereiche angegeben werden. Für Fragestellungen, die keine hohe Genauigkeit benötigen, können die Emissionsgrade ≈ 1 bzw. für eine allgemeine Korrektur ≈ 0,95 gesetzt werden. Man erhält die sogenannte Strahlungstemperatur. Werden hohe Genauigkeiten verlangt, müssen die Aufnahmen radiometrisch korrigiert werden. Zu diesem Zweck müssen mit einem z.B. handgetragenen, vorher kalibrierten, Infrarotthermometer zeitgleich Messungen am Boden durchgeführt werden. Dabei werden die Temperaturen von Objekten mit bekanntem Emissionsgrad (bestimmtes Material) gemessen

und später mit den satelliten- bzw. flugzeuggetragenen Aufnahmen verglichen. Um die Temperatur eines Körpers zu berechnen, müssen immer die Strahlungstemperatur und der zugehörige Emissionsgrad bekannt sein.

Die meisten Fragestellungen der Fernerkundung behandeln großräumige Temperaturunterschiede und können daher ohne genaue Korrekturen der aufgenommenen Strahlungstemperaturen untersucht werden. (LILLESAND, et al., 2008) Einzige Ausnahme bilden Aufnahmen von Objekten aus Metall, da diese einen sehr niedrigen Emissionsgrad aufweisen und daher korrigiert werden sollten (siehe Abb. 2).

3.2 Thermalbildaufnahme

Die ersten Thermal-Detektoren gab es laut CAMPBELL (2002) vor den 1940ern, wo sie vor allem im Labor eingesetzt wurden. Sie erkannten Unterschiede in der Wärmestrahlung durch Änderungen im elektrischen Widerstand des zu untersuchenden Objektes. Diese Geräte waren für einzelne Objekte konzipiert und für großflächige Anwendungen ungeeignet. Nach 1940 wurden Detektoren entwickelt, die für die Fernerkundung eingesetzt werden konnten. (CAMPELL, 2002)

Heute werden Thermalbilder mit sogenannten Thermal-Scannern aufgenommen. LILLESAND et al. beschreiben diese wie folgt: "…a thermal scanner is merely a particular kind of multispectral scanner, namely, one whose detector(s) only senses in the thermal portion of the spectrum." (LILLESAND, et al., 2008 S. 352) Demnach funktionieren Thermal-Scanner ähnlich wie Multispektralscanner, mit dem Unterschied, dass sie nur im Thermalbereich Daten aufzeichnen.

3.2.1 Kalibrierung und Störfaktoren

Vor Beginn der Messung muss das Aufnahmegerät kalibriert werden. Das geschieht mittels internen Referenzobjekten. LILLESAND et al. (2008 S. 375) bezeichnen dieses Verfahren als "Internal Blackbody Source Referencing". Während der Aufnahmen werden im Sichtfeld des Detektors zwei temperierte schwarze Körper so positioniert, dass der Detektor bei jeder Messung zuerst den kalten Körper, dann das Gelände und am Ende den warmen Körper aufnimmt. Die Temperaturen der beiden Körper (gleicher/ähnlicher Emissionsgrad) stellen das Minimum und Maximum der Temperaturskala dar und sind entweder kälter oder wärmer als das aufgenommene Gelände. (LILLESAND, et al., 2008)

Wie in Kapitel 3.1 erwähnt, werden Thermalaufnahmen in den Bereichen von 3 bis 5 μm und 8 bis 14 μm durchgeführt, um Störungen durch atmosphärische Effekte zu minimieren. Diese Störungen können durch Gase oder feine Partikel verursacht werden, die von der Erdober-

fläche bzw. Sonne emittierte Strahlung absorbieren und streuen. Zwischen 3 und 14 μm besitzt die Atmosphäre ihre geringste Absorptionsfähigkeit. Thermalbildaufnahmen in diesen Bereichen werden hier nur wenig bis gar nicht beeinflusst. Damit die Messungen nicht durch die Eigentemperatur des Sensors verzerrt werden, wird er mit flüssigem Stickstoff tiefgekühlt und vor Beginn der Messung auf diese Temperatur kalibriert. (LILLESAND, et al., 2008)

3.2.2 Messablauf

Den Messablauf beschreiben LILLESAND et al. (2008 S. 354) folgendermaßen: “Thermal IR radiation from the ground (1) is received at the rotating scanner mirror (2). Additional optics (3) focus the incoming energy on the thermal radiation detector (4), which is encased by a dewar filled with a liquid nitrogen coolant. The detector converts the incoming radiation level to an electric signal (5) that is amplified by the system electronics (6). The signal (or an image) is displayed on the monitor and recorded digitally on a line-by-line basis after an A-to-D conversion.” Frei übersetzt bedeutet dies, dass die thermale Infrarotstrahlung über Spiegel einem mit Stickstoff gekühlten Detektor zugeführt wird. Dieser wandelt die Strahlungsintensität in ein elektrisches Signal um. Das Signal, verstärkt durch die Systemelektronik, wird auf einem Bildschirm dargestellt und nach einer Analog-zu-Digital Konvertierung Zeile für Zeile digital gespeichert. Es entsteht ein digitales Bild.

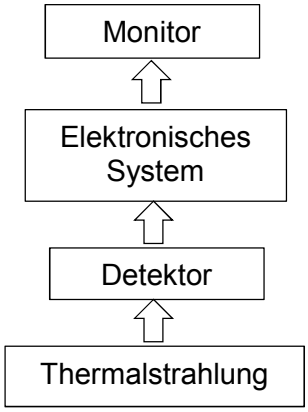


Abb. 3 – Schematischer Ablauf der Thermalbildaufnahme

Die Empfindlichkeit des Detektors entscheidet darüber, welche Temperaturunterschiede wahrgenommen werden können. Geringe Empfindlichkeiten führen zu einem Genauigkeitsverlust, da sie nur große Temperaturunterschiede wahrnehmen. (LILLESAND, et al., 2008) Bei genauen Fragestellungen ist darauf zu achten, dass der Detektor über die notwenige Empfindlichkeit verfügt.

3.2.3 Pre-processing der Thermaldaten

Nach der Messung kann das aufgenommene Bild nicht direkt verwendet werden. Wie jede Aufnahme aus der Luft ist das Bild auf Grund der Aufnahmegeometrie und der unterschiedlichen Objekthöhen geometrisch verzerrt und muss vor der weiteren Verwendung entzerrt werden.

Die Genauigkeit der Entzerrung hängt vor allem von der Genauigkeit des verwendeten Modells ab. Für die Orthorektifizierung[1] bzw. Georeferenzierung sind die Kenntnis der Sensorgeometrie (innere Orientierung), die Lage des Sensors in Bezug auf das übergeordnete Referenzkoordinatensystem (äußere Orientierung) sowie Digitale Höhenmodelle (DHM) notwendig. Als DHM können Digitale Oberflächen Modelle (DOM) oder Digitale Gelände Modelle (DGM) verwendet werden.

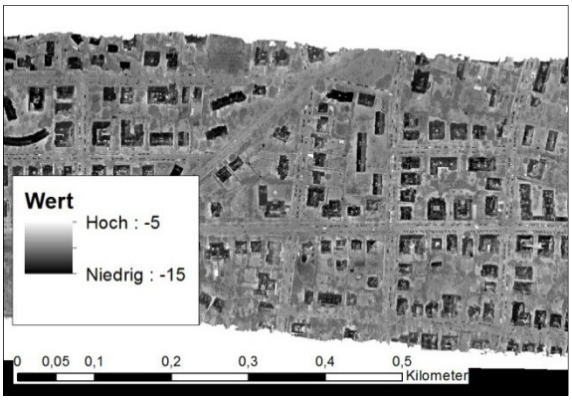


Abb. 4 – Orthorektifizierter Einzelflugstreifen (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2012)

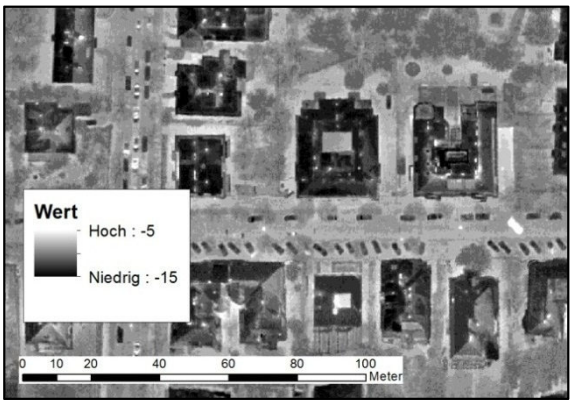


Abb. 5 – Orthorektifizierter Einzelflugstreifen (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2012)

Je nach Fragestellung muss das richtige Modell ausgewählt werden. Bei beiden Methoden (Entzerrung mittels DOM bzw. DGM) werden nach der Orthorektifizierung nur jene Bildpunkte lagerichtig dargestellt, die genau auf der Modellebene liegen. Für z.B. Aufnahmen des Bodens sollte die Korrektur mittels DGM durchgeführt werden, da Boden und Gelände auf der gleichen Ebene liegen. Bei der Verwendung eines DGM wird das Gelände richtig entzerrt, Objekte auf bzw. unter Gelände erhalten jedoch einen Kipp-Effekt. Dadurch ist es möglich, dass z.B. Fassaden von Häusern nicht mehr sichtbar sind oder doppelt dargestellt werden. Bei Verwendung eines DOM werden Objekte über Geländehöhe aufgerichtet und lagerichtig dargestellt, jedoch werden die Bereiche hinter den aufgerichteten Objekten mit interpolierten Werten gefüllt, da an dieser Stelle keine originalen Bilddaten vorhanden waren.

[1] Orthorektifizierung = Korrektur von geländebedingten Verzerrungen, die während der Aufnahme entstanden sind. (Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, 2013).

Dadurch kann es zu Doppelabbildungen oder Bereichen ohne Daten im entzerrten Bild kommen. Meistens sind auf einem Bild sowohl Boden als auch höhere Objekte abgebildet. Hier gilt es zu entscheiden, bei welcher Methode mit geringeren Lagefehlern zu rechnen ist. (Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten (Hrsg.), 2012)

3.2.4 Randbedingungen

Je nach Anwendung kann diese auf Grund der Jahreszeit, der Tageszeit, der geforderten Auflösung und der gewünschten Wiederholung unterschiedlich sein (siehe Tabelle 1). Im Folgenden werden zwei Beispiele aufgezeigt.

Anwendung	Jahreszeit	Tageszeit	Mind. Erf. Anzahl an Aufnahmen	
Heat Loss Map	Winter	Nacht	1	(SAVELYEV, et al., 2008)
Urban Heat Island	Sommer	Mittag	> 2	(VOOGT, et al., 2003)

Tabelle 1 – Randbedingungen für Thermalaufnahmen

Da das thermale Infrarot zu den passiven Systemen zählt und kein Tageslicht benötigt, können die Aufnahmen auch bei Nacht durchgeführt werden. Manche Fragestellung, z.B. das Erstellen einer Heat Loss Map (siehe Kapitel 4.1), setzen Nachtaufnahmen voraus. Auch die Beschaffenheit der aufzunehmenden Oberfläche spielt eine Rolle. Der Temperaturverlauf von z.B. Wasser variiert weniger stark als der von festen Oberflächen. Durch die verzögerte Erwärmung ist das Wasser untertags kühler als das Festland, nachts ist das Wasser wärmer.

Die richtige Planung, Vorbereitung und Ausführung der Messung sind daher Voraussetzung für eine ordnungsgemäße Untersuchung der Fragestellung. (LILLESAND, et al., 2008)

4 VERWENDUNG VON THERMALBILDERN (GOOD PRACTICE)

Während der Einsatz von Thermalbildern viele Jahre eine Nischenposition in der Fernerkundung innehatte, finden sich heute eine ganze Reihe von Anwendungsgebieten. LILLESAND et al. (2008) benennen folgende Anwendungen:

- Geologische Gesteinskartierung,
- Auffinden von geologischen Bruchkanten,
- Kartierung von Bodentypen und Bodenfeuchtigkeit,
- Untersuchung der Verdunstung von Vegetation,
- Lokalisierung von Geysiren,
- Lokalisieren von Kaltwasserquellen,
- Auffinden von Problemstellen in Bewässerungskanälen,
- Untersuchung der natürlichen Zirkulation in Gewässern,
- Bestimmen der thermalen Charakteristik von Vulkanen,
- Auffinden von Bränden in Kohleabbaugebieten oder Deponien sowie
- Untersuchung der Ausbreitung von Waldbränden.

In Zeiten des Klimawandels und Ressourcenknappheit geht der Trend neben naturwissenschaftlichen Untersuchungen auch hin zu ökologischen und ökonomischen Fragestellungen. Verschiedene Anwendungen in städtischen Gebieten wurden in Form von Projekten bereits durchgeführt. Dazu zählen:

- Aufzeigen von Städtischen Wärmeinseln (VOOGT, et al., 2003),
- Erstellen von Wärmeverlustkarten (Heat Loss Maps) (HAY, et al., 2010),
- Auffinden von Lecks in Fernwärmeleitungen (SAVELYEV, et al., 2008) und
- Untersuchung des Stadtklimas in Abhängigkeit von Bebauung und Begrünung (WENG, 2009).

Für diese Arbeit relevant sind Anwendungen thermaler Datensätze, welche sich in städtischen Gebieten realisieren lassen und für welche auch die für die Bearbeitung zusätzlich benötigten Geo-Fachdaten verfügbar sind. Nur diese Anwendungen werden in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt.

4.1 Wärmeverlustkarten – Heat Loss Maps

Die Idee hinter den Heat Loss Maps ist relativ einfach: Mittels Thermalbildern von besiedelten Gebieten wird festgestellt, wie viel Wärme von Häusern auf Grund unzureichender oder

fehlender Isolation verloren geht. Einerseits werden Wärmebrücken innerhalb der einzelnen Dächer aufgezeigt, andererseits werden die Häuser anhand der ihrer Wärmeverluste innerhalb einer definierten Nachbarschaft verglichen.

Dieses Wissen kann den Bewohnern kostenfrei über das Internet zugänglich gemacht werden und soll dazu beitragen, dass die Bewohner Maßnahmen ergreifen um Wärmeverluste zu minimieren. Damit wird regional CO_2 reduziert und der Energieverbrauch gesenkt.

4.1.1 HEAT

Ein Projekt, das sich diesem Thema angenommen hat, nennt sich laut Geoffrey HAY, dem Gründer des Projektes, *Home Energy Assessment Technologies*, kurz *HEAT* genannt. 2006 wurde in einem Pilotprojekt die Ortschaft Brentwood in Calgary, Alberta, Canada mit einem TABI-320 Sensor der Firma ITRES aufgenommen und das offizielle Projekt 2008 mit dem Namen *HEAT* gegründet. (HAY, 2011) Das Untersuchungsgebiet umfasst 358 Gebäude, die zwischen 1961 und 1965 gebaut wurden. (HAY, et al., 2010)

Nach HAY besteht das System der Heat Loss Map aus 4 Komponenten: Geodatabase, Image Processing, Web Server, Web Browser. Das Extrahieren der Gebäude aus den bestehenden Katasterdaten wurde mittels *GEOBIA* (Geographic Object based Image Analysis) durchgeführt. (HAY, et al., 2010) Der Zugang zum Projekt HEAT erfolgt über die kostenlose Website www.saveheat.co. Durch die Überlagerung des Thermalbildes mit Google Maps kann der Benutzer nach seiner Adresse suchen und sieht das Gebäude in einer von 10 Farbklassen (blau bis rot) eingefärbt.

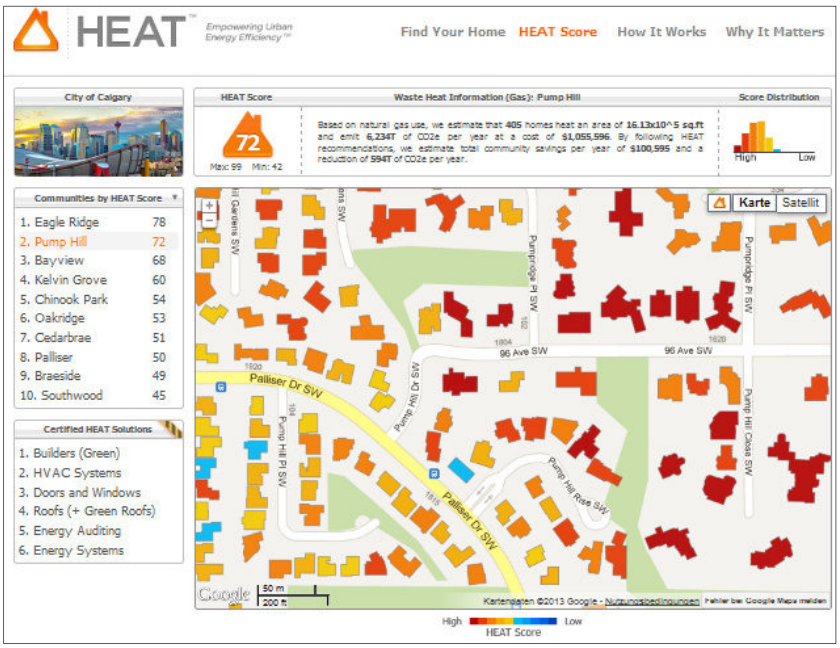


Abb. 6 – *Heat Score*, ermittelt nach mittlerer Dachtemperatur (HAY, 2011)

Die Farbe richtet sich nach dem sogenannten *Heat Score* des Hauses. Dieser liegt zwischen 0 und 100 und wird über die mittlere Temperatur des Hauses berechnet. Häuser mit niedrigem Heat Score werden blau, Häuser mit hohem Heat Score rot dargestellt. Der Heat Score wird nach HAY wie folgt berechnet:

$$z\text{-score} = (x-\mu)/\sigma \qquad \text{(HAY, 2011)} \qquad \text{Formel 2}$$

X stellt die mittlere Dachtemperatur, μ den Durchschnitt aller Dachtemperaturen im Untersuchungsgebiet und σ die Standardabweichung der mittleren Dachtemperatur vom Durchschnitt aller Dachtemperaturen im Untersuchungsgebiet dar. Der Z-Score nimmt an, dass die Temperaturwerte einer Standard-Normalverteilung gehorchen. Es wird angenommen, dass 99 % der Werte zwischen -3,49 und 3,49 σ liegen. Der Z-Score wird proportional zu einer Skala von 0 bis 100 konvertiert und repräsentiert somit den Heat Score für jedes Haus. (HAY, 2011)

$$\text{HEAT Score} = (\text{z-score of an item} - (-3.49))/(3.49-(-3.49)) \times 100 \qquad \text{(HAY, 2011)} \qquad \text{Formel 3}$$

$$\text{HEAT Score} = (\text{z-score}+3.49)/6.98 \times 100 \qquad \text{(HAY, 2011)} \qquad \text{Formel 4}$$

Dadurch lassen sich Vergleiche zwischen mehreren Häusern aufstellen oder eine allgemeine Aussage über den Grad an Energieeffizienz innerhalb einer Gemeinde treffen. (HAY, et al., 2010) Die Heat Score Klassen werden auf den nächsten Grafiken dargestellt.

HEAT Score	Relative Waste Heat Description
90-100	Very High
75-89	High
50-74	Moderately High
25-49	Moderately Low
10-24	Low
0-9	Very Low

Abb. 7 – Heat Score Klassen nach HAY (HAY, 2011)

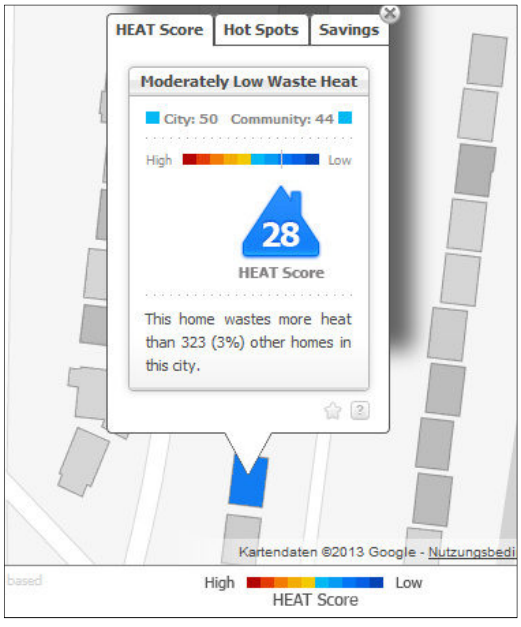


Abb. 8 – Heat Score für ein Haus mit gemäßigten Wärmeverlusten (HAY, 2011)

Durch ein Klicken auf das Gebäude wird der Temperaturverlauf über das Dach dargestellt und die 3 höchsten Werte, sogenannte *Hot Spots*, eingekreist. Durch eine Verknüpfung der

Karte mit Google Street View können die Hot Spots genauer lokalisiert werden. Ein weiteres Tool schätzt die möglichen Ersparnisse durch Dämmungsmaßnahmen oder die daraus resultierende Einsparung von CO_2 ab.

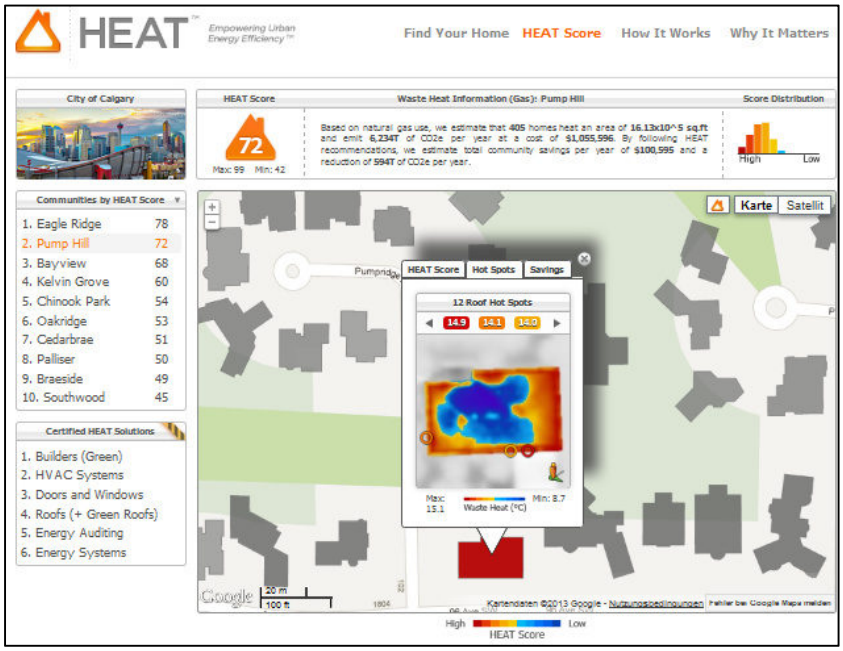


Abb. 9 – Temperaturverlauf eines Daches mit Hot Spots (HAY, 2011)

Das Unternehmen sagt über sich selbst: “HEAT's mission is to show 'what urban energy efficiency looks like', 'where it is located', 'what it costs' and 'what to do about it'. “ (HAY, 2011)

4.1.2 ENERGY CITY

Ein weiteres Projekt, das sich mit Heat Loss Maps beschäftigt, nennt sich *ENERGY CITY.* Laut dem European Regional Development Fund werden im Auftrag der Europäischen Union 7 Städte in Zentraleuropa aufgenommen und mit einem webbasierten Entscheidungsunterstützungssystem bearbeitet. Dadurch soll es möglich werden Energieeffizienz und Potential verschiedener erneuerbarer Energieformen miteinander zu vergleichen. Das Projekt umfasst die Städte Bologna (I), Budapest (HU), Ludwigsburg (D), München (D), Prag (CZ), Treviso (I) und Velenje (SI). (European Regional Development Fund, 2012)

BITELLI & CONTE beschrieben im Oktober 2011 bei den *17. Building Services, Mechanical and Building Industry Days* den Arbeitsablauf von der Datenaufbereitung zur fertigen Heat Loss Map. Als erster Schritt wurden von den untersuchten Städten Infrarotaufnahmen aus der Luft sowie Vergleichsmessungen am Boden gemacht. Ebenso wurden Hyperspektraldaten aufgenommen. Für die Heat Loss Maps sollte nicht mit den Strahlungstemperaturen, sondern mit den korrigierten Oberflächentemperaturen der Gebäude gearbeitet werden. Um

die Thermalaufnahmen zu korrigieren (geometrisch, radiometrisch, etc.), waren folgende zusätzliche Daten notwendig:

- Digitale Stadtkarte (hochauflösend, Haupt-Layer im Web-GIS),
- Gebäudeattribute in Vektordatensatz (für Sensor-Modell und Gebäude-Modell),
- Digitales Gelände/Oberflächen-Modell (hochauflösend, für Orthorektifizierung),
- GNSS[1] Daten (Durchführung der externen Orientierung, Post Processing),
- Atmosphärische Aufnahmen (für energetische Modelle und radiometrische Korrektur) und
- Satellitenbilder. (BITELLI, et al., 2011)

Die mit dem Sensor aufgenommenen Strahldichten (Pseudotemperaturen) wurden nach dem Planck'schen Gesetz in Strahlungstemperaturen umgerechnet. Mit den GNSS Daten und dem DGM wurden die Orthorektifizierung sowie das Zusammenfügen der Bildstreifen durchgeführt. Das entstandene Orthomosaik wurde mit einem Atmosphärischen Modell und Materialspezifischen Daten radiometrisch korrigiert. Mit den Emissionsgraden konnten die Strahlungstemperaturen in Oberflächentemperaturen umgerechnet werden. Der genaue Arbeitsablauf, um von den Strahldichten die korrigierten Oberflächentemperaturen der Gebäude zu erhalten, wird nach BITELLI & CONTE wie folgt dargestellt:

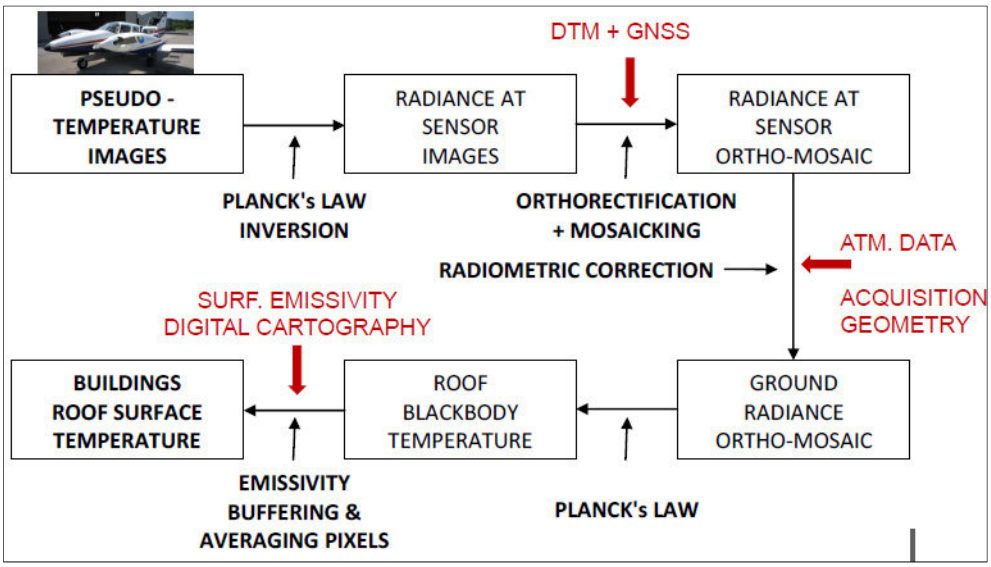


Abb. 10 – Arbeitsablauf zur Berechnung von Oberflächentemperaturen, unverändert nach (BITELLI, et al., 2011 S. 17)

[1] GNSS = Globales Navigationssatellitensystem. Dient der Positionsbestimmung auf der Erde.

Durch die aus Heat Loss Maps gewonnenen Erkenntnisse sollen gezielt Energiesparmaßnahmen gesetzt und neue Strategien zur Vermeidung von Energieverlusten und erhöhtem CO_2 Ausstoß entwickelt werden. (European Regional Development Fund, 2012)

4.1.3 Kommerzielles Beispiel einer Wärmeverlustkarte – Heat Loss Map Jersey (UK)

Die Regierung von Jersey (UK) ließ im Jahr 2011 eine Thermalbefliegung der Insel durchführen, um mit den Daten eine Heat Loss Map für die Insel zu erstellen. Die Verschneidung von Thermalbild und Karte geschah in Zusammenarbeit von *States of Jersey Energy Efficiency Service*, *Jersey Climate Action Network* und *Jersey Electricity*. (BBC, 2011)

Der Zugang zur fertigen Heat Loss Map von Jersey führt über die offizielle Regierungs-Homepage www.gov.je, die auf der folgenden Grafik dargestellt wird.

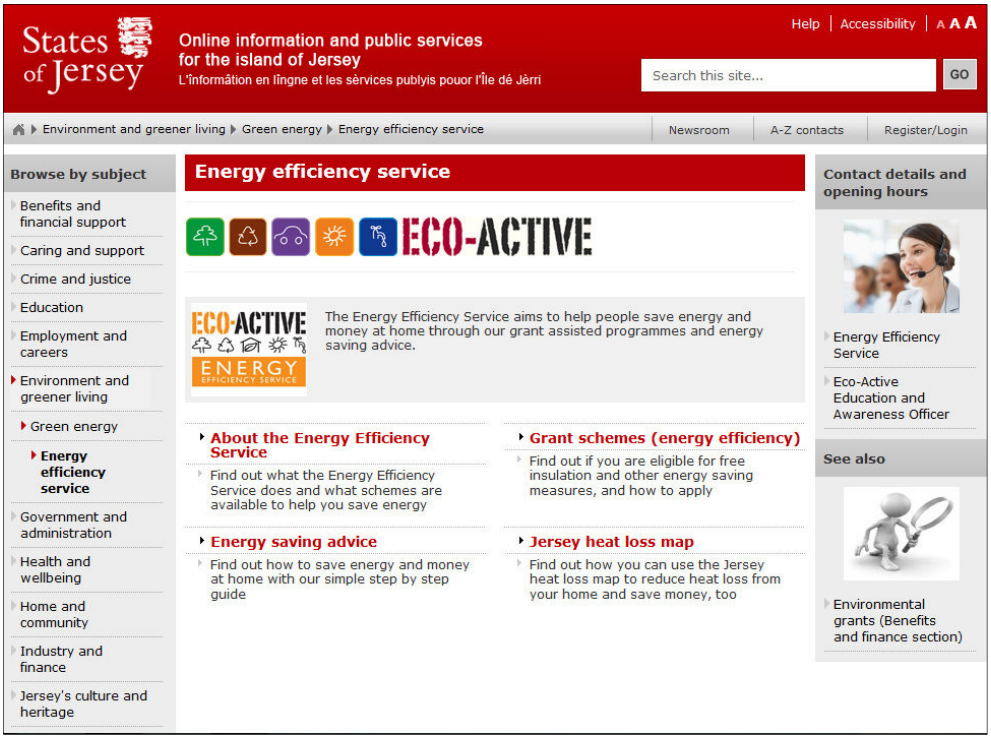


Abb. 11 – Homepage der Regierung von Jersey (States of Jersey, 2013)

Über den Menüpunkt “Energy efficiency service” und dem Link “Jersey Heat Loss Map” gelangt man zur Heat Loss Map der Insel Jersey. Die Gebäude werden hier in vier verschiedene Wärmeverlustklassen eingeteilt, die Werte reichen von hoch (rot) bis niedrig (grün). Für die Klassifizierung wurden die Strahlungstemperaturen verwendet. Einen Überblick liefert die folgende Grafik.

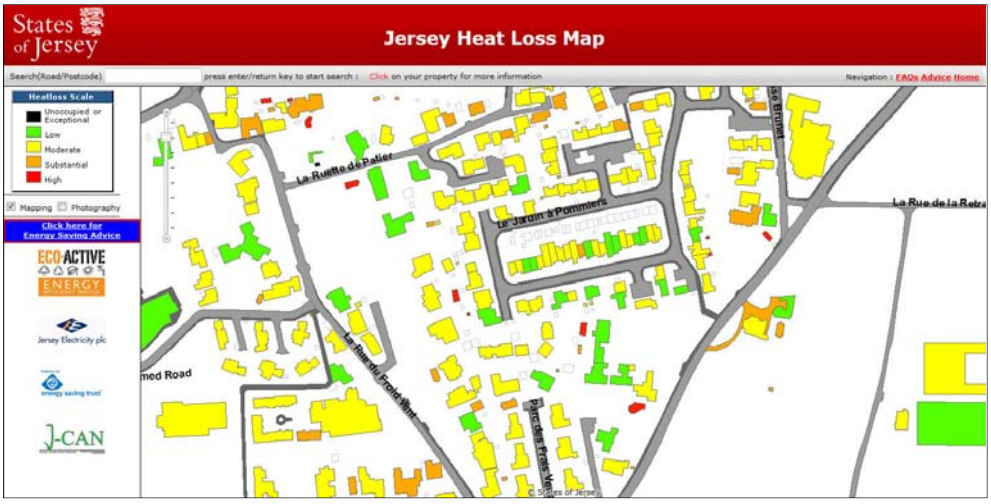


Abb. 12 – Jersey Heat Loss Map (States of Jersey, 2013)

Die Einteilung und Beschreibung der Wärmeverlustklassen wird auf der folgenden Tabelle dargestellt.

Colour	Heat loss rating	Description
Black (unoccupied or exceptional)	0 - 50	The indication is that this property is exceptionally well insulated with extremely low heat loss or was vacant during the survey with little or no heating
Green (low)	50 - 90	The indication is that this property is well insulated resulting in minimal heat loss
Yellow (moderate)	90 - 130	The indication is that this property has limited insulation resulting in moderate levels of heat loss
Orange (substantial)	130 - 180	The indication is that this property has insufficient insulation resulting in substantial heat loss
Red (high)	180 - 255	The indication is that this property has little to no insulation resulting in very high heat loss

Tabelle 2 – Wärmeverlustklassen der Heat Loss Map Jersey, unverändert nach (States of Jersey, 2013)

Robert Duhamel, Umweltminister von Jersey sagte über das Projekt: "We hope that it will encourage people to think about how much heat and energy their property is losing.” (BBC, 2011)

4.2 Auffinden von potentiellen Problemstellen im Wärmeleitungsnetz

In einem Projekt der Universität von Northern Iowa wurde eine Thermalbildaufnahme des Universitätsgeländes durchgeführt und eine Temperaturkarte erstellt. Ziel der Befliegung war nach SAVELYEV & SUGUMARAN (2008) die Überprüfung der Dächer der Universitätsgebäude auf ihren Zustand und das Auffinden von Problemstellen im Wärmeleitungsnetz. Für die spätere Korrektur der aufgenommenen Temperaturen wurden Kontrollmessungen am

Boden durchgeführt. Dazu wurde ein handgetragenes Infrarot-Thermometer verwendet, welches vor Beginn der Messungen im Labor kalibriert wurde. Nach der Korrektur der Daten wurde das Gelände auf Problemstellen an den Dächern und Leitungen untersucht.

Die Universität von Northern Iowa kam zu folgendem Schluss: Während sich die thermale Untersuchung von Gebäuden finanziell nicht immer rentiert, bietet diese Form der Ortung potentieller Problemstellen für Wärmeleitungsnetze einen großen Vorteil gegenüber dem stichprobenartigen Aufgraben des Untergrundes. Für die Untersuchung von Leitungen muss jedoch die Verlegungstiefe, die Eigenschaften der Dämmung und ggf. das Rohrmaterial bekannt sein, um gültige Aussagen treffen zu können. (SAVELYEV, et al., 2008)

4.3 Kritik

Neben vielen positiven Reaktionen auf Thermaluntersuchungen von Städten und Entwicklungen von Heat Loss Maps, wurden in Studien auch negative Stimmen laut. Ihnen zu folge standen die aufgewendeten Kosten für Thermalbefliegungen nicht im Verhältnis mit dem erbrachten Nutzen.

Die Stadt Birmingham ließ 2002 laut ROBERTS & STARLING eine Thermalbefliegung des Verwaltungsgebietes durchführen und verknüpfte die gewonnen Daten mit dem städtischen Geographischen Informationssystem (GIS). Die Kosten für das Projekt beliefen sich auf 37.000 ₤ (ca. 28.000 €). Das *Central Midlands Local Authority Support Programme* (LASP) beauftragte in Zusammenarbeit mit der Stadt Birmingham das *Centre for Sustainable Energy* (CSE) damit, die Verwendbarkeit von Thermalbildern für andere Städte in England zu untersuchen. Das CSE sollte überprüfen, ob die Kosten durch den erzielen Nutzen gerechtfertigt werden können. Laut Experten fanden sich Probleme darin, dass Thermalbildaufnahmen oft nur ungenau geplant und Mängel in den Daten erst im Nachhinein festgestellt wurden. Ebenso bestand das Problem, dass zum Aufnahmezeitpunkt unbeheizte Häuser keine Wärmeverluste aufwiesen und dadurch keine Aussage über ihren Isolierungszustand möglich war. Thermalbildaufnahmen und die Erstellung von Heat Loss Maps als Marketing Strategie für Unternehmen sollten genau auf Ihren erzielbaren Nutzen hin untersucht werden, da die Kosten für solche Projekte laut Experten zu hoch sind. (ROBERTS, et al., 2004)

Diese Kritikpunkte sind nur für die jeweils untersuchten Beispiele gültig. Je nach Genauigkeit der Untersuchung (Planung und Ausführung), den zur Verfügung stehenden zusätzlichen Daten und dem vorhandenen Budget, können Thermalbildaufnahmen einen sinnvollen Beitrag in der Forschung oder Städteplanung leisten (wie auch im Laufe dieser Arbeit gezeigt wird). Wie genau und in welchem Maß dieser Nutzen erbracht wird, muss für jedes Projekt einzeln bewertet werden.

5 TESTGEBIET UND DATEN

Im Zuge dieser Arbeit sollen ähnliche Fragestellungen, wie im vorhergehenden Kapitel diskutiert, auf ihre Anwendbarkeit für die Stadt Wien hin untersucht werden. Die dafür notwendigen Datensätze wurden von der Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, MA 28 – Straßenverwaltung und Straßenbau und der Wiener Linien GmbH & Co KG zur Verfügung gestellt. Die Koordinatenangaben sind in allen Karten bzw. Geodaten einheitlich im Gauß-Krüger System (M34), Höhenangaben beziehen sich auf Wiener Null (156,68 Meter über Adria). Im Detail wurden folgende Daten von der Stadt Wien bereitgestellt:

- Thermalbildaufnahme als Orthomosaik (MA 41),
- Flächen-Mehrzweckkarte (MA 41),
- Orthophoto (MA 41) und
- Digitaler Zentraler Leitungskataster (MA 28).

Folgender Datensatz wurde von den Wiener Linien GmbH & Co KG bereitgestellt:

- Digitaler Weichenplan.

5.1 Thermalbild Wien

Die Basis für die Untersuchungen liefert das am 01.02.2012 aufgenommene Thermalbild von Wien. Das beflogene Gebiet befindet sich im Nord-Westen Wiens und ist auf der folgenden Karte rot eingerahmt.

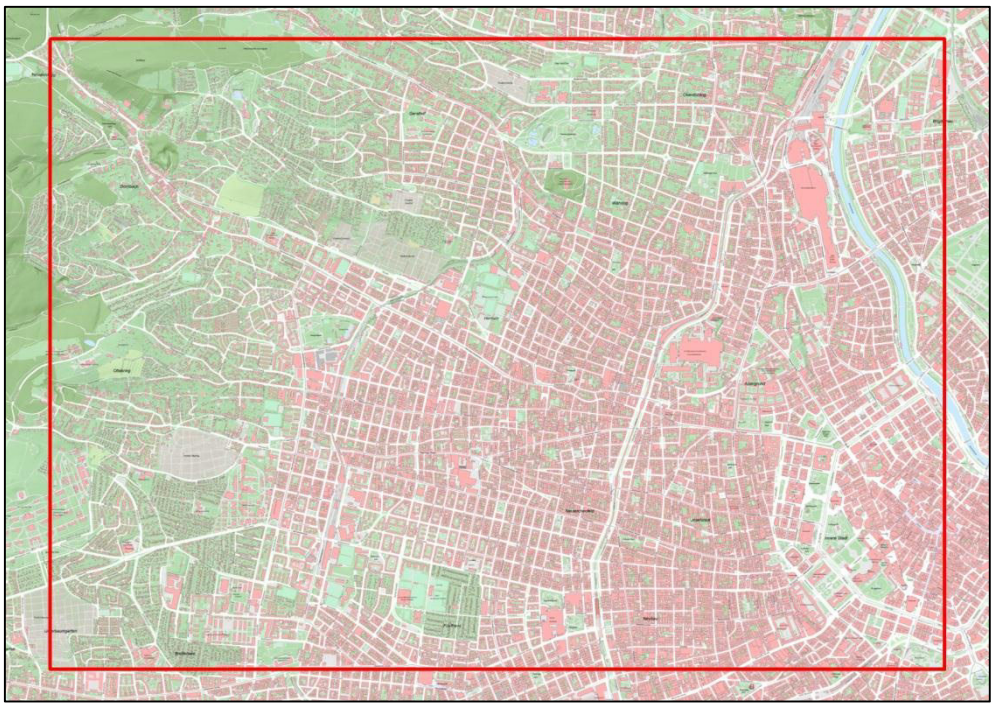


Abb. 13 – Gebiet der Thermalbildbaufnahme vom 01.02.2012 (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2012)

5.1.1 Flugdaten

Alle Daten zur Befliegung befinden sich in der nachstehenden Tabelle. Besonders hervorzuheben ist die hohe räumliche Auflösung der Daten.

Flugtag:	01.02.2012
Flugzeit:	05:50 – 07:20
Flughöhe über Grund:	ca. 500 m
Querüberlappung:	ca. 35 %
Bodenauflösung:	25 cm
Aufgenommene Fläche:	ca. 30 km²
Koordinatensystem:	MGI GK-M34 (EPSG 31256)
Verwendeter Sensor:	TABI-1800
Kosten pro km²:	ca. 600 €

Tabelle 3 – Daten der Thermalbefliegung (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2012)

5.1.2 Sensor-Daten

Für die Thermalbildaufnahme wurde der hochauflösende Sensor TABI-1800 der Firma ITRES verwendet. Dieser Sensor ist das Fortsetzungsmodell des TABI-320 und hat eine Auflösung von 1800 x 40 Pixeln. (ITRES Research Limited, 2011) Bei einer Flughöhe 500 m werden Streifenbreiten von ca. 360 m erreicht. Die Messungen finden im unteren Atmosphärischen Fenster (3,7 bis 4,8 μm) statt (siehe Kapitel 3.1). Durch die hohe Temperaturempfindlichkeit des Sensors können Unterschiede im Zehntel-Grad Bereich aufgenommen werden. Alle weiteren Sensordaten werden in der folgenden Tabelle dargestellt.

Across Track Pixels:	1800 ± 5%
Field of View:	40° ± 2%
IFOV (Instantaneous field of view):	0.023° (0.405 mrad)
NEDT (Noise equivalent differential temperature):	< 0.05° C
Spectral Range:	Midwave Infrared (3,700 – 4,800 nm)
Number of spectral bands:	One (1)
Cooling:	Stirling Cycle Cooler
Thermal Reference:	Internal black body measurements
Thermal Drift:	Minimal
Dynamic Range:	14 bit
Data Rate (MB/sec):	3.38
Frame Rate:	≥ 80 fps
Optical Distortion:	< 0.05 %
Standard Temperature Measurement Range:	-20 to 150° C

IMU (Inertial measurement unit) / GNSS:	Imbedded POS AV 410 (optional)
Integration with Lidar:	Yes
Spatial resolution at an aircraft speed of 110 knots (200 km/h) and altitude of 5,679 ft. (1730 m):	70 cm (flight line swath of 1.2 km)

Tabelle 4 – Technisches Datenblatt TABI-1800, verändert nach (ITRES Research Limited, 2011)

5.1.3 Datenkorrektur

Das aufgenommene Thermalbild wurde von der MA 41 einmal mittels DGM und einmal mittels DOM orthorektifiziert (siehe Kapitel 3.2.3). Für Fragestellungen, die sich mit der Geländeoberfläche befassen (Ortung potentieller Problemstellen in den Fernwärmeleitungen und Überprüfung der Weichen-Heizungen), können das mittels DGM oder mittels DOM korrigierte Thermalbild herangezogen werden, da sich beide für Untersuchungen im Straßenraum eignen. Im Fall der Heat Loss Maps kann nur das mittels DOM korrigierte Thermalbild verwendet werden (siehe Kapitel 3.2.3).

In beiden Fällen liegt das Thermalbild als Orthomosaik vor. Auf den folgenden Abbildungen werden das Thermalbild und das zugehörige Histogramm dargestellt.

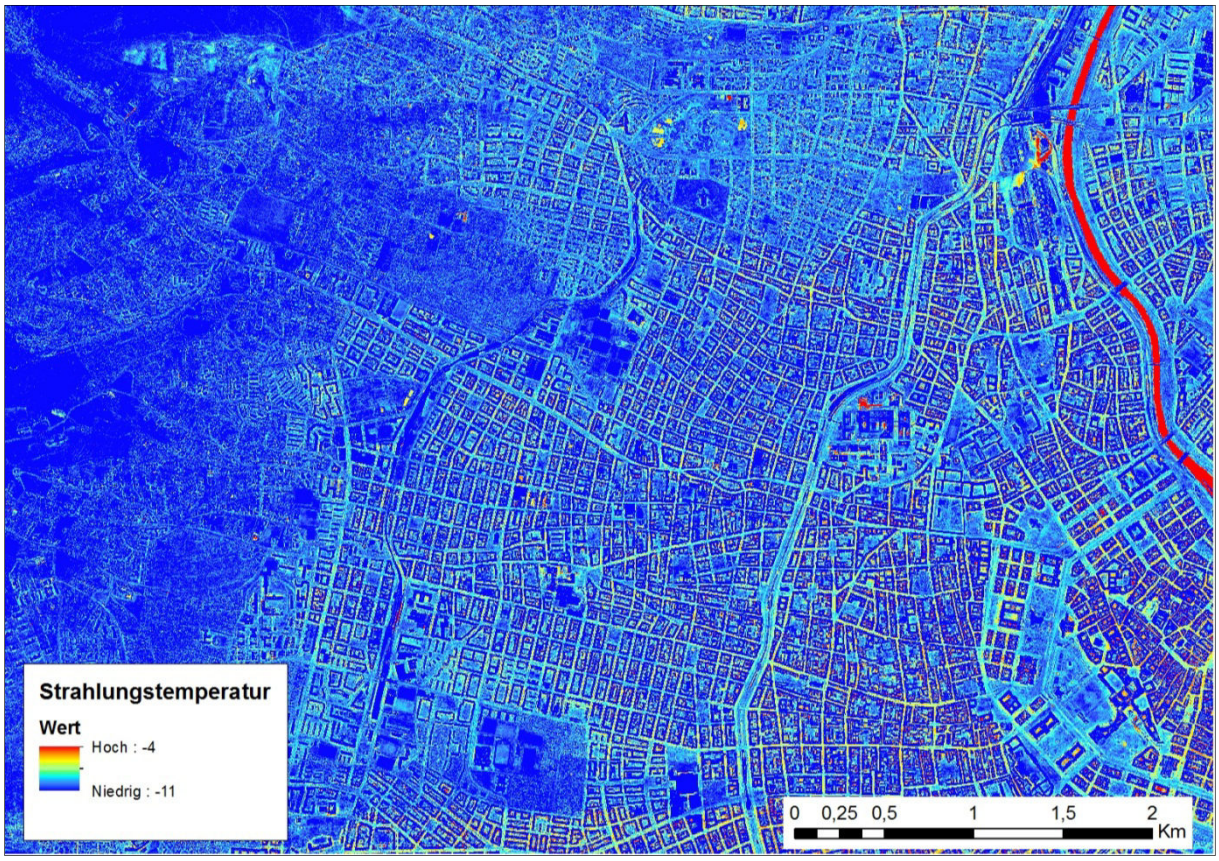


Abb. 14 – Thermalbild von Wien vom 01.02.2012, korrigiert mittels DGM
(Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2012)

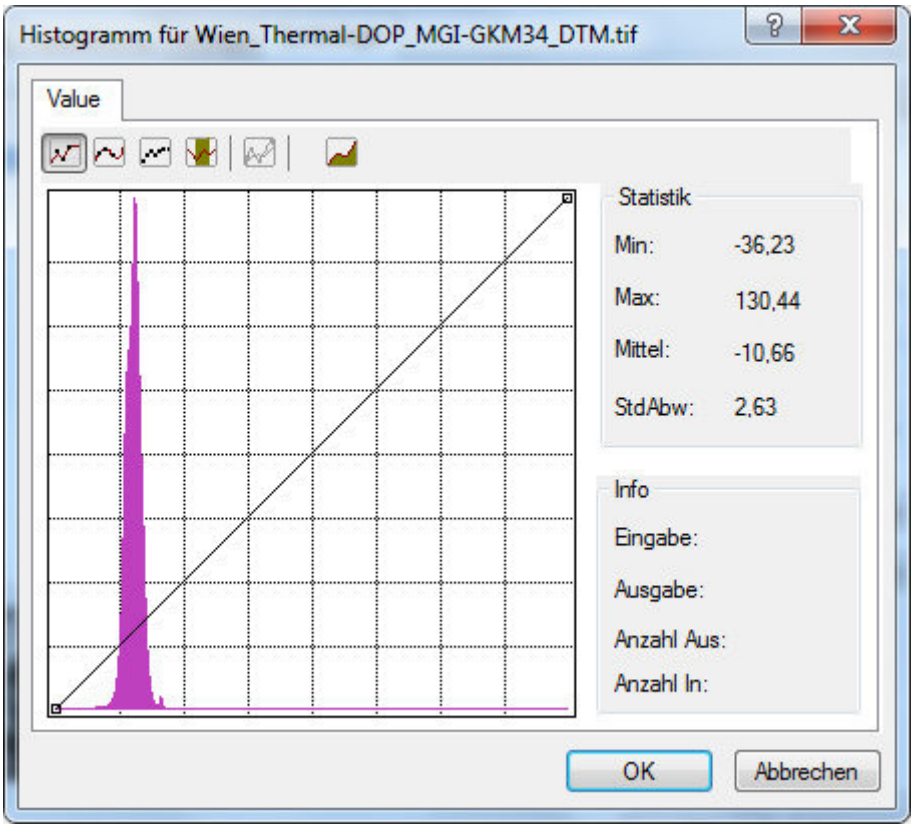


Abb. 15 – Histogramm Thermalbild mit Mittelwert und StdAbw

Auf dem Histogramm wird der Mittelwert (x) des Thermalbildes mit -10,7° C und die Standardabweichung (σ) mit 2,6° C angegeben. Bei Annahme einer Normalverteilung der Daten und einer Abweichung vom Mittelwert von ± 3σ befindet sich der Großteil (99 %) der Daten im Bereich zwischen -18,5° C und -2,8° C. Ausreiser lassen sich z.B. aufgrund der Strahlungseigenschaften von Metallen erklären (siehe Kapitel 3.1.1).

Eine Korrektur der Temperaturen nach materialspezifischen Emissionsgraden wurde im Rahmen dieser Arbeit auf Grund fehlender Emissivität je Pixel nicht durchgeführt. Als allgemeiner Emissionsgrad wurde 1 angenommen.

5.2 Weitere Geodaten

Um das Thermalbild in Bezug auf die in Kapitel 2 definierten Aufgabenstellungen zu untersuchen, ist die Verknüpfung mit unterschiedlichen Geodaten notwendig. Diese Geodaten sind Eigentum der Stadt Wien und für das ganze Stadtgebiet verfügbar.

Für eine schnellere und einfachere Auswertung des Thermalbildes wurde ein Testgebiet definiert, für welches die Abfragen durchgeführt werden. Die im Folgenden beschriebenen Geodaten (Flächen-Mehrzweckkarte, Orthophoto und Zentraler Leitungskataster) wurden von der Stadt Wien für das Testgebiet zur Verfügung gestellt.

5.2.1 Mehrzweckkarte und Flächen-Mehrzweckkarte (FMZK)

Die Mehrzweckkarte von Wien ist das Fortsetzungsmodell der analogen Stadtkarte. Sie enthält Abgrenzungen von Gebäuden und öffentlichen Flächen und bildet die Grundlage für die Flächenwidmung, den Bebauungsplan oder den Digitalen Zentralen Leitungskataster. Die Genauigkeit von Grenzen öffentlicher Verkehrsflächen (Gebäudekanten, Zäune, Schienen, Hydranten oder Bäume) liegt bei wenigen Zentimetern. Innerhalb der Straßenblöcke liegen die Genauigkeiten der Lage und Höhe bei ca. 20 cm. Die Mehrzweckkarte besteht aus Punkten, Linien und Texten und dient als Grundlage für die Flächen-Mehrzweckkarte. (Stadtvermessung Wien, 2009)

Für die Erstellung der Flächen-Mehrzweckkarte werden die Linien in der Mehrzweckkarte mit einander verbunden und den dadurch entstandenen Flächen eine von über 200 verschiedenen Nutzungsarten zugeteilt. Die Genauigkeiten der Lage liegen im Bereich der Mehrzweckkarte und reichen von einem bis zu mehreren Dezimetern. (Stadt Wien, 2013)

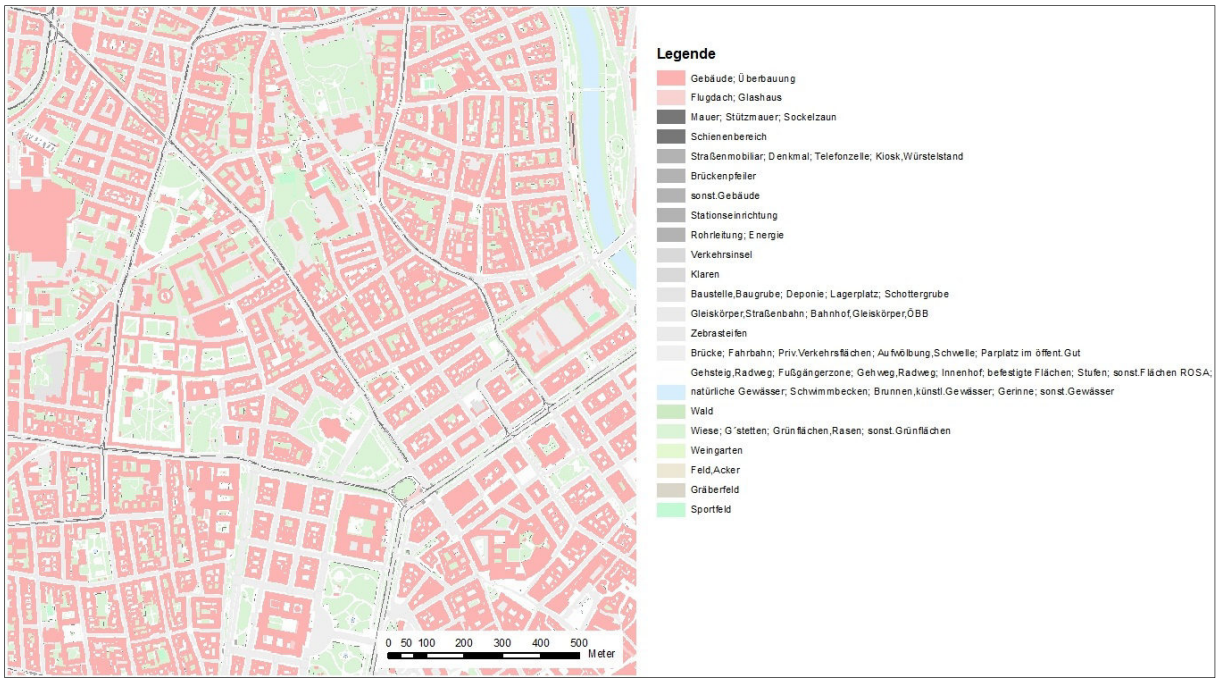


Abb. 16 – Darstellung Flächen-Mehrzweckkarte für das Testgebiet (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2012)

Die unterschiedlich definierten Nutzungsarten stellen die Voraussetzung für die räumlichen Abfragen dar, da mit diesen Attributen einzelne Objekte wie z.B. Gebäude ausgewählt und mit dem Thermalbild verschnitten werden können. Eine Übersicht der Nutzungen findet sich in nachfolgender Tabelle.

Klasse	Beschreibung
11	Gebäude
12	Überbauung, Verbindungsgang zwischen Häusern

13	Flugdach
14	Glashaus
16	Brückenpfeiler
19	Sonstige Gebäudefläche (Nebengebäude, ...)
21	Fahrbahn (Haupt-, Nebenfahrbahn, Autobahn, Radweg)
22	Verkehrsinsel
23	Gehsteig, Geh-, Radweg und Stationsbereich im öffentlichen Gut
24	Fußgängerzone
25	Fläche für Fußgänger und Radverkehr auf Privatgrund
26	Verkehrsfläche auf Privatgrund (wenn vorrangig für Autoverkehr)
27	Schienenbereich
28	Selbstständiger Gleiskörper (Straßenbahn, U-Bahn)
29	Bahnhofsbereich, Gleiskörper (ÖBB)
30	Zebrastreifen
31	Straßenmobilar
32	Fahrbahnaufwölbung (Schwelle), Einfahrtsrampe
33	Parkplatz im öffentlichen Gut
39	Sonstige Verkehrsfläche
41	Natürliches Gewässer, Badesee
42	Schwimmbecken, Biotop (auf Privatgrund)
43	Brunnen (im Park), künstliche Wasserfläche (auf öffentl. Flächen)
44	Gerinne
49	Sonstige Gewässerfläche
51	Hof, Innenhof (bei Gebäuden)
52	Wald, Fläche mit Baumbestand
53	Wiese, naturnahe Grünfläche
54	Feld, Acker, Beet, Baumschule, landw. genutzte Fläche
55	Weingarten
57	Gräberfeld
58	Grünfläche (Wiese, Rasen), sonstige unversiegelte Fläche
59	Befestigte (versiegelte) Fläche auf Privatgrund
60	Baustelle, Baugrube
61	Sportfeld (Rasenfläche Sportplatz, Tennisplatz, Eislaufplatz)
62	Deponie
63	Lagerplatz
64	Schottergrube
69	Sonstige Grünfläche
71	Mauer, Mauer im Sinne einer Einfriedung, Stützmauer
73	Sockelzaun
74	Stiege, Stufe, Rollstuhl-, Kinderwagenrampe
81	Denkmal
82	Telefonzelle
83	Stationseinrichtung (öffentlicher Verkehr)
84	Kiosk, Würstelstand
86	Portal
91	Rohrleitung
92	Energieversorgung
93	Klärbecken
99	Sonstige nicht zuordenbare Fläche

Tabelle 5 – Flächennutzungsklassen in Flächen-Mehrzweckkarte
verändert nach (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2012)

5.2.2 Orthophoto

Das Orthophoto von Wien ist geometrisch entzerrt, wird laufend aktualisiert und deckt im Original das gesamte Stadtgebiet von Wien ab. Je nach Auflösung der Aufnahmen erhält man Genauigkeiten von bis zu 15 cm. Das derzeit letzthergestellte Orthophoto der Stadt Wien basiert auf Aufnahmen von 2010 und 2011 (Flughöhe: 2300 m)

Abb. 17 – Orthophoto des Testgebietes (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2012)

5.2.3 Digitaler Zentraler Leitungskataster (ZLK)

Die Flächen-Mehrzweckkarte wird von der Mehrzweckkarte abgeleitet, dem Digitalen Zentralen Leitungskataster (ZLK) ist sie als Hintergrund hinterlegt. Hier werden alle Einbauten wie Leitungen oder Kabel erfasst und in einer Datenbank verwaltet. (Stadtvermessung Wien, 2009) Der verwendete Datensatz, welcher nur die Fernwärmedaten enthält, besteht aus den topologischen Elementen Punkt, Linie und Fläche. Die Punkte stellen Schächte (Umformer, Übergabestation oder Sekundärschacht), die Linien die Fernwärmeleitungen dar. Die Flächenelemente stellen unterirdische Hohlräume im Bereich des Leitungsnetzes dar. Auf der folgenden Grafik sind die Leitungen und Schächte mit der Flächen-Mehrzweckkarte überlagert.

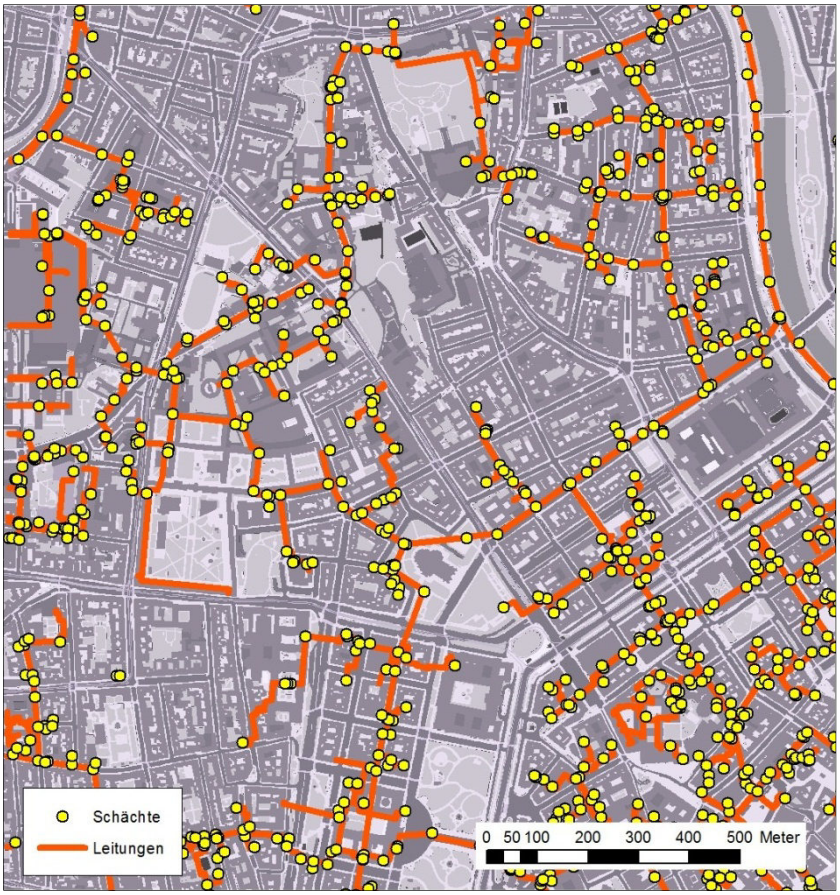


Abb. 18 – Darstellung Fernwärmeleitungen und Schächte für das Testgebiet (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2012) (Stadt Wien, MA 28 – Straßenverwaltung und Straßenbau, 2013)

Die Lagegenauigkeiten (in der Ebene) der Leitungen variieren sehr stark. Sie reichen von ± 5 cm bis zu ± 300 cm und sind bei den Leitungen mit einer L_QUAL ID in der Attributliste eingetragen. Für die Schächte fehlt diese Information in der Attributtabelle. Die Genauigkeiten der Leitungen mit zugehöriger ID werden in der folgenden Tabelle dargestellt.

ID	INHALT
0	ungenau (RBW)
1	± 5 cm
2	± 10 cm
3	± 20 cm
4	± 50 cm
5	± 100 cm
8	± 300 cm

Tabelle 6 – Genauigkeiten der Lage für Fernwärmeleitungen

Der Großteil der Leitungen im Testgebiet wurde mit großer Genauigkeit aufgenommen (ID = 1), im Datensatz kommen nur die IDs 1,2 und 4 vor. Auf der folgenden Grafik werden die Leitungen mit L_QUAL ID 1 (± 5 cm) in blau dargestellt.

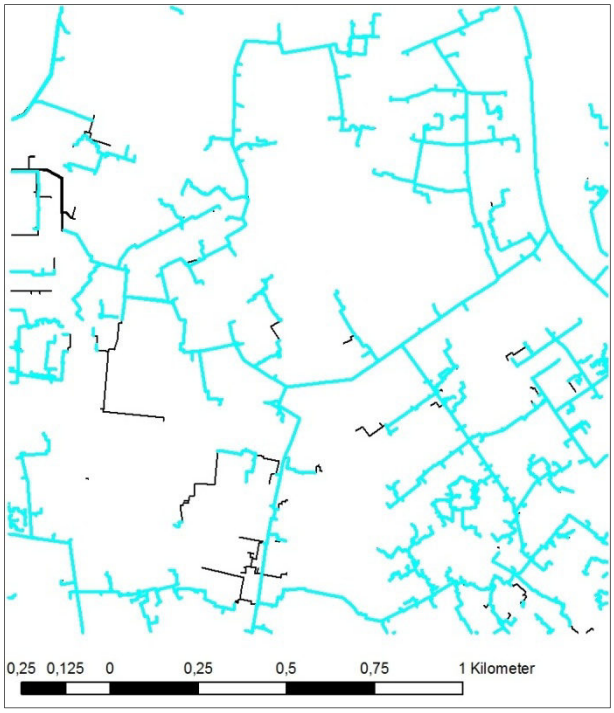


Abb. 19 – Fernwärmeleitungen mit L_QUAL ID 1 (blau) (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2012)

5.2.4 Digitaler Weichenplan

Der digitale Weichenplan wurde auf Nachfrage der Stadt Wien von der Wiener Linien GmbH & Co KG in Form eines Shapefile (Datenformat der Fa. ESRI) zur Verfügung gestellt. Er beinhaltet die Weichen innerhalb des Testgebietes als Linienelemente. Die eingezeichneten Weichen enthalten keine Attribute über das Vorhandensein von Heizungen. Im Weiteren wurden keine Informationen über die Lagegenauigkeiten angegeben. Ein Ausschnitt aus dem Digitalen Weichenplan wird auf der folgenden Grafik dargestellt.

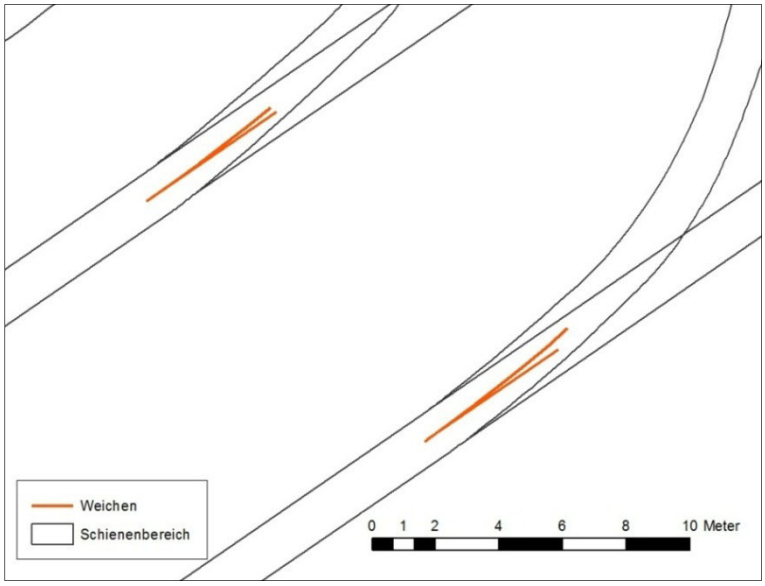


Abb. 20 – Darstellung der Weichen als Linien

Auf den folgenden Grafiken werden die Weichen in Kombination mit dem Thermalbild dargestellt.

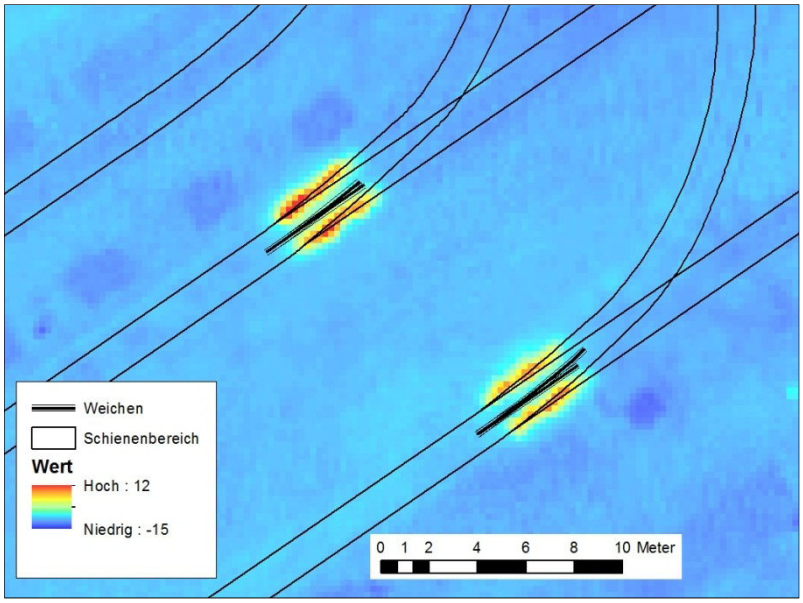


Abb. 21 – Digitaler Weichenplan mit Schienenbereich und Thermalbild

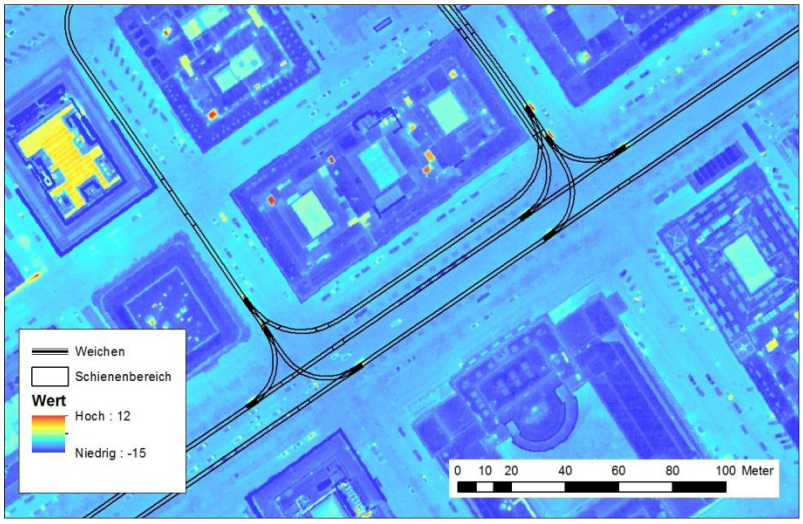


Abb. 22 – Digitaler Weichenplan mit Schienenbereich und Thermalbild

6 METHODIK

Ausgangsbasis für die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen war das definierte Testgebiet. Im Fall der Heat Loss Map wurden die Abfragen nur für einzelne, vorher festgelegte Gebäude durchgeführt. Diese Bedingung ermöglichte eine einfachere und schnellere Vorgehensweise und war für die Aufgabenstellung ausreichend. Alle Abfragen wurden mit dem Programm ArcGIS 10 der Firma ESRI durchgeführt.

6.1 Auswahl des Testgebietes

Für die Wahl eines geeigneten Testgebietes wurde das Thermalbild bei verschiedenen Temperaturbereichen gesichtet. Als Temperaturen wurden Wertebereiche gewählt, die sich zwischen -15° C und 10° C befanden. Dadurch wurden alle relevanten Objekte (Fernwärmeleitungen, Weichenheizungen, …) gut sichtbar. Für eine gut erkennbare Darstellung wurde ein Farbverlauf von blau nach rot gewählt, wobei tiefe Temperaturen blau, hohe Temperaturen rot eingefärbt wurden. Je nach Verschiebung der Maximal- bzw. Minimalwerte wurden Objekte wie Kamine oder Leitungen unterschiedlich gut sichtbar.

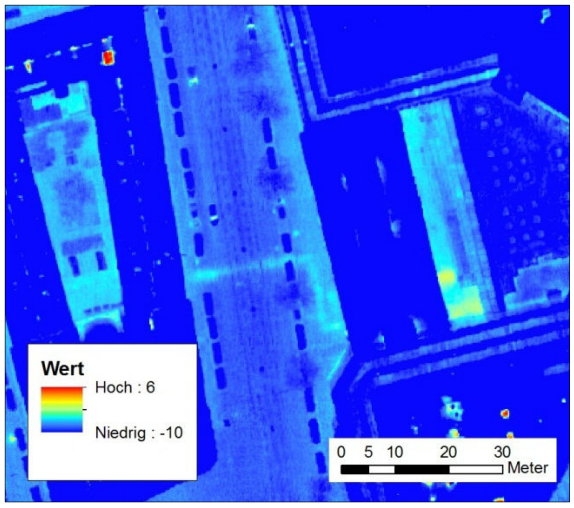


Abb. 23 – Fernwärmeleitung
(Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2012)

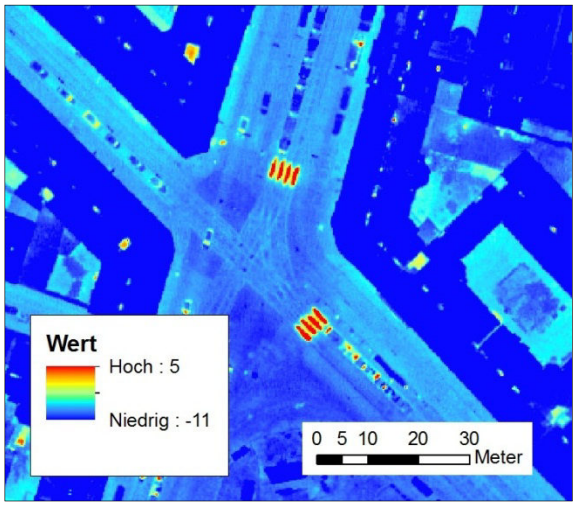


Abb. 24 – Straßenbahnweichen-Heizung
(Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2012)

Stellen an denen Leitungen, Straßenbahnweichen-Heizungen oder Temperaturextreme bei Dächern gut erkennbar waren, wurden für die spätere Auffindung gekennzeichnet. Auf der folgenden Grafik werden diese Stellen mit einem roten Punkt gekennzeichnet.

Abb. 25 – Stellen mit gut sichtbaren Temperaturunterschieden (rot)

Der Bereich des Thermalbildes, der die meisten gut sichtbaren Objekte enthielt, wurde in Absprache mit der MA 41 als Testgebiet festgelegt. Es befindet sich im westlichen Teil des Thermalbildes und deckt das AKH, Teile des 1., 8. und 9. Bezirkes bei einer Größe von ca. 3 km² ab. Auf der folgenden Karte ist das Gebiet mit einem schwarzen Rahmen dargestellt.

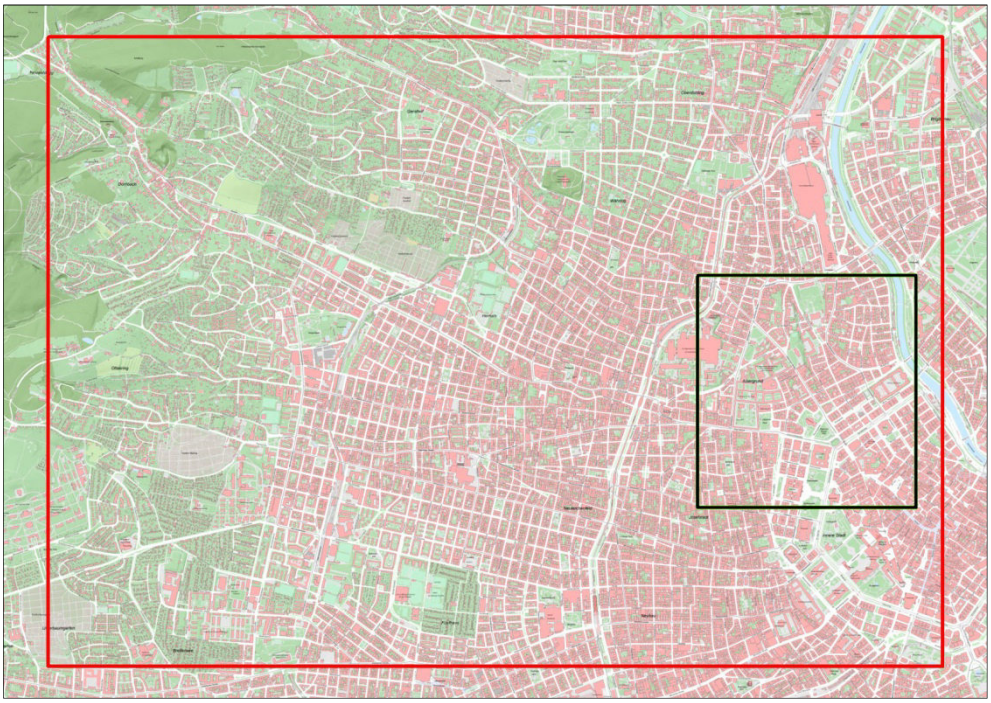


Abb. 26 – Ausgewähltes Testgebiet (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2012)

6.2 Erstellung einer Heat Loss Map für einzelne Gebäude

Die Erstellung der Heat Loss Map wurde mit dem Programm ArcGIS 10 – ArcMap (Fa. ESRI) durchgeführt. Dafür wurden alle benötigten Daten als Layer in eine .mxd-Datei (Kartenformat der Fa. ESRI) geladen und vor der weiteren Verarbeitung grafisch angepasst (Symbole, Farben). Für die Heat Loss Maps wurde mit dem mittels DOM orthorektifizierten Thermalbild gearbeitet, da dies für Untersuchungen an den Dachflächen geeigneter war (siehe Kapitel 3.2.3).

6.2.1 Verwendete Daten

Für die Abfragen wurden folgende Daten verwendet:

- Thermalbild vom 01.02.2012, korrigiert mittels DOM als Rasterdatensatz,
- Flächen-Mehrzweckkarte als Vektordatensatz und
- Orthophoto als Rasterdatensatz.

6.2.2 Auswahl der Gebäude

Um Temperaturgradienten entlang der Dachflächen gut zu erkennen, wurden als Grenzwerte -15° C bis -4° C gewählt. Nach einer Sichtung des Thermalbildes bei den genannten Temperaturen wurden 3 Gebäude innerhalb des Testgebietes für die Abfrage ausgewählt. Dabei handelt es sich um das Wiener Rathaus und zwei Gebäudekomplexe mit folgenden Anschriften:

Wiener Rathaus:	Friedrich-Schmidt-Platz 1	1010 Wien
Gebäudekomplex 1:	bei Grünentorgasse 35	1090 Wien
Gebäudekomplex 2:	bei Kolingasse 9	1090 Wien

Die ausgewählten Gebäude werden auf den folgenden Abbildungen als Thermalbild und Orthophoto dargestellt.

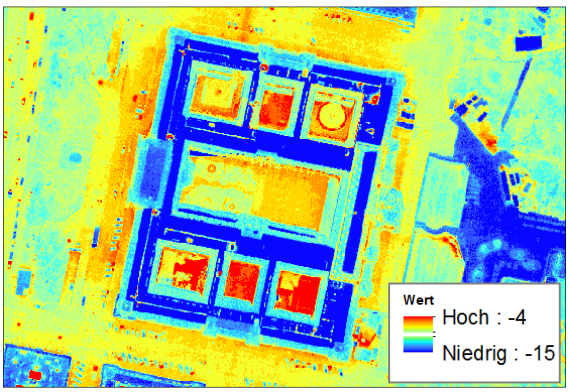


Abb. 27 – Rathaus, Thermalbild

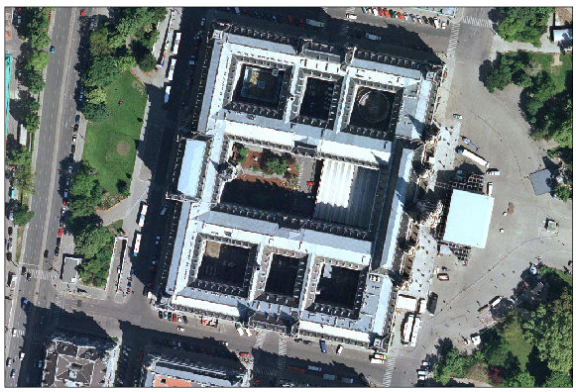


Abb. 28 – Rathaus, Orthophoto

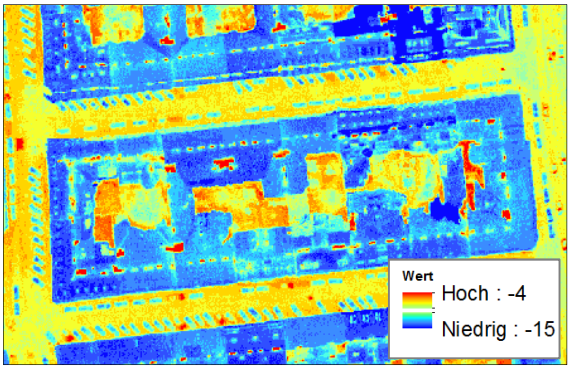


Abb. 29 – Gebäude Grünentorgasse, Thermalbild

Abb. 30 – Gebäude Grünentorgasse, Orthophoto

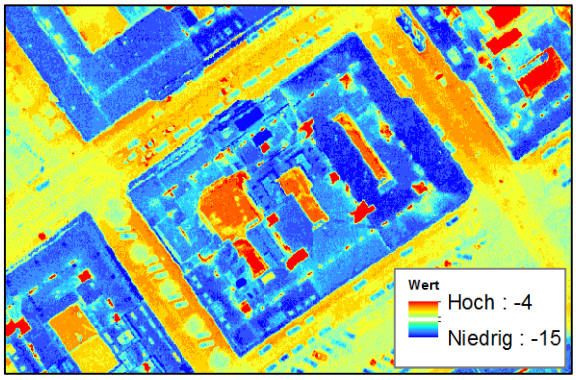


Abb. 31 – Gebäude Kolingasse, Thermalbild

Abb. 32 – Gebäude Kolingasse, Orthophoto

Die Lage der Gebäude im Testgebiet wird auf der folgenden Grafik dargestellt.

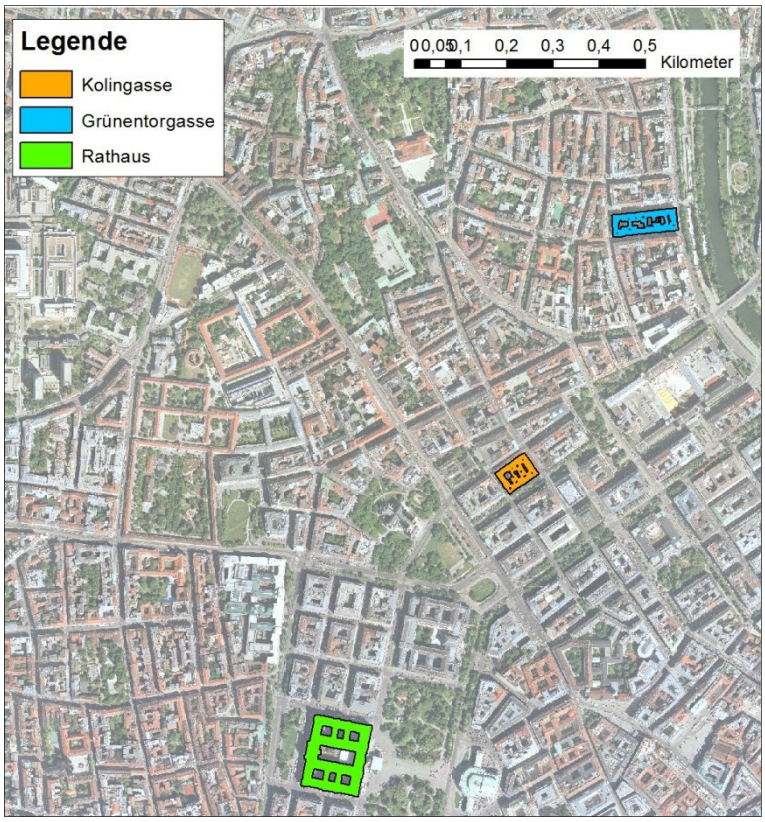


Abb. 33 – Lage der Gebäude für die Heat Loss Maps

6.2.3 Heat Loss Map – Rathaus

Um eine Heat Loss Map für das Rathaus zu erstellen, mussten aus der Flächen-Mehrzweckkarte jene Flächen ausgewählt werden, die sich mit dem Rathaus überlagerten. Alle anderen Flächen wurden ausgeschlossen.

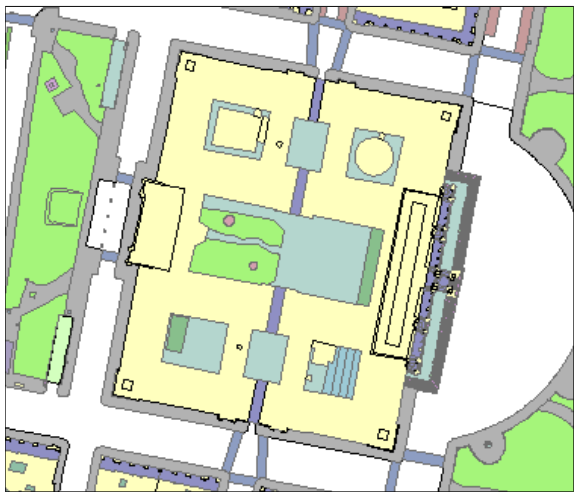


Abb. 34 – Flächen-Mehrzweckkarte des Rathauses

Innerhalb des Rathauses durften nur jene Bereiche ausgewählt werden, die für die Abfrage wichtig waren. Innenhöfe, Parkplätze oder Wiesen wurden daher nicht in die Abfrage miteinbezogen. Welche Flächen relevant waren, wurde nach einem Vergleich mit dem Orthophoto und einer Studie der eingetragenen Nutzungsart entschieden. Die ausgewählten Flächen wurden einzeln über ihre FMZK_ID identifiziert und mit dem Selektieren-Befehl ausgewählt. ArcToolbox: Analysis Tools / Extrahieren / Selektieren.

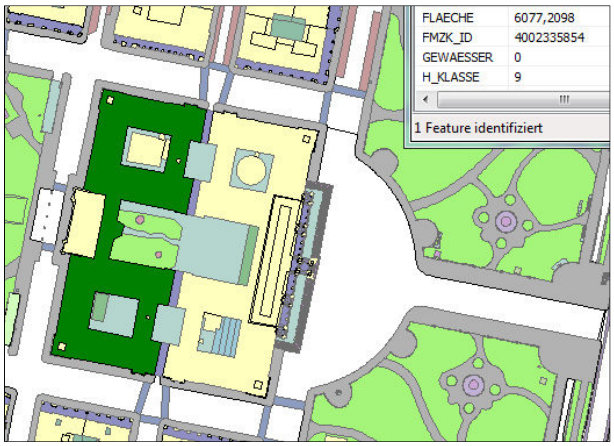


Abb. 35 – Identifizierung der einzelnen Flächen des Rathauses über FMZK_ID

Übrig blieben nur jene Flächen, die die Oberfläche des Rathauses genau abdeckten und für die Thermalbildauswertung geeignet waren. Um einen Spielraum um die Außenfassade zu gewährleisten, wurde um die Flächen ein Puffer von 1,5 m gelegt und ein neues Shapefile

erstellt. Für die Bestimmung der optimalen Pufferbreite wurde das Thermalbild mit verschiedenen Puffern verglichen und kontrolliert, bei welchen Abmessungen die Abwärme aus den Fenstern noch miteinbezogen wurde. ArcToolbox: Analysis Tools / Nachbarschaftsanalyse / Puffer.

Bei dieser Methodik wurden die Außenfassaden der Gebäude miteinbezogen, daher wurde der Puffer nach außen gelegt. Es gilt dadurch zu berücksichtigen, dass durch die Orthorektifizierung mittels DOM Doppelabbildungen der Fassaden möglich waren und diese in die späteren Ergebnisse einflossen.

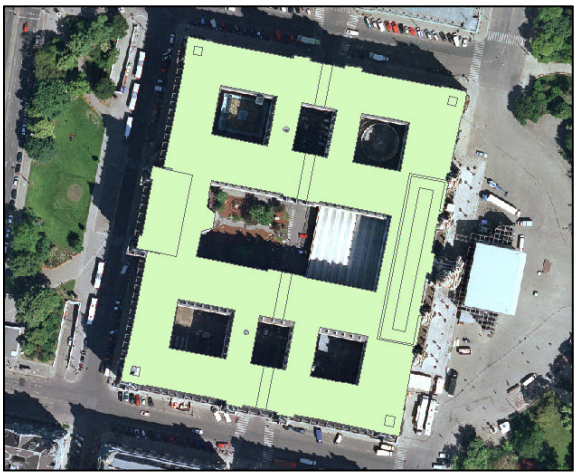


Abb. 36 – Einzelne Flächen des Rathauses aus FMZK

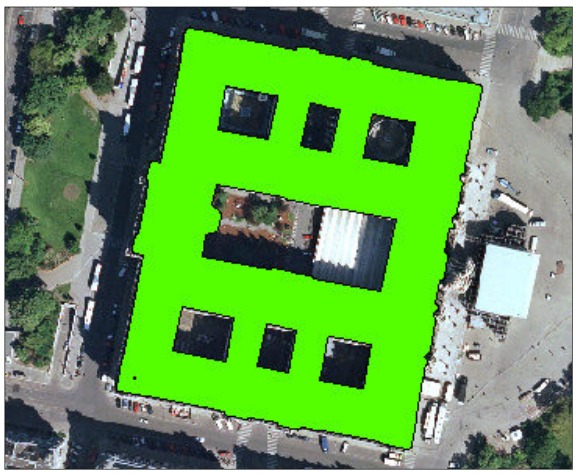


Abb. 37 – Zusammengefügte Fläche mit Puffer

In einem nächsten Schritt wurde die gepufferte Fläche mit dem Thermalbild verschnitten. ArcToolbox: Daten Management Tools / Raster / Raster-Verarbeitung / Ausschneiden.

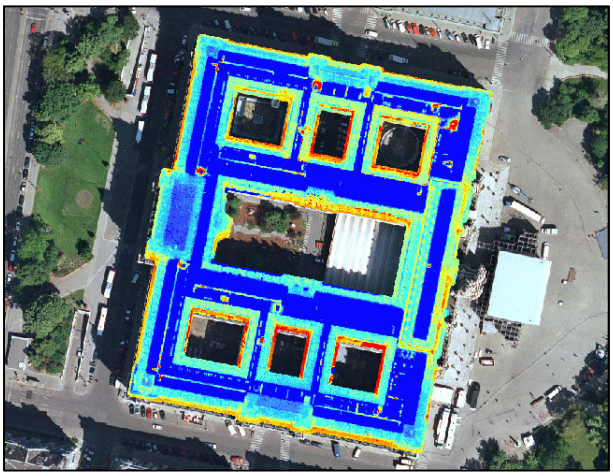


Abb. 38 – Verschneiden von Thermalbild und Rathaus

Da für eine gute Visualisierung sogenannter Hot Spots Punkte besser geeignet waren als Rasterwerte, wurde das neu entstandene Rasterbild zuerst in Punktwerte umgewandelt. ArcToolbox: Conversion Tools / Von Raster / Raster zu Punkt.

Mit dem Selektieren-Befehl konnten alle Punkte, deren Temperaturen über einem bestimmten Grenzwert lagen, ausgewählt und in ein neues Shapefile gespeichert werden. ArcToolbox: Analysis Tools / Extrahieren / Selektieren. Die Umgebungstemperatur betrug zum Zeitpunkt der Aufnahme -11° C (wetter.com AG, 2013). Jede Oberfläche mit einer höheren Temperatur bedeutet bereits den Verlust von Wärme. Da sehr viele Stellen Temperaturen von -10° C oder wärmer aufwiesen, wurden höhere Temperaturen als Grenzwerte gewählt: -3° C, 0° C und +3° C. Es wurden mehrere Grenzwerte gewählt, um der späteren Interpretation mehr Spielraum zu lassen. Die ausgewiesenen Hot Spots werden im Kapitel Ergebnisse und Diskussion dargestellt.

6.2.4 Heat Loss Map – Gebäudekomplex Grünentorgasse

Um eine Heat Loss Map für den Gebäudekomplex Grünentorgasse zu erstellen, mussten wie beim Rathaus zuerst alle nicht verwendeten Flächen aus dem Thermalbild ausgeschlossen werden. Der weitere Arbeitsablauf ist mit dem Rathaus deckungsgleich und wird daher nicht im selben Umfang beschrieben.

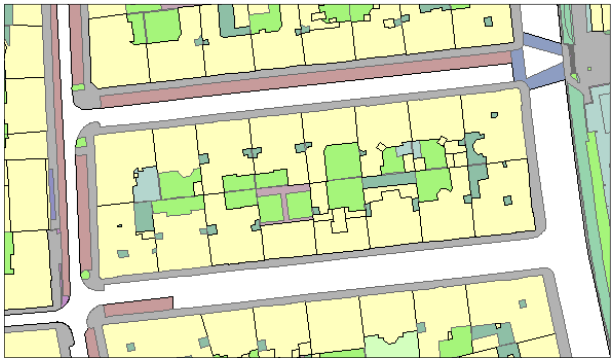


Abb. 39 – Flächen-Mehrzweckkarte des Gebäudekomplexes Grünentorgasse

Die für das Gebäude Grünentorgasse wichtigen Flächen wurden einzeln über ihre FMZK_ID identifiziert und mit dem Selektieren-Befehl ausgewählt.

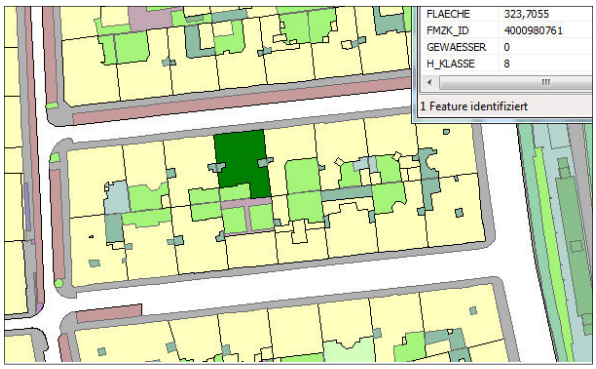


Abb. 40 – Identifizierung der einzelnen Flächen des Gebäudekomplexes Grünentorgasse

Für das Verschneiden von Flächen-Mehrzweckkarte mit Thermalbild wurde für das Gebäude Grünentorgasse ein Puffer von 1 m gewählt. Die Fassaden waren hier ebenmäßiger als beim Rathaus, daher war die Wärmeausbreitung besser zu erkennen.

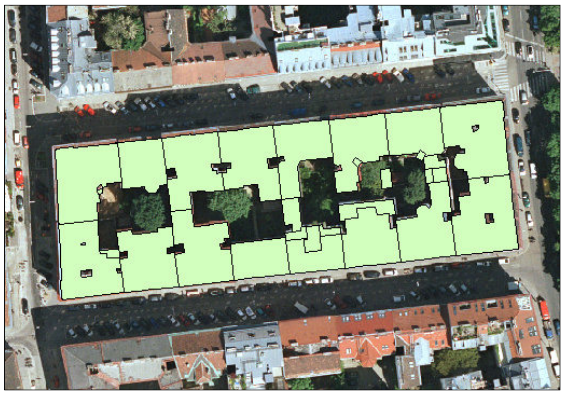


Abb. 41 – Einzelne Flächen aus FMZK

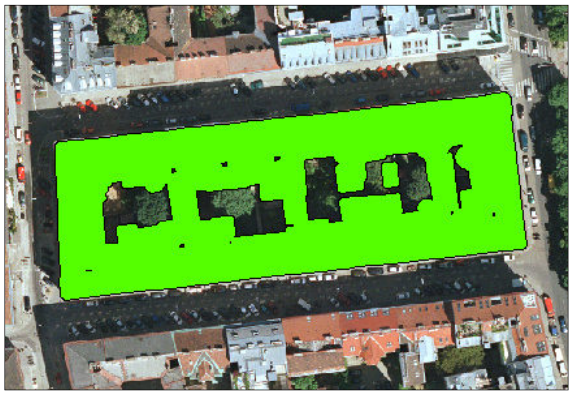


Abb. 42 – Zusammengefügte Fläche mit Puffer

Im Anschluss wurde die gepufferte Fläche mit dem Thermalbild verschnitten.

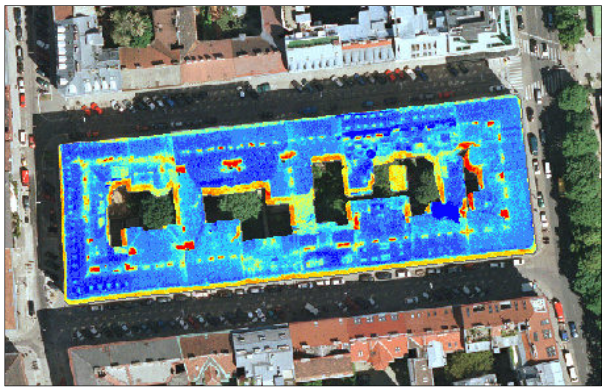


Abb. 43 – Verschneiden von Thermalbild und Gebäudekomplex Grünentorgasse

Das neu entstandene Rasterbild wurde für die Selektion von Temperaturen und die spätere Darstellung der Hot Spots zuerst in Punktwerte umgewandelt.

Mit dem Selektieren-Befehl wurden alle Punkte, deren Werte über den festgelegten Grenzwerten lagen, ausgewählt. Bei diesem Gebäude wurden die gleichen Grenzwerte für die Hot Spots wie für das Rathaus gewählt. Die ausgewiesenen Hot Spots werden im Kapitel Ergebnisse und Diskussion dargestellt.

6.2.5 Heat Loss Map – Gebäudekomplex Kolingasse

Um eine Heat Loss Map für den Gebäudekomplex in der Kolingasse zu erstellen, mussten wie beim Rathaus zuerst alle nicht verwendeten Flächen aus dem Thermalbild ausgeschlossen werden. Der weitere Arbeitsablauf ist mit dem Rathaus deckungsgleich und wird daher nicht im gleichen Umfang beschrieben.

Abb. 44 – Flächen-Mehrzweckkarte des Gebäudekomplexes Kolingasse

Die für das Gebäude Grünentorgasse wichtigen Flächen wurden einzeln über ihre FMZK_ID identifiziert und mit dem Selektieren-Befehl ausgewählt.

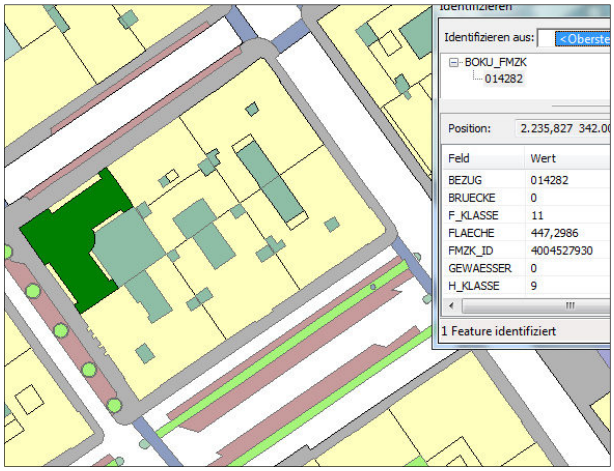


Abb. 45 – Identifizierung der einzelnen Flächen des Gebäudes Kolingasse

Für das Verschneiden von Flächen-Mehrzweckkarte und Thermalbild wurde für den Gebäudekomplex Kolingasse ebenfalls ein Puffer von 1 m gewählt. Die Flächen aus der Flächen-Mehrzweckkarte stimmten nicht exakt mit den Dachflächen des Orthophotos überein, da das Orthophoto mittels DGM, das Thermalbild mittels DOM orthorektifiziert wurde. Für die spätere Sichtung der Hot Spots wurde daher die Flächen-Mehrzweckkarte verwendet.

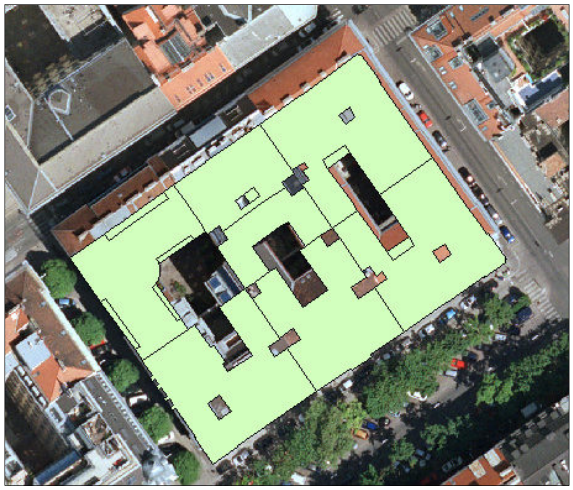


Abb. 46 – Einzelne Flächen aus FMZK

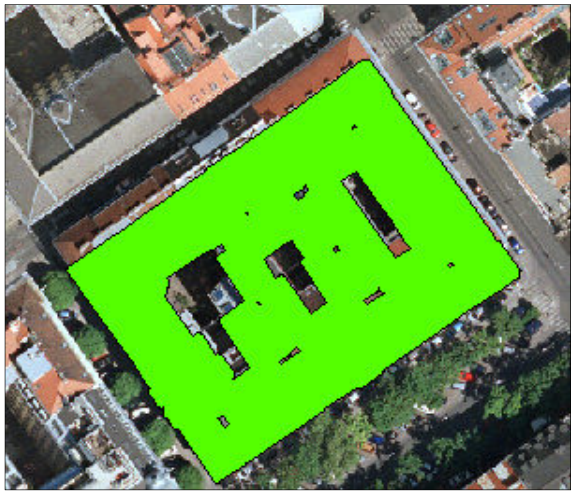


Abb. 47 – Zusammengefügte Fläche mit Puffer

Als nächstes wurde die gepufferte Fläche mit dem Thermalbild verschnitten.

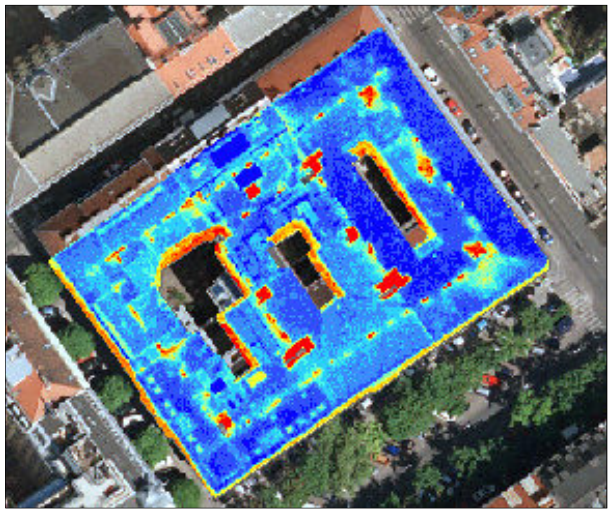


Abb. 48 – Verschneiden von Thermalbild und Gebäudekomplex Kolingasse

Das neu entstandene Rasterbild wurde für die Selektion von Temperaturen zuerst in Punktwerte umgewandelt.

Mit dem Selektieren-Befehl wurden alle Punkte, deren Werte über den festgelegten Grenzwerten lagen, ausgewählt. Bei diesem Gebäude wurden die gleichen Grenzwerte für die Hot Spots wie für das Rathaus gewählt. Die ausgewiesenen Hot Spots werden im Kapitel Ergebnisse und Diskussion dargestellt.

6.3 Ortung potentieller Problemstellen im Fernwärmeleitungsnetz

Die Ortung potentieller Problemstellen im Fernwärmeleitungsnetz wurde mit dem Programm ArcGIS 10 – ArcMap (Fa. ESRI) durchgeführt. Dafür wurden alle benötigten Daten als Layer in eine .mxd-Datei (Kartenformat) geladen und vor der weiteren Verarbeitung grafisch angepasst (Symbole, Farben). Für die Ortung potentieller Problemstellen wurde mit dem mittels DGM orthorektifizierten Thermalbild gearbeitet (siehe Kapitel 3.2.3).

6.3.1 Verwendete Daten

Für die Abfragen wurden folgende Daten verwendet:

- Thermalbild vom 01.02.2012, orthorektifiziert mittels DGM als Rasterdatei,
- Digitaler Zentraler Leitungskataster als Vektordatensatz,
- Flächen-Mehrzweckkarte als Vektordatensatz und
- Orthophoto als Rasterdatei.

Für die Einfärbung des Thermalbildes wurde ein Temperaturbereich von -11° C bis -4° C gewählt. In diesem Bereich waren die Leitungen im Vergleich zur Umgebung am besten sichtbar. Dadurch konnte kontrolliert werden, ob die Daten richtig überlagert wurden.

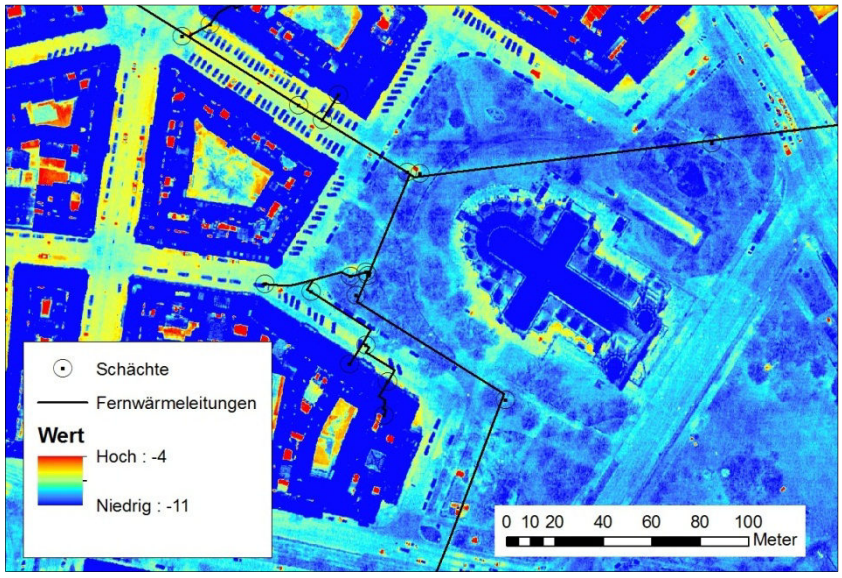


Abb. 49 – Überlagerung von Leitungsnetz und Thermalbild, Votivkirche

6.3.2 Verschneiden von Thermalbild und Leitungsnetz

Um mögliche Lagefehler auszugleichen und der Ortung potentieller Problemstellen im Vorhinein mehr Spielraum zu geben, wurde um die Leitungen ein Puffer gelegt. Nach Variation mehrerer Pufferbreiten wurde der Puffer mit 1,5 m festgelegt. ArcToolbox: Analysis Tools / Nachbarschaftsanalyse / Puffer. Der Puffer wurde in ein neues Shapefile gespeichert.

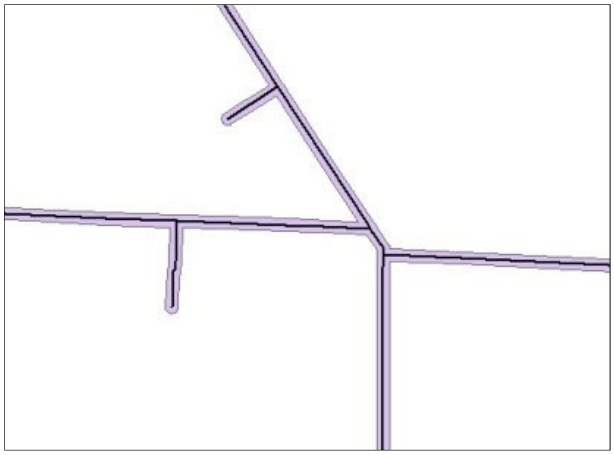


Abb. 50 – Puffer um Leitungen (lila)

Der erstellte Puffer wurde mittels Ausschneide-Werkzeug mit dem darunterliegenden Thermalbild verschnitten und das Ergebnis in einen neuen Layer gespeichert. ArcToolbox: Daten Management Tools / Raster / Raster-Verarbeitung / Ausschneiden. Als Eingabe-Raster wurde das Thermalbild gewählt, als formgebende Ausgabeausdehnung das gepufferte Leitungsnetz. Ziel war es, Rasterwerte nur noch entlang des Leitungsnetzes zu erhalten.

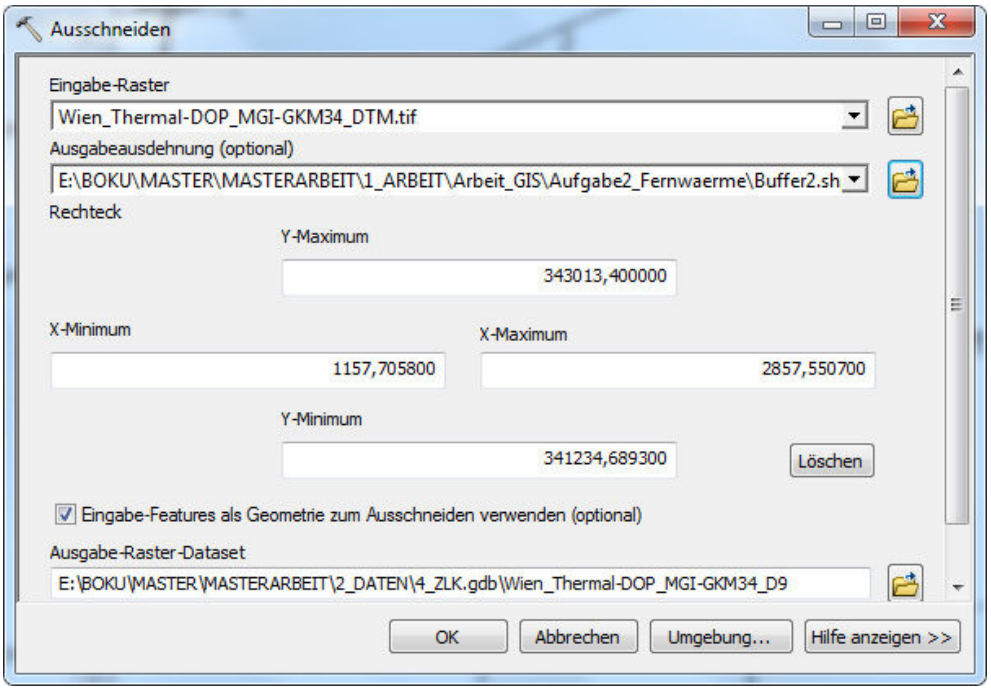


Abb. 51 – Funktion „Ausschneiden“ für Rasterdaten

Durch das Ausschneiden entstand ein neuer Rasterdatensatz, der nur noch innerhalb des Puffers Zellenwerte enthielt. Der neue Datensatz wird auf der folgenden Abbildung dargestellt.

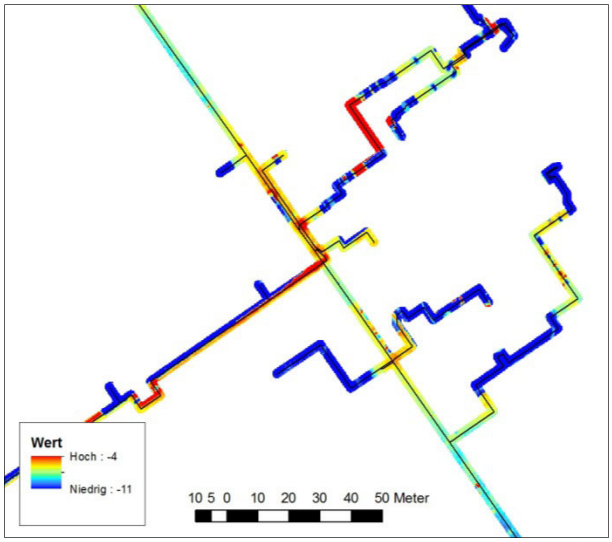


Abb. 52 – Verschneidung von Thermalbild und Leitungsnetz

Dieses Raster konnte für die Abfragen noch nicht verwendet werden. Zuvor mussten mögliche Fehlerquellen aus den Daten entfernt werden. Diese Fehlerquellen werden im folgenden Kapitel beschrieben.

6.3.3 Selektion verfälschender Bereiche

Die Fernwärmeleitungen verliefen einerseits entlang von Straßen und Plätzen, andererseits unterhalb von Gebäuden oder Wasserflächen. Dadurch war es möglich, dass eine Leitung unter einem beheizten Kamin oder Glasdach durchführte und aus diesem Grund hohe Temperaturwerte aufwies. Dieser Umstand würde bei der Ortung potentieller Problemstellen zu falschen Ergebnissen führen.

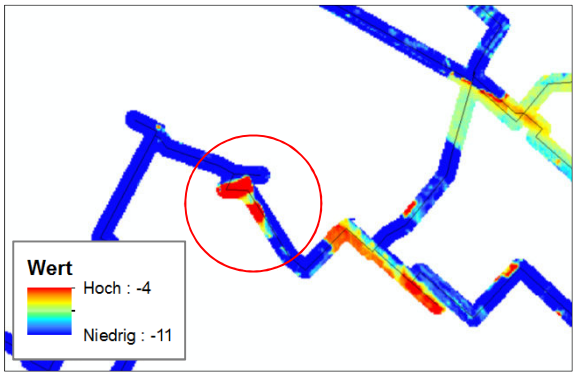


Abb. 53 – Hohe Temperaturen entlang der Leitung

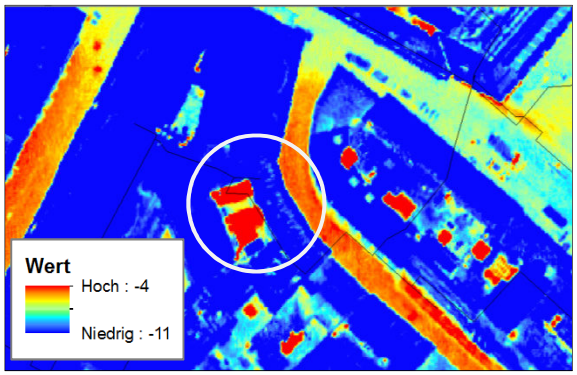


Abb. 54 – Hohe Temperaturen stammen von Gebäude

Um die Ausweisung von Kaminen, Dächern o.a. als mögliche Problemstellen auszuschließen, mussten alle Flächen, die diese Nutzungsarten zugewiesen hatten, aus dem Rasterdatensatz entfernt werden. Dazu wurden aus der Flächen-Mehrzweckkarte nur jene Flächen ausgelesen, die die Leitungen nicht überdeckten oder unbeheizt waren. Dies galt für Straßen, offene private Flächen, Gleiskörper etc. Diese Flächen wurden in einem neuen Layer

zusammengeführt und für die spätere Abfrage gespeichert. Folgende Nutzungsarten wurden wegen möglicher Verfälschung ausgeschlossen:

Klasse	Beschreibung
11	Gebäude
12	Überbauung, Verbindungsgang zwischen Häusern
13	Flugdach
14	Glashaus
19	Sonstige Gebäudefläche (Nebengebäude, ...)
41	Natürliches Gewässer, Badesee
42	Schwimmbecken, Biotop (auf Privatgrund)
43	Brunnen (im Park), künstliche Wasserfläche (auf öffentl. Flächen)
44	Gerinne
49	Sonstige Gewässerfläche
51	Hof, Innenhof (bei Gebäuden)
92	Energieversorgung
93	Klärbecken

Tabelle 7 – Nutzungsarten, die die Ortung potentieller Problemstellen verfälschen

In der Attributtabelle der Flächen-Mehrzweckkarte waren die Nutzungsarten der Flächen unter „F_Klasse“ abgelegt. Die Flächen wurden mit dem Selektieren-Befehl ausgewählt. ArcToolbox / Analysis Tools / Extrahieren / Selektieren.

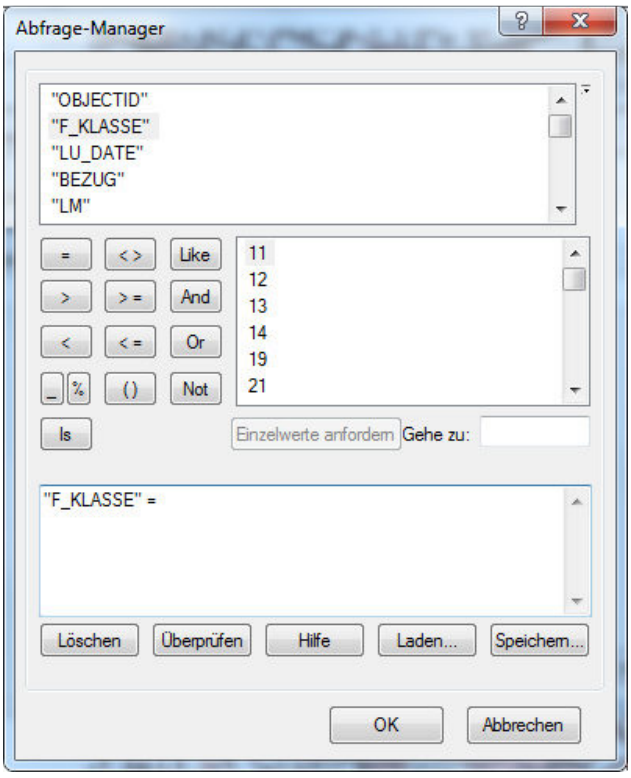


Abb. 55 – Selektion von Flächen nach ihrer Nutzung

Als Ergebnis wurde ein Shapefile erstellt, in dem nur noch - die Ergebnisse nicht verfälschende - Flächen enthalten waren. Das neue Shapefile enthielt für die noch vorhandenen Flächen alle Nutzungsarten und Begrenzungen, was zu einer langen Rechendauer führen würde. Um ein Flächenelement zu erstellen, mit dem das Raster leicht verschnitten werden konnte, wurden die Flächen zusammengefügt und ein neues Shapefile erstellt. Dieses bestand aus einer einzigen Fläche ohne Begrenzungen oder Nutzungen, was die Rechendauer deutlich verkürzte.

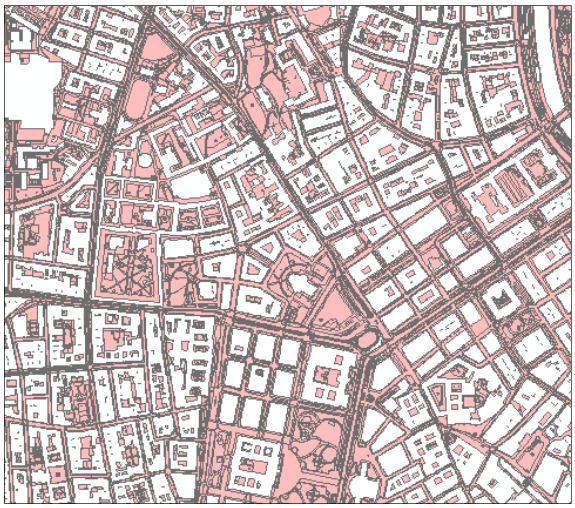


Abb. 56 – Shapefile mit ausgesuchten Flächen

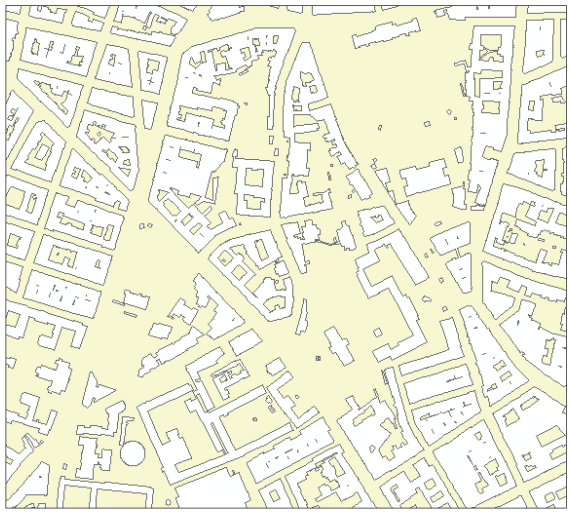


Abb. 57 – Zusammengesetzte Fläche

Die zusammengengesetzte Fläche konnte nun mit dem Leitungsnetz verschnitten werden.

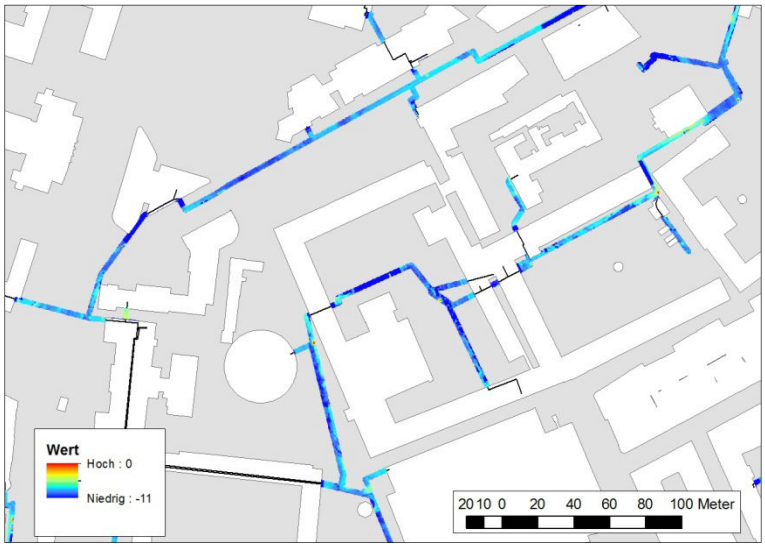


Abb. 58 – Rasterwerte entlang von Straßen oder offenen Flächen (grau)

Für die übrig gebliebenen Rasterwerte konnte eine erste Abfrage durchgeführt werden. Dazu wurden mit der Funktion „Raster zu Punkt“ alle Rasterwerte zu Punktwerten umgewandelt. ArcToolbox: Conversion Tools / Von Raster / Raster zu Punkt. Für die Punktwerte konnte mit

dem Selektieren-Befehl ein Grenzwert festgelegt werden, so dass nur Punkte über dem Grenzwert angezeigt wurden. Die Umgebungstemperatur am 01.02.2012 betrug in Wien -11° C (wetter.com AG, 2013), daher wurde der Grenzwert für einen ersten Versuch mit 0° C festgelegt.

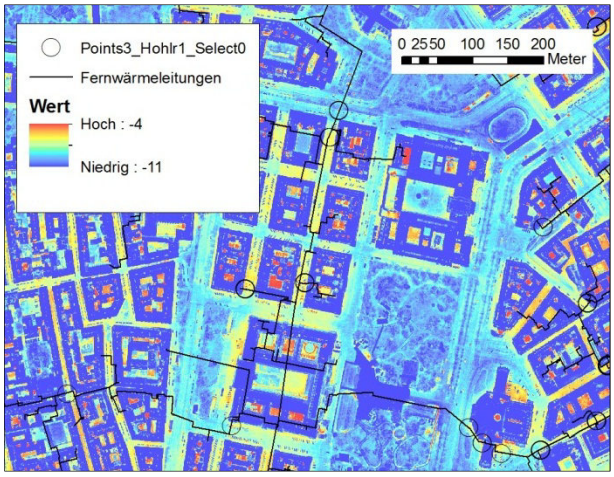


Abb. 59 – Stellen mit Temperaturen über 0° C

Bei der Sichtung der Resultate war festzustellen, dass viele der gelieferten Punkte über kreisrunden Objekten lagen, die sich in unmittelbarer Nähe von Schächten befanden. Der Abstand zwischen den eingezeichneten Schächten und den kreisförmigen Wärmequellen betrug in einem Großteil der Fälle mehrere Meter. Ein Vergleich mit dem Orthophoto brachte keine weiteren Aufschlüsse. Es wurde daher von einer geometrischen Ungenauigkeit der Schachtlagen ausgegangen.[1]

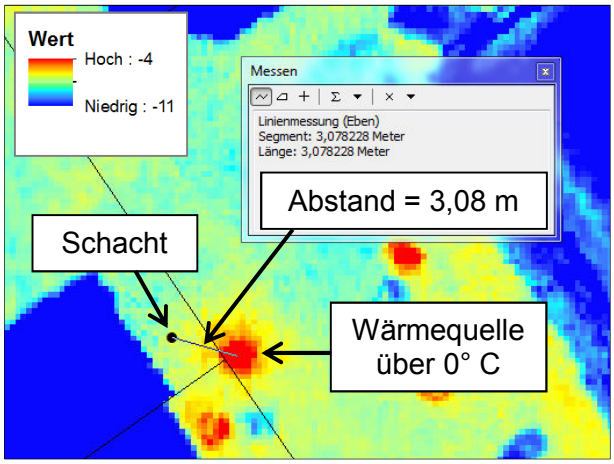


Abb. 60 – Abstand zwischen Wärmequelle und Schacht

[1] Mit dieser Methode könnten in Zukunft geometrisch ungenaue Schächte identifiziert werden.

Um die Schächte aus den Abfragen zu entfernen, wurde um alle Schächte ein Puffer von 3 m gelegt und ein neues Shapefile erstellt. Der Puffer wurde so groß gewählt, da der Großteil der Wärmequellen in bis zu 3 m Entfernung von den Schächten lagen (siehe Abb. 60). Durch diese Vorgehensweise wurden nicht alle kreisförmigen Wärmequellen entfernt, ein noch größerer Puffer hätte jedoch zu große Bereiche aus dem Datensatz gelöscht.

Um die Puffer aus den Punktwerten des Rasters auszuschneiden, wurde die Radier-Funktion verwendet. ArcToolbox: Analysis Tools / Overlay / Radieren. Als Eingabe-Feature wurden die Rasterpunkte festgelegt, als zu entfernendes Feature die Puffer um die Schächte. Die Schächte mit den Puffern sowie das Ergebnis der Radier-Funktion werden auf den nächsten Grafiken dargestellt.

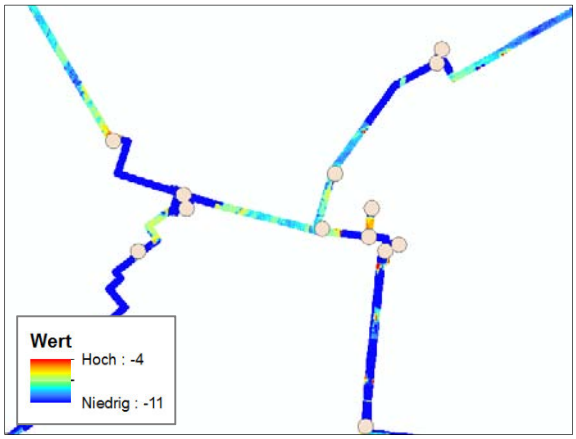


Abb. 61 – Puffer um Schächte (hellrosa)

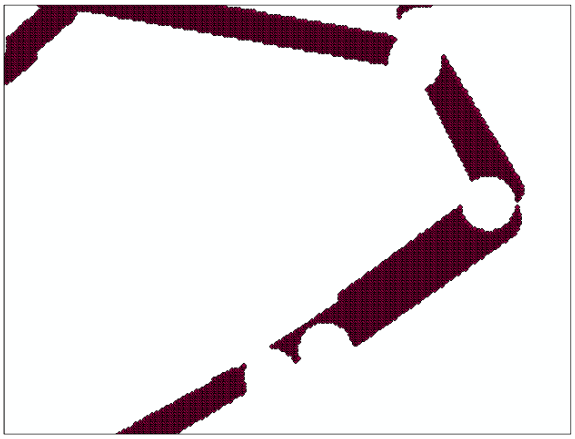


Abb. 62 – Entfernen der Puffer mit Funktion „Radieren“

Ein weiterer Datensatz enthielt Flächenelemente, die unterirdische Hohlräume im Bereich der Leitungen darstellten. Um auch diese von den Ergebnissen auszuschließen, wurde um die Hohlräume ein Puffer von 1 m gelegt und aus den Rasterpunkten mit der Radier-Funktion entfernt. Der Puffer wurde so klein gewählt, da die Lagegenauigkeit der Hohlräume größer war, als bei den Schächten (siehe Abb. 63)

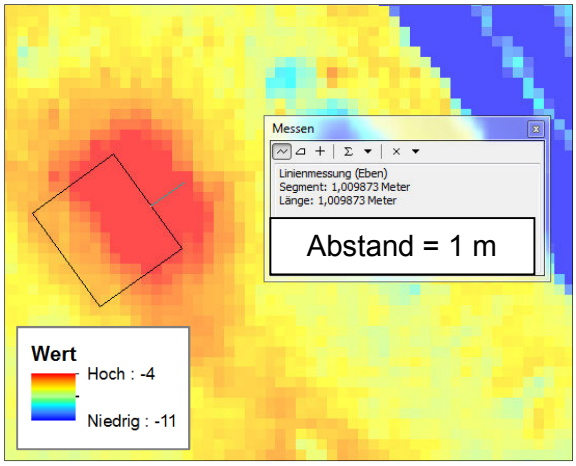


Abb. 63 – Abstand zw. Wärmequelle und Schacht

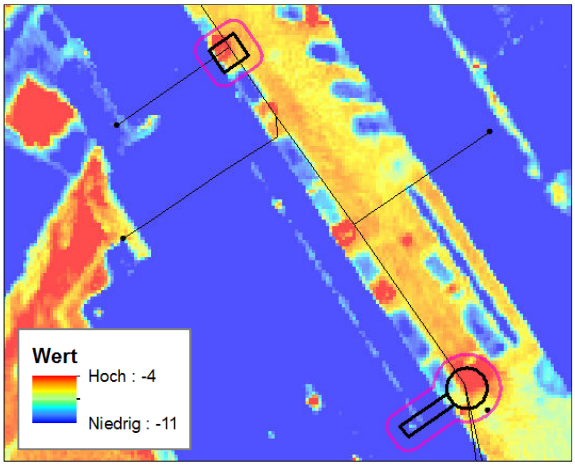


Abb. 64 – Hohlräume (schwarz) mit Puffer (rosa)

Die übrig gebliebenen Rasterpunkte und die radierten Flächen werden auf der nächsten Grafik abgebildet.

Abb. 65 – Rasterdaten (grau) ohne Schächte und Hohlräume

Mit dem Selektieren-Befehl wurden die übrigen Werte noch einmal abgefragt. Diesmal wurde die Grenztemperatur auf 5° C erhöht, da die meisten Schächte Temperaturen unter 5° C aufwiesen und sie dadurch ebenso von der Suche ausgeschlossen werden konnten. Die gelieferten Ergebnisse enthielten keine automatisch entfernbaren Objekte mehr.

6.3.4 Optische Ausschlusskriterien

Bei der Sichtung der Ergebnisse wurde erkannt, dass einige verfälschende Wärmequellen im Vorfeld nicht entfernt werden konnten. Dies galt für Autos, Personen oder andere nicht ortsfeste Gegenstände, die sich entlang der Leitungen auf den Straßen oder Gehwegen befanden. Da während der Thermalbildaufnahme kein Orthophoto mitaufgenommen wurde, konn-

ten diese Objekte nicht automatisch entfernt werden. Sie konnten erst nach einer visuellen Verifikation ausgewiesen und damit für die weitere Bearbeitung verworfen werden. Beispiele für solche Objekte werden auf den folgenden Grafiken dargestellt.

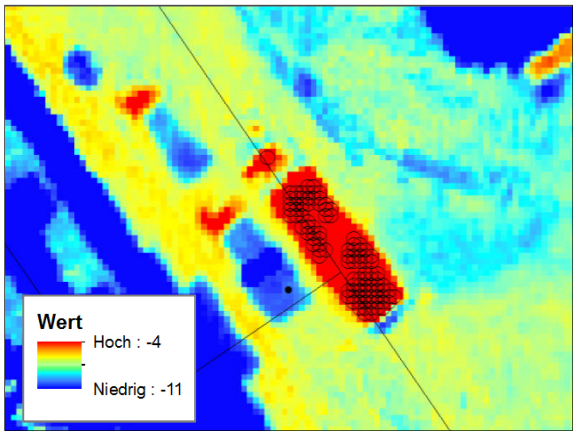


Abb. 66 – Vermutlicher Bus als Wärmequelle

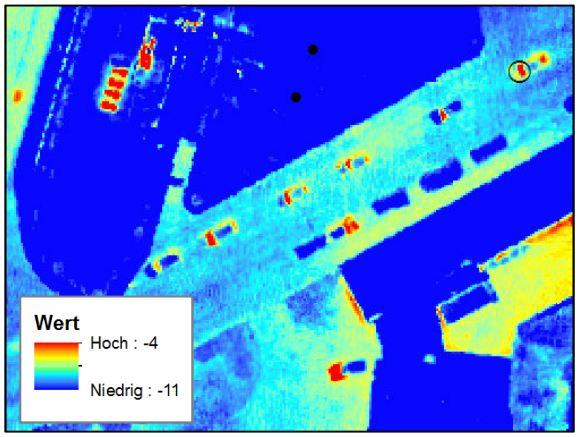


Abb. 67 – Motorhauben von Autos als Wärmequelle

Eine Annahme, die für die Beurteilung möglicher Problemstellen im Leitungsnetz ebenfalls herangezogen wurde, war die flächige Ausbreitung von Wärme im Boden. Räumlich stark begrenzte Wärmequellen wurden daher als potentielle Problemstellen ausgeschlossen. Es ist hier anzumerken, dass die Beurteilung in dieser Arbeit subjektiv war und die später aufgezeigten Ergebnisse nur erste Interpretationsversuche darstellen.

6.4 Überprüfung der Straßenbahnweichen-Heizungen

Die Überprüfung der Straßenbahnweichen-Heizungen wurde mit dem Programm ArcGIS 10 – ArcMap (Fa. ESRI) durchgeführt. Dafür wurden alle benötigten Daten als Layer in eine .mxd-Datei (Kartenformat) geladen und vor der weiteren Verarbeitung grafisch angepasst (Symbole, Farben). Für die Untersuchungen wurde mit dem mittels DGM orthorektifizierten Thermalbild gearbeitet (siehe Kapitel 3.2.3).

6.4.1 Verwendete Daten

Für die Abfragen wurden folgende Daten verwendet:

- Thermalbild vom 01.02.2012, korrigiert mittels DGM als Rasterdatei,
- Weichenplan der Wiener Linien als Vektordatensatz und
- Flächen-Mehrzweckkarte als Vektordatensatz.

Für die Einfärbung d es Thermalbildes wurden Temperaturwerte von -15° C bis 12° C gewählt. In diesem Bereich waren die Weichenheizungen im Vergleich zur Umgebung am besten sichtbar. Einige Heizungen werden auf der folgenden Grafik dargestellt.

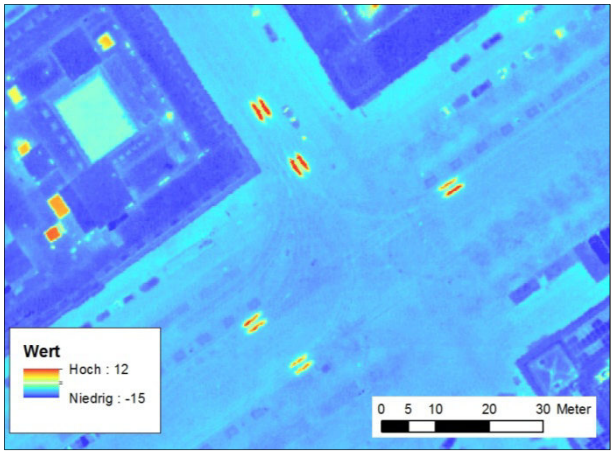


Abb. 68 – Straßenbahnweichen-Heizungen bei -15° C bis 12° C

6.4.2 Darstellen von Weichen und Gleiskörper

Als erstes wurden aus der Flächen-Mehrzweckkarte alle Flächen selektiert, die die Nutzung „27 – Schienenbereich“ eingetragen hatten. Diese Flächen wurden in ein neues Shapefile gespeichert und die Konturen der Flächen dargestellt.

Die Weichen waren als Linien in der Mitte der Gleise eingezeichnet. Durch Überlagern der Layer mit dem Thermalbild konnte überprüft werden, ob die Daten richtig übereinander lagen. Dabei stellte sich heraus, dass ein Teil der Weichenheizungen genau auf den Schienen

lagen, die anderen Heizungen lagen jedoch um ca. 1 m daneben. Die Unterschiede werden auf den folgenden Grafiken dargestellt.

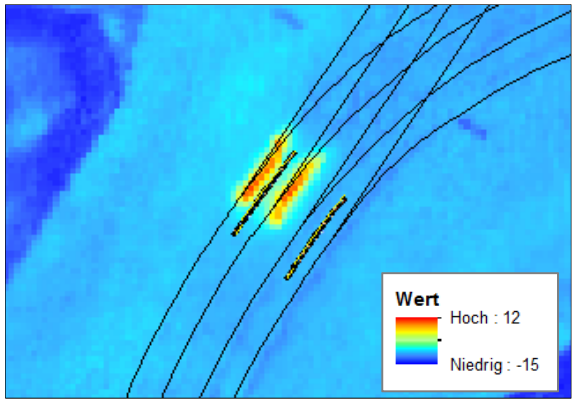


Abb. 69 – Weichenheizung liegt genau auf Schienen

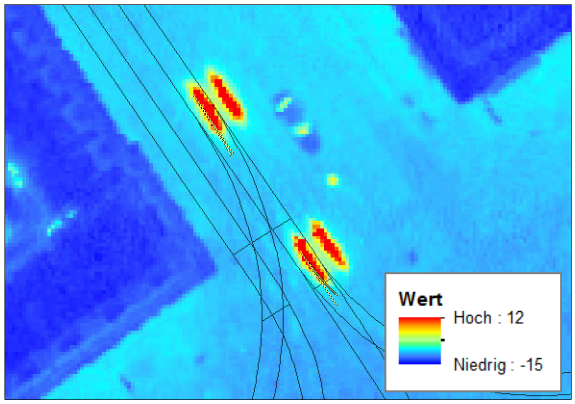


Abb. 70 – Weichenheizung liegt neben Schienen

Da die Schienen und das Orthophoto gut übereinander lagen, ist anzunehmen, dass die Lagefehler durch das Thermalbild bedingt sind. Diese Ungenauigkeiten mussten bei der späteren Abfrage berücksichtigt werden.

6.4.3 Statistische Auswertung einzelner Weichen im Testgebiet

Um einen ersten Überblick über den Werteverlauf im Bereich der Weichen zu erhalten, wurden für einen Vergleich zwei Weichen mit Heizungen und zwei Weichen ohne Heizungen ausgewählt.

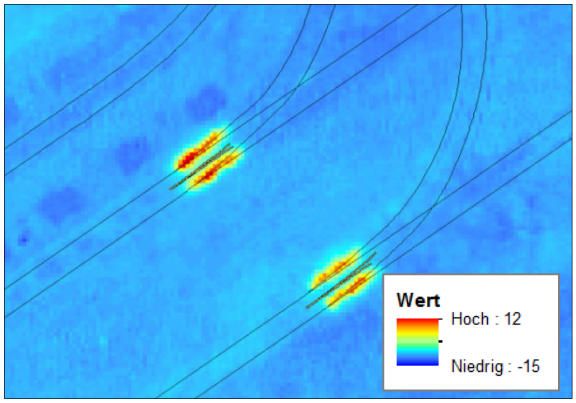


Abb. 71 – Weichen mit Heizung

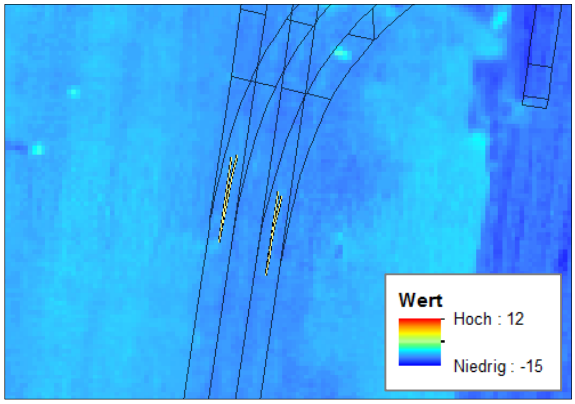


Abb. 72 – Weichen ohne Heizung

Die ausgewählten Weichen wurden über ihre FID identifiziert und mit dem Selektieren-Befehl in einen neuen Layer gespeichert. Für diese Weichen konnte jetzt ein Puffer bestimmt werden, mit dem die Abfragen durchgeführt wurden. Der Abstand zwischen der Weichenlinie und der Heizung betrug ca. 1,1 m. Auf der nächsten Grafik wird der Abstand genau dargestellt.

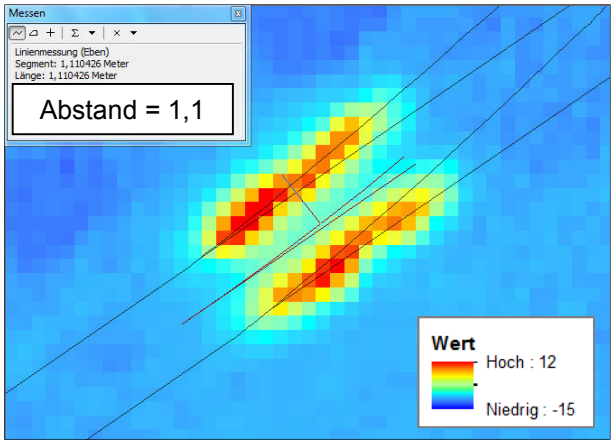


Abb. 73 – Abstand zwischen Weiche und Heizung

Bei der Erstellung des Puffers wurde als Dissolve-Typ „LIST“ ausgewählt und als Dissolve-Feld die id der Weichen. So wurden alle Puffer, deren Weichen die gleiche id hatten, vereint.

Die eingezeichneten Weichen waren länger als die Heizungen daneben, dadurch wurden die Puffer länger als notwendig. Die erstellten Puffer werden auf der nächsten Grafik dargestellt.

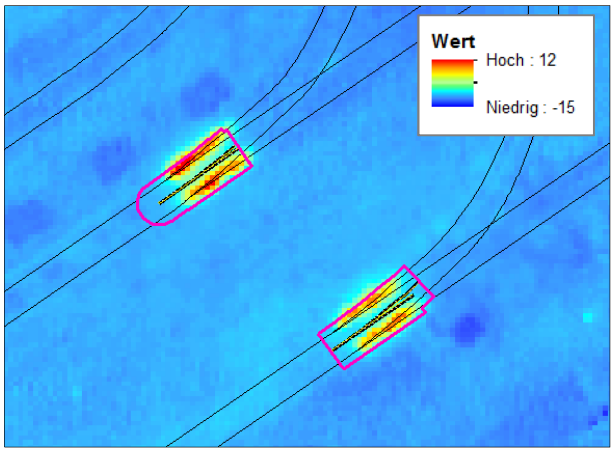


Abb. 74 – Puffer um ausgewählte Weichen (pink)

Um statistische Informationen über die einzelnen Weichenheizungen zu bekommen, waren Abfragen über die Werte innerhalb der Puffer notwendig. Diese konnten über die Zonal Statistics[1] ausgelesen werden. ArcToolbox: Spatial Analysis Tools / Zonal / Zonal Statistics as Table. Um die Zonal Statistics durchzuführen, wurden die Puffer und das darunter liegende Thermalbild ausgewählt.

[1] *Zonal Statistics:* Durch Festlegen bestimmter Bereiche, sogenannter Zonen, können statistische Werte innerhalb dieser Zonen ausgelesen und in einer Tabelle gespeichert werden. Die einzelnen Zonen können anhand dieser Werte über SQL Befehle ausgewählt werden.

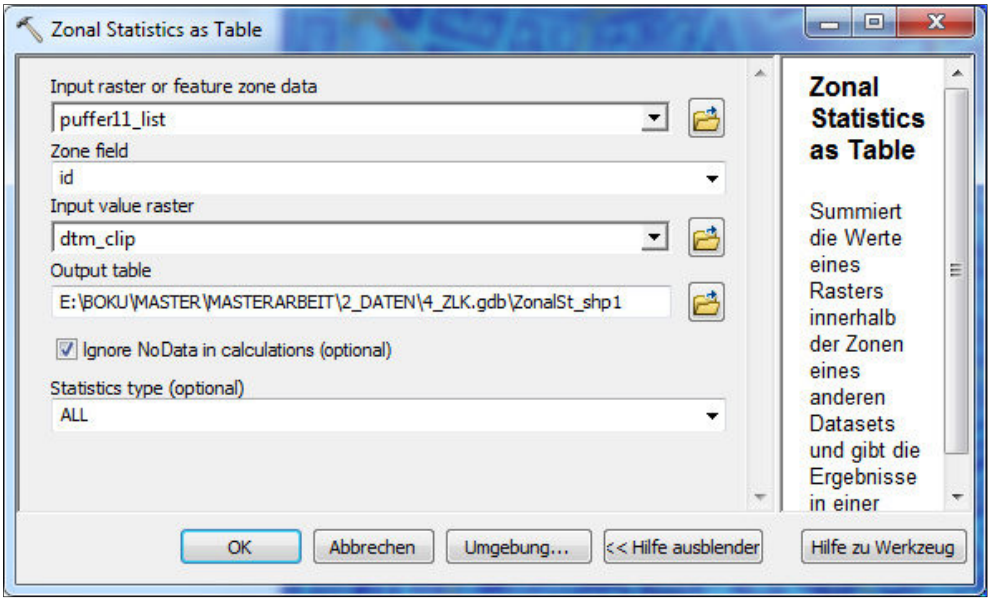
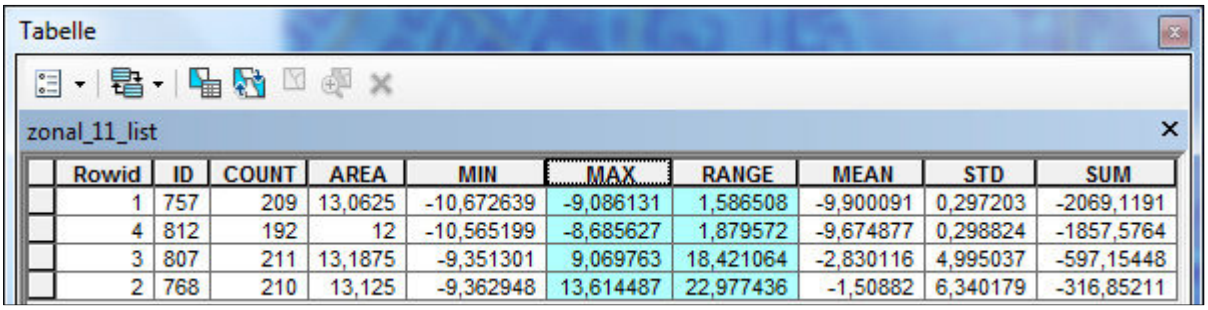


Abb. 75 – Abfrage der Zonal Statistics für ausgewählte Weichen

Die Abfrage lieferte als Ergebnis eine Tabelle, in der die IDs der Puffer sowie alle statistischen Werte zu dem Raster aufgelistet waren. Die Tabelle wird auf der folgenden Grafik dargestellt.



Rowid	ID	COUNT	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
1	757	209	13,0625	-10,672639	-9,086131	1,586508	-9,900091	0,297203	-2069,1191
4	812	192	12	-10,565199	-8,685627	1,879572	-9,674877	0,298824	-1857,5764
3	807	211	13,1875	-9,351301	9,069763	18,421064	-2,830116	4,995037	-597,15448
2	768	210	13,125	-9,362948	13,614487	22,977436	-1,50882	6,340179	-316,85211

Abb. 76 – Zonal Statistics Tabelle für ausgewählte Weichen

Über die ID konnten die Wertereihen den Puffern zugeteilt werden. Die ersten beiden Wertereihen gehörten zu den Weichen ohne Heizung, die letzten beiden gehörten zu den Weichen mit Heizung.

Die Spalten MAX und RANGE in der Tabelle lieferten markante Unterschiede. Weichen ohne Heizungen hatten als Maximaltemperatur beinahe Umgebungstemperatur (-11° C), während Weichen mit Heizung Temperaturen von ca. 10° C aufwiesen. Mit diesen Informationen konnte jetzt eine Abfrage für das ganze Gebiet durchgeführt werden.

6.4.4 Statistische Auswertung aller Weichen im Testgebiet

Als erstes wurde um alle Weichen im Testgebiet ein Puffer von 1,1 m gelegt. Da an einigen Stellen die Heizungen nicht genau auf den Gleisen lagen, wurden dadurch einige Werte abgeschnitten. Um dies zu verhindern, wurde der Puffer auf 1,8 m erhöht.

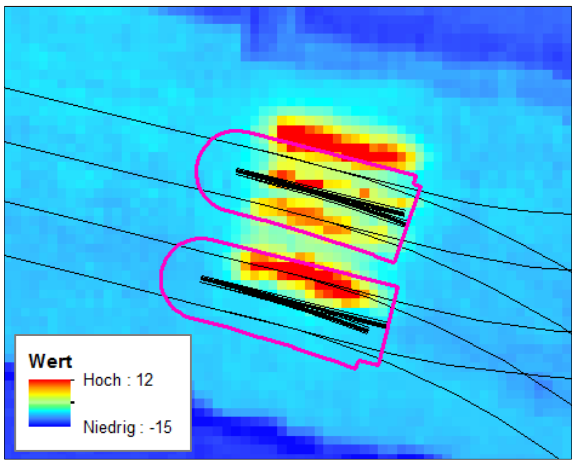


Abb. 77 – Heizungen liegen außerhalb des Puffers

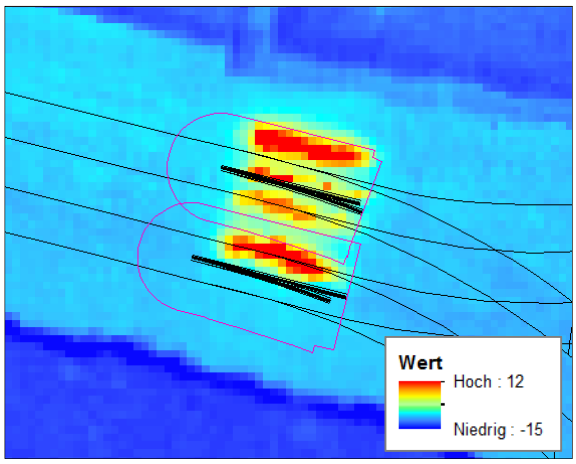


Abb. 78 – Heizungen liegen innerhalb des Puffers

Mit den neu erstellten Puffern wurden die Zonal Statistics für das gesamte Testgebiet berechnet. ArcToolbox: Spatial Analysis Tools / Zonal / Zonal Statistics as Table.

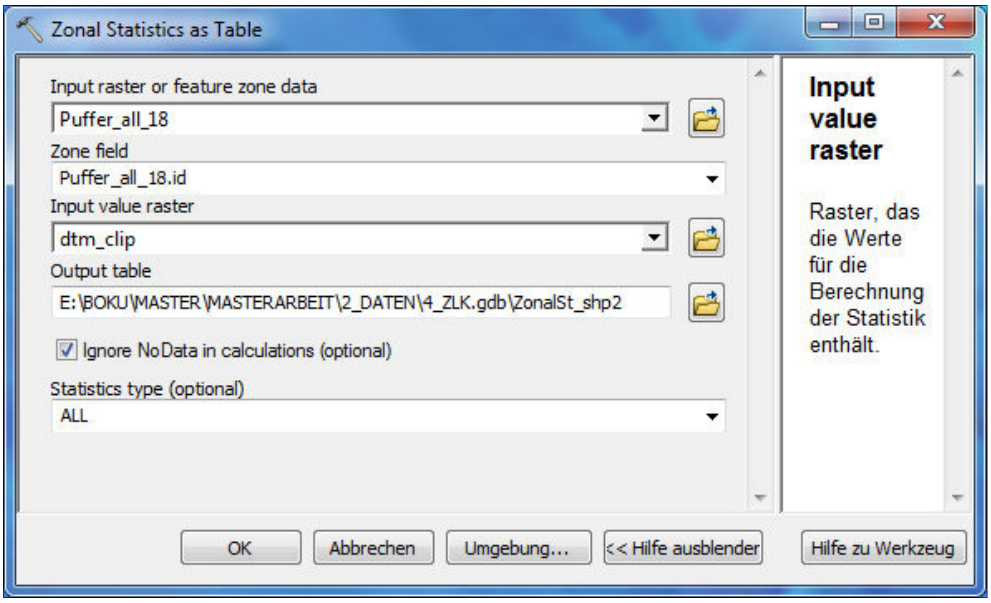
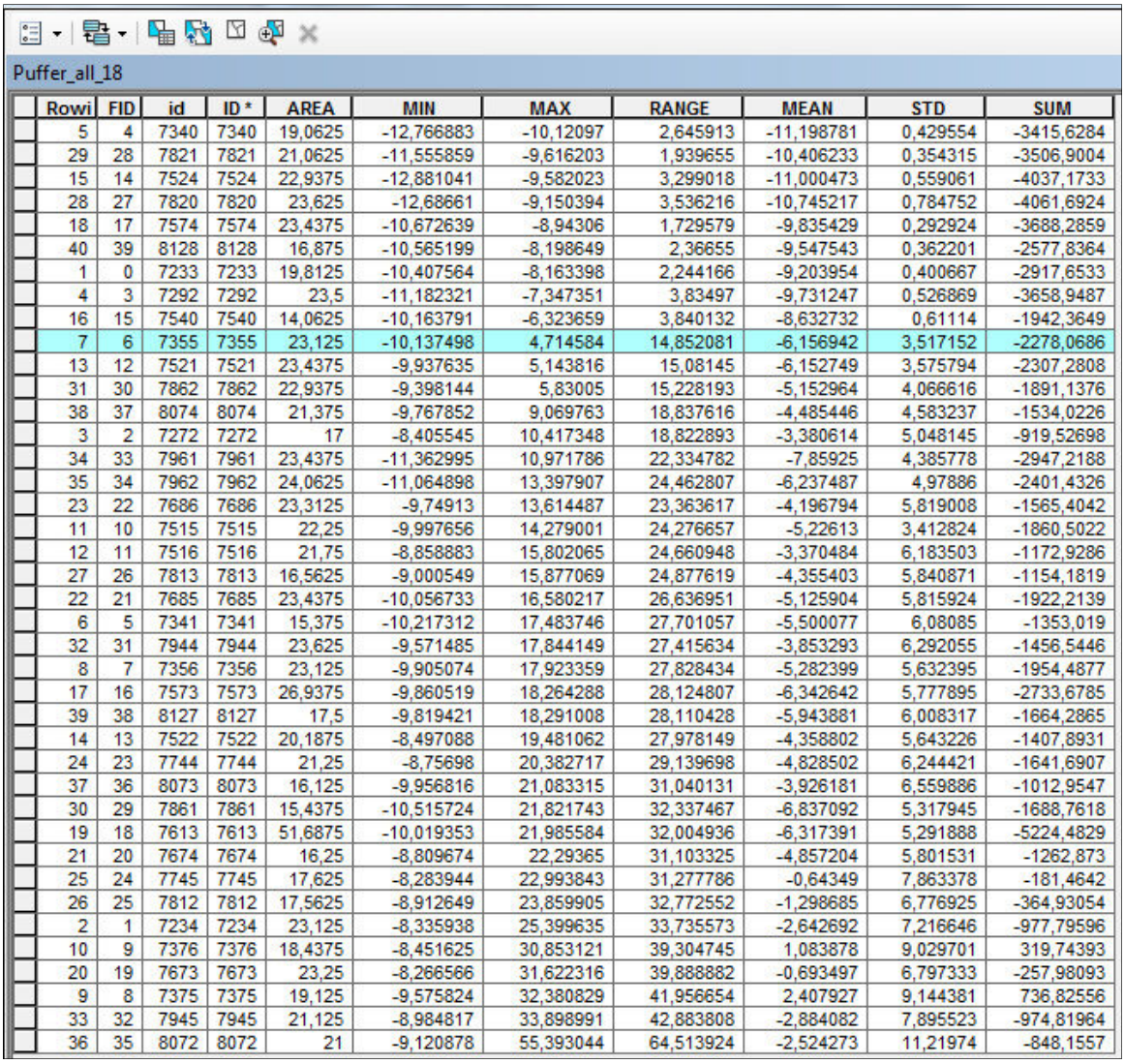


Abb. 79 – Abfrage der Zonal Statistics für alle Weichen im Testgebiet

Um die Puffer bei Auswahl in der Tabelle auch auf der Karte anzeigen zu können, wurde die Statistics-Tabelle mit der Attributtabelle des Puffer-Layers verbunden. Tabellenoptionen / Verbindungen und Beziehungen / Verbinden. Als Schlüsselobjekt wurde die id der Weichen ausgewählt. Die fertige Tabelle wird auf der folgenden Grafik dargestellt.



Puffer_all_18

Rowi	FID	id	ID *	AREA	MIN	MAX	RANGE	MEAN	STD	SUM
5	4	7340	7340	19,0625	-12,766883	-10,12097	2,645913	-11,198781	0,429554	-3415,6284
29	28	7821	7821	21,0625	-11,555859	-9,616203	1,939655	-10,406233	0,354315	-3506,9004
15	14	7524	7524	22,9375	-12,881041	-9,582023	3,299018	-11,000473	0,559061	-4037,1733
28	27	7820	7820	23,625	-12,68661	-9,150394	3,536216	-10,745217	0,784752	-4061,6924
18	17	7574	7574	23,4375	-10,672639	-8,94306	1,729579	-9,835429	0,292924	-3688,2859
40	39	8128	8128	16,875	-10,565199	-8,198649	2,36655	-9,547543	0,362201	-2577,8364
1	0	7233	7233	19,8125	-10,407564	-8,163398	2,244166	-9,203954	0,400667	-2917,6533
4	3	7292	7292	23,5	-11,182321	-7,347351	3,83497	-9,731247	0,526869	-3658,9487
16	15	7540	7540	14,0625	-10,163791	-6,323659	3,840132	-8,632732	0,61114	-1942,3649
7	6	7355	7355	23,125	-10,137498	4,714584	14,852081	-6,156942	3,517152	-2278,0686
13	12	7521	7521	23,4375	-9,937635	5,143816	15,08145	-6,152749	3,575794	-2307,2808
31	30	7862	7862	22,9375	-9,398144	5,83005	15,228193	-5,152964	4,066616	-1891,1376
38	37	8074	8074	21,375	-9,767852	9,069763	18,837616	-4,485446	4,583237	-1534,0226
3	2	7272	7272	17	-8,405545	10,417348	18,822893	-3,380614	5,048145	-919,52698
34	33	7961	7961	23,4375	-11,362995	10,971786	22,334782	-7,85925	4,385778	-2947,2188
35	34	7962	7962	24,0625	-11,064898	13,397907	24,462807	-6,237487	4,97886	-2401,4326
23	22	7686	7686	23,3125	-9,74913	13,614487	23,363617	-4,196794	5,819008	-1565,4042
11	10	7515	7515	22,25	-9,997656	14,279001	24,276657	-5,22613	3,412824	-1860,5022
12	11	7516	7516	21,75	-8,858883	15,802065	24,660948	-3,370484	6,183503	-1172,9286
27	26	7813	7813	16,5625	-9,000549	15,877069	24,877619	-4,355403	5,840871	-1154,1819
22	21	7685	7685	23,4375	-10,056733	16,580217	26,636951	-5,125904	5,815924	-1922,2139
6	5	7341	7341	15,375	-10,217312	17,483746	27,701057	-5,500077	6,08085	-1353,019
32	31	7944	7944	23,625	-9,571485	17,844149	27,415634	-3,853293	6,292055	-1456,5446
8	7	7356	7356	23,125	-9,905074	17,923359	27,828434	-5,282399	5,632395	-1954,4877
17	16	7573	7573	26,9375	-9,860519	18,264288	28,124807	-6,342642	5,777895	-2733,6785
39	38	8127	8127	17,5	-9,819421	18,291008	28,110428	-5,943881	6,008317	-1664,2865
14	13	7522	7522	20,1875	-8,497088	19,481062	27,978149	-4,358802	5,643226	-1407,8931
24	23	7744	7744	21,25	-8,75698	20,382717	29,139698	-4,828502	6,244421	-1641,6907
37	36	8073	8073	16,125	-9,956816	21,083315	31,040131	-3,926181	6,559886	-1012,9547
30	29	7861	7861	15,4375	-10,515724	21,821743	32,337467	-6,837092	5,317945	-1688,7618
19	18	7613	7613	51,6875	-10,019353	21,985584	32,004936	-6,317391	5,291888	-5224,4829
21	20	7674	7674	16,25	-8,809674	22,29365	31,103325	-4,857204	5,801531	-1262,873
25	24	7745	7745	17,625	-8,283944	22,993843	31,277786	-0,64349	7,863378	-181,4642
26	25	7812	7812	17,5625	-8,912649	23,859905	32,772552	-1,298685	6,776925	-364,93054
2	1	7234	7234	23,125	-8,335938	25,399635	33,735573	-2,642692	7,216646	-977,79596
10	9	7376	7376	18,4375	-8,451625	30,853121	39,304745	1,083878	9,029701	319,74393
20	19	7673	7673	23,25	-8,266566	31,622316	39,888882	-0,693497	6,797333	-257,98093
9	8	7375	7375	19,125	-9,575824	32,380829	41,956654	2,407927	9,144381	736,82556
33	32	7945	7945	21,125	-8,984817	33,898991	42,883808	-2,884082	7,895523	-974,81964
36	35	8072	8072	21	-9,120878	55,393044	64,513924	-2,524273	11,21974	-848,1557

Abb. 80 – Zonal Statistics für alle Weichen im Testgebiet

Der Maximalwert und der Range wiesen auch hier große Unterschiede auf. Als erstes wurde die Tabelle nach den aufsteigenden Maximalwerten sortiert. In der blauen Zeile war der Sprung der Maximalwerte von <0° C auf >0° C deutlich erkennbar. An dieser Stelle gingen Weichen ohne Heizung zu Weichen mit Heizung über. Durch eine manuelle Kontrolle der Ergebnisse konnte diese Aussage bestätigt werden.

Für die spätere Untersuchung der Weichen wurden 3 Kategorien festgelegt.

Kategorie	**Grenzwert (Maximalwert)**
Funktionierende Weichenheizung	≥ 10° C
Schwache Weichenheizung	≥ 0° C < 10° C
Keine Weichenheizung	< 0° C

Tabelle 8 – Grenzwerte zur Einteilung der Weichenheizungen

Über einen SQL Befehl konnten die Weichen-Puffer anhand ihres Maximalwertes ausgewählt und in einen eigenen Layer geschrieben werden. Es ist zu beachten, dass die gewählten Grenzwerte nur für das aktuelle Thermalbild gültig sind. Die Abfrage wird auf der folgenden Grafik dargestellt.

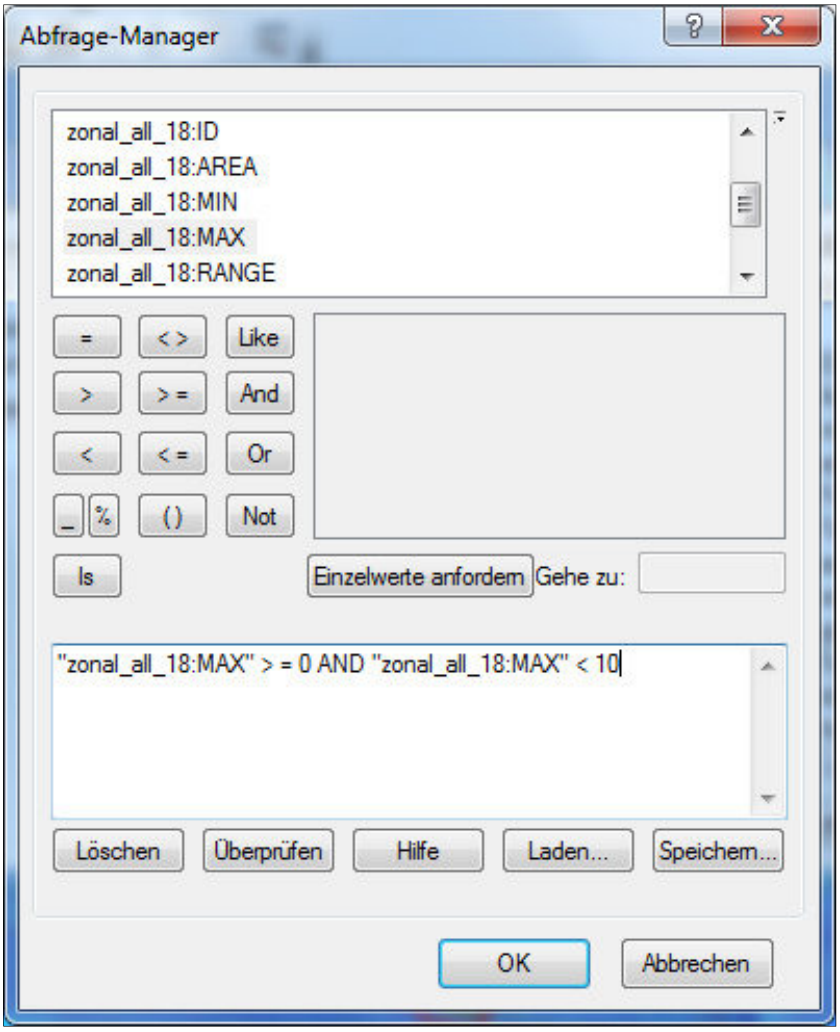


Abb. 81 – SQL Abfrage nach Grenzwerten

Das Ergebnis der Abfrage wird im Kapitel Ergebnisse und Diskussion dargestellt.

7 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungen dargestellt. Im Kapitel 7.1 werden die ausgewählten Gebäude beschrieben und die als Hot Spots ausgewiesenen Stellen innerhalb der Gebäude aufgezeigt. Im Kapitel 7.2 werden die Ergebnisse für das gesamte Testgebiet dargestellt und potentielle Problemstellen sowie zu verwerfende Stellen erklärt. Als letztes werden im Kapitel 7.3 die Ergebnisse der Weichenheizungs-Kontrolle dargestellt und beschrieben. Alle 3 Themen beinhalten ein Unterkapitel „Diskussion der Ergebnisse“ in welchem auf die Vor- und Nachteile der einzelnen Anwendungen eingegangen wird sowie ein Unterkapitel „Aufwandsschätzung“, in dem der Arbeitsaufwand für die jeweilige Methode bewertet wird.

7.1 Erstellung einer Heat Loss Map für einzelne Gebäude

Für die Erstellung der Heat Loss Maps wurden aus dem Testgebiet drei Gebäude ausgewählt und im Bereich der Dachflächen nach Hot Spots gesucht. Um im Vorfeld keine relevanten Punkte auszuschließen, wurden mehrere Grenzwerte für die Hot Spots festgelegt und der Interpretation damit mehr Raum gegeben.[1]

7.1.1 Heat Loss Map – Rathaus

Das Rathaus wurde im Jahr 1883 gebaut und besteht aus den Materialien Ziegel und Naturstein. (wien.at-Redaktion, 2013) Verwendet wird das Rathaus als öffentliches Gebäude und war am Tag der Befliegung (Mittwoch) beheizt.

Um die spätere Interpretation zu vereinfachen, werden den Ergebnissen Aufnahmen aller 4 Fassaden des Rathauses vorangestellt.

[1] Anmerkung: Bei der Interpretation der Hot Spots wird als Lagebezeichnung häufig das Wort „Innenhof“ verwendet. Ob es sich bei den Bereichen wirklich um Innenhöfe handelt, kann nur anhand des Orthophotos nicht festgestellt werden. Die Bezeichnung wurde der Flächen-Mehrzweckkarte entnommen, in der diesen Flächen die Nutzungsklasse „51 – Hof, Innenhof (bei Gebäuden)“ zugewiesen ist.

Abb. 82 – Ostfassade Rathaus (21.03.213)

Abb. 83 – Südfassade Rathaus (21.03.2013)

Abb. 84 – Westfassade Rathaus (21.03.2013)

Abb. 85 – Nordfassade Rathaus (21.03.2013)

Auf den folgenden Grafiken werden auf der Heat Loss Map des Rathauses die Hot Spots ab -3° C, 0° C und 3° C dargestellt.

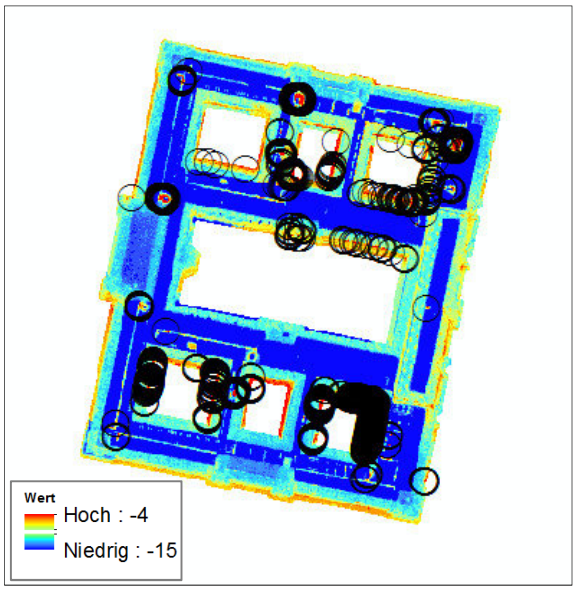


Abb. 86 – Hot Spots ab -3° C, Rathaus

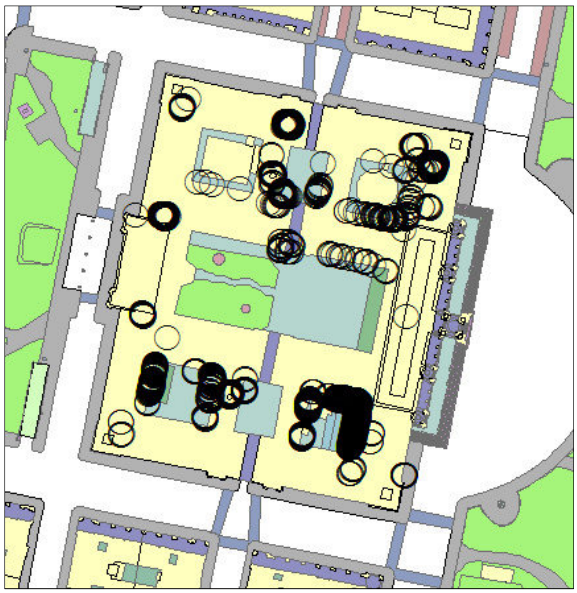


Abb. 87 – Hot Spots ab -3° C, Rathaus

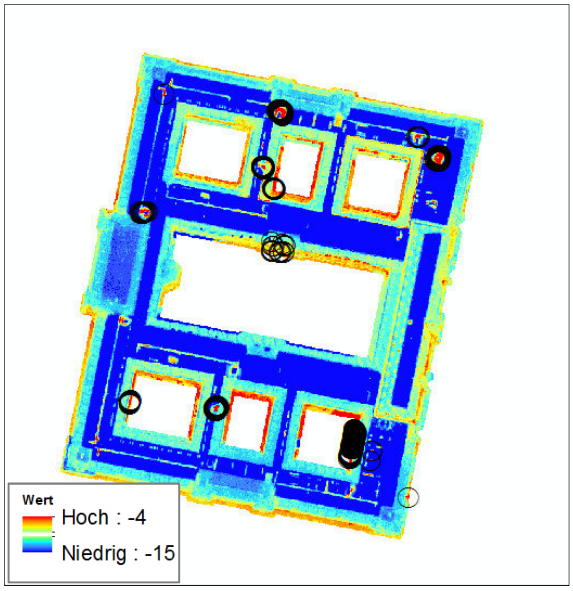


Abb. 88 – Hot Spots ab 0° C, Rathaus

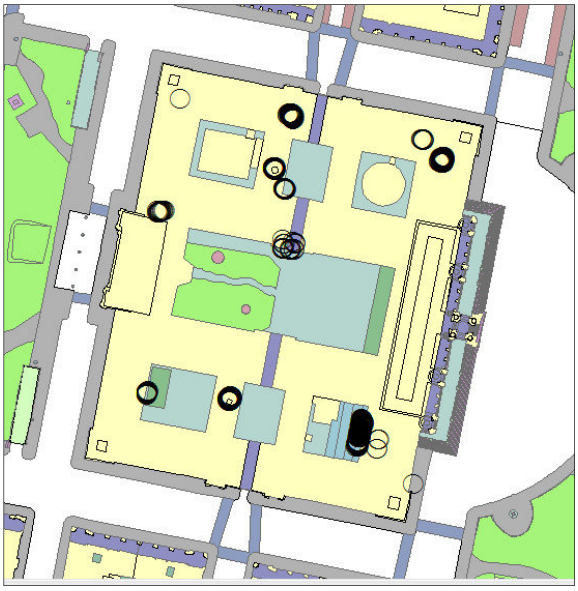


Abb. 89 – Hot Spots ab 0° C, Rathaus

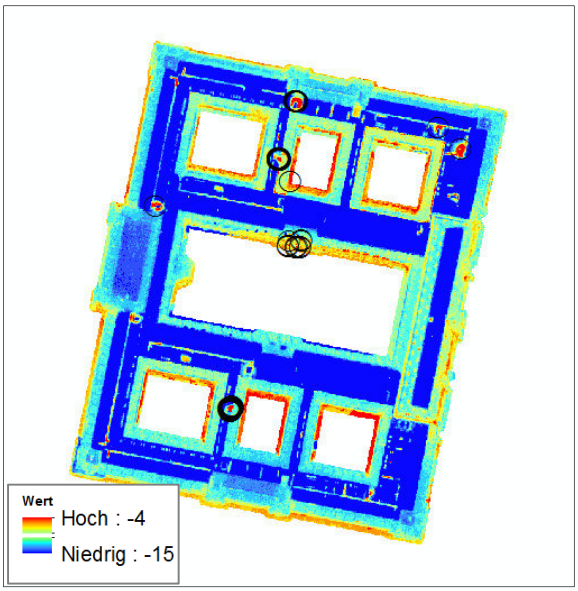


Abb. 90 – Hot Spots ab 3° C, Rathaus

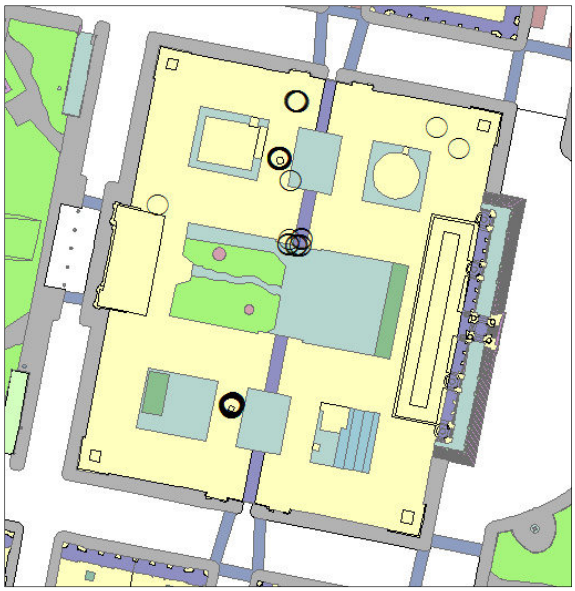


Abb. 91 – Hot Spots ab 3° C, Rathaus

Bei der Sichtung der Stellen ab -3° C war deutlich zu erkennen, dass vor allem entlang der Innenhoffassaden Wärme ausströmte. Einige wenige Stellen lagen über Kaminen[1] in der Mitte der Dachflächen. Ein weiterer Hot Spot befand sich an der nördlichen Fassade des mittleren Innenhofes. Bei einer Sichtung auf Google Maps mit 45° Winkel war zu erkennen, dass es sich um ein vorstehendes Dach handelte, welches zum Aufnahmezeitpunkt möglicherweise durch den Raum darunter erwärmt wurde. Die südliche Fassade wirkt im Ver-

[1] Im Folgenden werden Kamine mehrmals als Hots Spots genannt, sie stellen jedoch keine Schwachstellen in der Außenhaut der Gebäude dar. Da Kamine nicht in der Flächen-Mehrzweckkarte eingezeichnet waren, konnten sie im Vorfeld nicht automatisch entfernt werden.

gleich dazu kalt. Ein Grund dafür können Doppelabbildungen sein, durch die Orthorektifizierung entstanden sind.

Bei der Sichtung der Stellen ab 0° C war die Reduktion der Hot Spots deutlich erkennbar. Viele Punkte entlang der Innenhoffassaden wurden nicht mehr angezeigt. Insgesamt lagen 4 Hot Spots entlang von Innenhöfen. Eine einzelne Stelle lag an der Außenfassade im Osten. Bei einer Sichtung auf Google Maps mit 45° Winkel war an dieser Stelle keine außergewöhnliche Formation erkennbar.

Bei einem Grenzwert ab 3° C fielen die Fassaden der Innenhöfe fast vollständig durch das Raster. Abgesehen von einigen Kaminen wurden nur in einer Ecke im mittleren nördlichen Innenhof und auf dem Dach des großen mittleren Innenhofes Hot Spots angezeigt.

7.1.2 Heat Loss Map – Gebäudekomplex Grünentorgasse

Der Gebäudekomplex bei der Grünentorgasse 35 besteht aus mehreren zusammenhängenden Gebäuden und beinhaltet folgende Anschriften:

- Grünentorgasse 27, 29, 31, 33, 35, 37, 39, 41,
- Mosergasse 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16,
- Roßauer Lände 15, 17 und
- Hahngasse 16, 18.

Die Gebäude wurden zwischen 1863 und 1880 gebaut und werden heute als Wohngebäude genutzt. Nur die Hausnummern 33 und 35 stammen aus den Jahren 1945 bzw. 1918. Alle Gebäude, bis auf die Anschrift Grünentorgasse 33, haben einen erhaltenen Kern der Struktur, während die Fassade, das Dach oder die Fenster renoviert wurden. (Wien Kulturgut, ViennaGIS, 2013) Ein Auszug aus dem ViennaGIS Kulturgut Datenblatt für die Grünentorgasse 31 zeigt die folgende Abbildung.

Objektdaten	
Bautyp	W3.2.-Mieth.s.d.Gründerzeit-Seitenflügelhaus
Nutzung	Wohnnutzung
Geschoßanzahl	5
Geschoße	Keller
Bauperiode	1860-1883
Baujahr	1873
Architekt	Reinhart Johann
1. präferierte Quelle (Bauperiode, Baujahr und Architekt): Basisinventarisierung = BASISINVENTARISIERUNG DER MAGISTRATSABTEILUNG 19	
Erhaltungszustand	
Baualter der Fassade	1860-1883
Zustand	ensembletypische Parzellenstruktur erhaltene Fassade erhaltene Struktur des Kernes erhaltenes Dach

Abb. 92 – Auszug aus Datenblatt Grünentorgasse 31 (Wien Kulturgut, ViennaGIS, 2013)

Um die spätere Interpretation zu vereinfachen, werden den Ergebnissen Aufnahmen aller 4 Fassaden des Gebäudekomplexes in der Grünentorgasse vorangestellt.

Abb. 93 – Südfassade, Grünentorgasse (21.03.213)

Abb. 94 – Westfassade, Hahngasse (21.03.2013)

Abb. 95 – Nordfassade, Mosergasse (21.03.2013)

Abb. 96 – Ostfassade, Roßauer Lände (21.03.2013)

Auf den folgenden Grafiken werden auf der Heat Loss Map für den Gebäudekomplex Grünentorgasse die Hot Spots ab -3° C, 0° C und 3° C dargestellt.

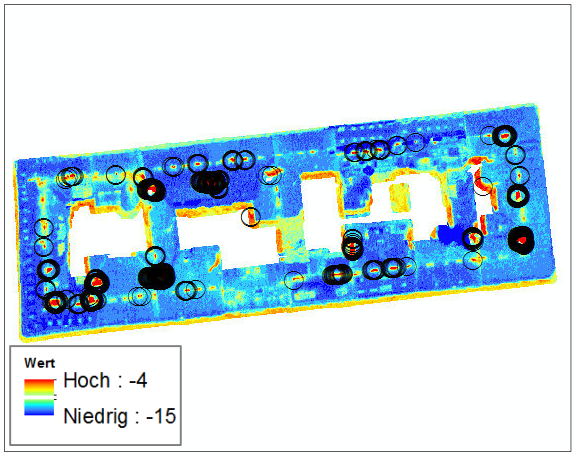


Abb. 97 – Hot Spots ab -3° C, Grünentorgasse

Abb. 98 – Hot Spots ab -3° C, Grünentorgasse

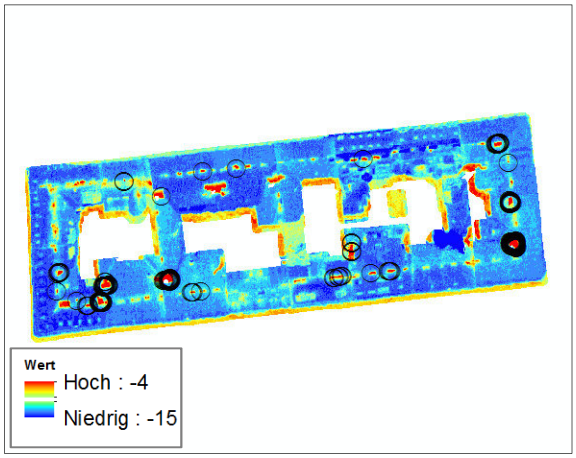


Abb. 99 – Hot Spots ab 0° C, Grünentorgasse

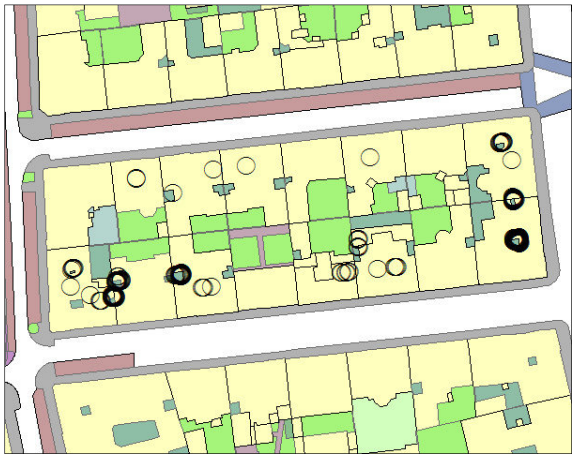


Abb. 100 – Hot Spots ab 0° C, Grünentorgasse

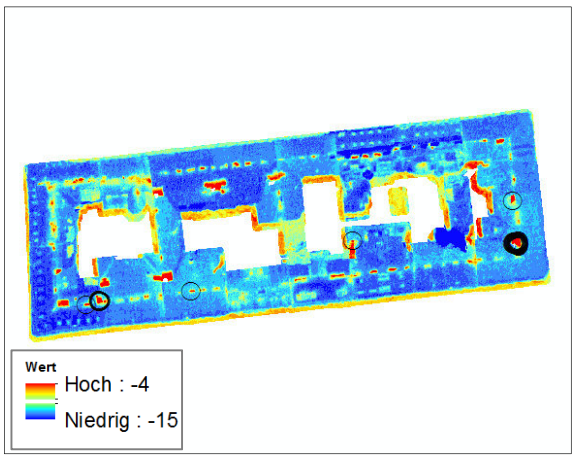


Abb. 101 – Hot Spots ab 3° C, Grünentorgasse

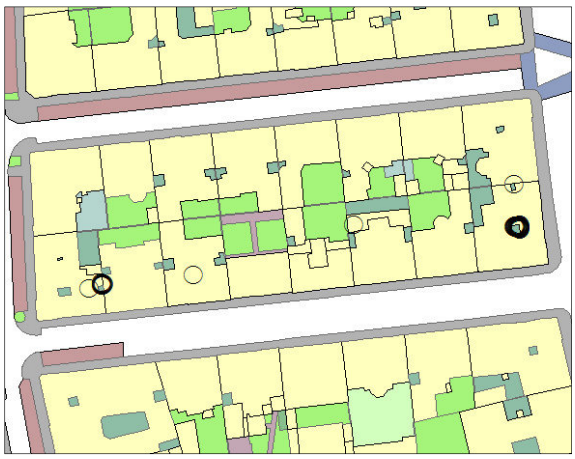


Abb. 102 – Hot Spots ab 3° C, Grünentorgasse

Bei der Sichtung der Stellen ab -3° C war zu erkennen, dass die Wärme vor allem aus den Kaminen und entlang der Fassaden der kleinen Innenhöfe stammte. Ein Hot Spot befand sich an der westlichen Fassade der Mosergasse 8.

Bei der Sichtung der Stellen ab 0° C war die Reduktion der Hot Spots deutlich erkennbar. Die Wärme stammte vor allem entlang der Fassaden der kleinen Innenhöfe.

Bei einem Grenzwert ab 3° C reduzierten sich die Hot Spots auf 6 Stellen. Davon lagen 3 entlang der Fassaden von kleinen Innenhöfen, 3 innerhalb der Dachflächen. Ein Innenhof, über den besonders viel Wärme verloren ging, befand sich am süd-östlichen Teil des Gebäudekomplexes bei der Hausnummer Grünentorgasse 41.

7.1.3 Heat Loss Map – Gebäudekomplex Kolingasse

Der Gebäudekomplex bei der Kolingasse 9 besteht aus mehreren zusammenhängenden Gebäuden und beinhaltet folgende Anschriften:

- Kolingasse 7, 9, 11,
- Hörlgasse 8, 10, 12,
- Liechtensteinstraße 5, 7 und
- Wasagasse 6, 8.

Die Gebäude wurden 1879 gebaut und werden heute als Wohngebäude genutzt. Einzig die Anschrift Hörlgasse 8 stammt aus dem Jahr 1951. Alle Anschriften haben eine erhaltene Struktur des Kerns sowie der Fassade. Bei manchen Anschriften wurden entweder das Dach oder die Fenster seit der Erbauung renoviert. (Stadt Wien, ViennaGIS, 2013) Ein Auszug aus dem ViennaGIS Kulturgut Datenblatt für die Kolingasse 9 zeigt die folgende Abbildung.

Objektdaten	
Bautyp	W3.2.-Mieth.s.d.Gründerzeit-Seitenflügelhaus
Nutzung	Wohnnutzung
Geschoßanzahl	5
Geschoße	Souterrain
Bauperiode	1860-1883
Baujahr	1879
Architekt	Hofbauer Adolf
1. präferierte Quelle (Bauperiode, Baujahr und Architekt): Basisinventarisierung = BASISINVENTARISIERUNG DER MAGISTRATSABTEILUNG 19	
Erhaltungszustand	
Baualter der Fassade	1860-1883
Zustand	ensembletypische Parzellenstruktur erhaltene Fassade erhaltene Struktur des Kernes erhaltene Fenster erhaltenes Dach

Abb. 103 – Auszug aus Datenblatt Kolingasse 9 (Wien Kulturgut, ViennaGIS, 2013)

Um die spätere Interpretation zu vereinfachen, werden den Ergebnissen Aufnahmen aller 4 Fassaden des Gebäudekomplexes in der Kolingasse vorangestellt.

Abb. 104 – Süd-Ost Fassade, Kolingasse (21.03.213)

Abb. 105 – Süd-West Fassade, Koling. (21.03.2013)

Abb. 106 – Nord-West Fassade, Koling. (21.03.2013)

Abb. 107 – Nord-Ost Fassade, Koling. (21.03.2013)

Auf den folgenden Grafiken werden auf der Heat Loss Map für den Gebäudekomplex Kolingasse die Hot Spots ab -3° C, 0° C und 3° C dargestellt.

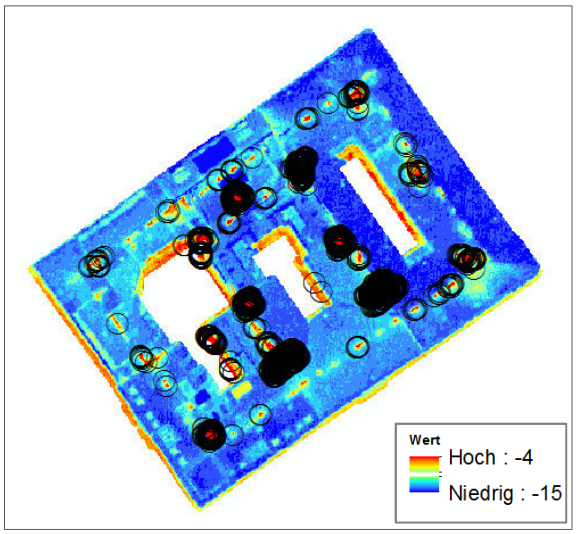


Abb. 108 – Hot Spots ab -3° C, Kolingasse

Abb. 109 – Hot Spots ab -3° C, Kolingasse

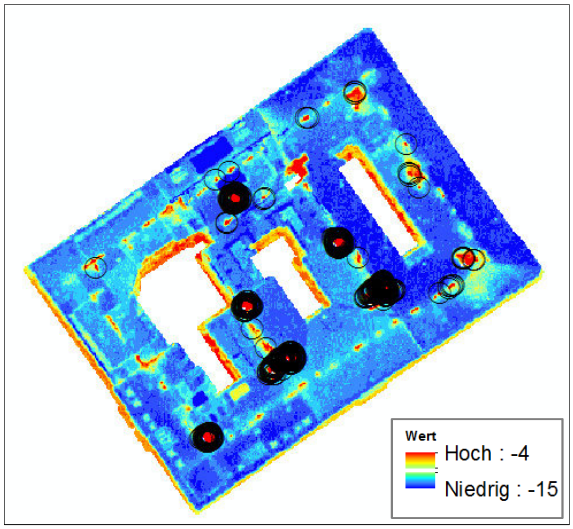


Abb. 110 – Hot Spots ab 0° C, Kolingasse

Abb. 111 – Hot Spots ab 0° C, Kolingasse

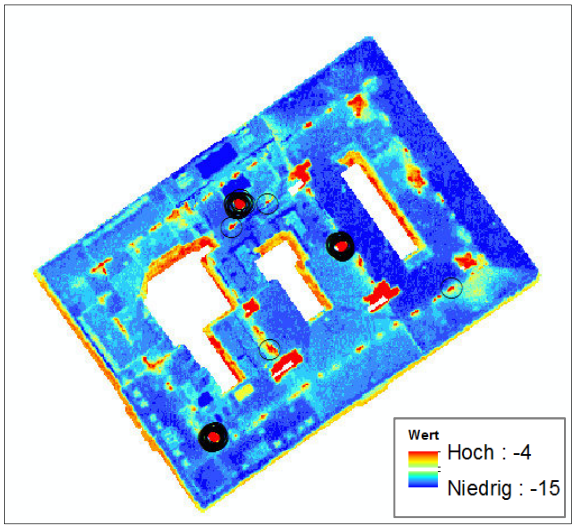


Abb. 112 – Hot Spots ab 3° C, Kolingasse

Abb. 113 – Hot Spots ab 3° C, Kolingasse

Bei der Sichtung der Stellen ab -3° C war zu erkennen, dass die Wärme zu einem Großteil aus den Kaminen austrat. Einige Hot Spots befanden sich entlang der West-Fassade des mittleren und westlichen großen Innenhofes sowie entlang der Fassaden aller kleinen Innenhöfe. Bei einem Grenzwert von 0° C wurden nur noch Kamine und die kleinen Innenhöfe angezeigt. Bei einem Grenzwert ab 3° C reduzierten sich Hot Spots auf 7 Stellen entlang der Dachflächen. Diese beinhalteten den kleinen Innenhof im Norden, einen Innenhof in der östlichen Gebäudehälfte und den kleinen Innenhof im Süd-Westen.

7.1.4 Diskussion der Ergebnisse

Die Erstellung von Heat Loss Maps mittels Thermalbild war gut durchführbar. Die Temperaturverläufe entlang der Gebäudeflächen ließen sich gut darstellen und interpretieren. Die Definition, ab wann eine Stelle als Hot Spot auszuweisen war, wurde in diesem Fall subjektiv

festgelegt. Diese Hot Spots lieferten einen ersten Überblick über die Wärmeverluste der gewählten Gebäude.

Alle Gebäude verloren Wärme teilweise entlang der Fassaden[1]. Der Gebäudekomplex in der Kolingasse wies entlang einer Innenhoffassade mehrere Hot Spots auf (Anmerkung: kann auch durch Doppelabbildungen erklärt werden). Bis heute sind bei diesem Gebäude die originalen Fenster erhalten, was eine Erklärung für die Wärmeverluste sein könnte. (Wien Kulturgut, ViennaGIS, 2013) Die Innenhöfe waren im Durchschnitt wärmer als die restlichen Flächen, was durch ihrer windgeschützte Position erklärbar ist. Einzelne Wärmequellen entlang der Fassaden könnten zum Zeitpunkt der Aufnahme geöffnete Fenster darstellen.

Heat Loss Maps sind gut geeignet, um einen ersten Eindruck über die Wärmeausbreitung und -verluste bei Gebäuden zu gewinnen. Dennoch gibt es mehrere Faktoren, die die Interpretation erschwerten oder die Ergebnisse verfälschen können (z.B. Wohnungen, die zum Aufnahmezeitpunkt nicht geheizt waren, geöffnete Fenster). Darüber hinaus haben beim gegenständlichen Thermalflug von der Sonne bereits erwärmte Dachflächen (Befliegung dauerte von 05:50 bis 07:20) zur Verfälschung der – automatisierten – Auswertung geführt. Ein Beispiel für durch die Sonne erwärmte Dachflächen wird auf den folgenden Abbildungen gezeigt.

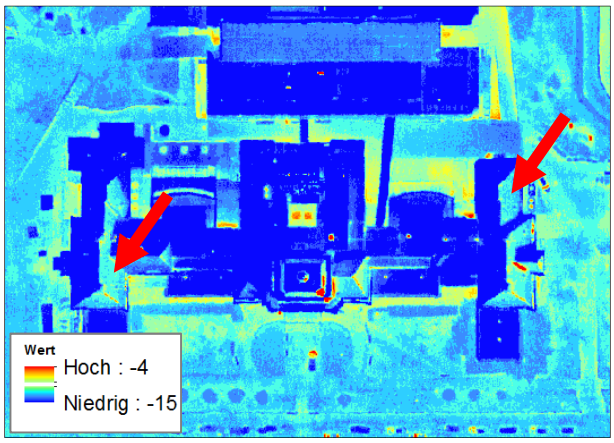


Abb. 114 – Von der Sonne erwärmte Dachflächen

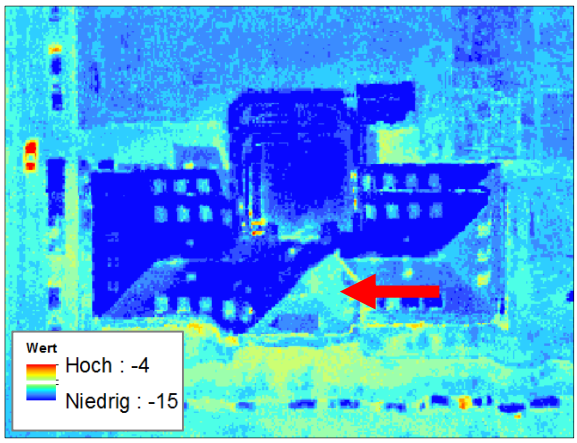


Abb. 115 – Von der Sonne erwärmte Dachflächen

[1] Neben schlecht gedämmten Fenstern können auch Doppelabbildungen durch die Orthorektifizierung mittels DGM ein Grund für die hohen Strahlungswerte entlang der Fassaden sein (siehe Kapitel 3.2.3).

7.1.5 Aufwandsschätzung

In der folgenden Tabelle werden alle, für die Erstellung der vorgestellten Heat Loss Maps notwendigen, Aufwendungen dargestellt. Die Zahlen wurden nach Fertigstellung der Aufgabe für die Bearbeitung der gewählten Gebäude abgeschätzt.

	Finanzieller Aufwand	Arbeitszeit
Setup Kosten		
Rechner (mind. 2,6 GHz)	ca. 1.000 €	
ArcGIS 10 Lizenz[1]	ca. 2.000 €	
Thermalbild 500 € / km²	ca. 2.000 €	
Flächen-Mehrzweckkarte[2] 0,455 € / Geo-Objekt	10.674 €	
Bearbeitungsgebühr MA 41	38 €	
Orthophoto[3] 0,38 € / 1 Mio. Pixel	49 €	
Operationelle Kosten		
Aufbereitung der Daten		5
Durchführung der Abfrage		10
Nachbearbeitung der Ergebnisse		5
	15.761 €	20 h

Tabelle 9 – Aufwandsschätzung für die Erstellung einer Heat Loss Map

[1] (Esri Headquaters, 2013)

[2] (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2013)

[3] (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2013)

7.2 Ortung potentieller Problemstellen im Fernwärmeleitungsnetz

Die Ortung potentieller Problemstellen entlang des Fernwärmeleitungsnetzes wurde nach dem Ausschluss möglicher verfälschender Einflüsse für Werte ab 5° C durchgeführt. Gebäude und andere Flächen, die die Leitungen überdeckten, sowie ein Bereich von 3 m um eingezeichnete Schächte wurden im Vorfeld aus der Abfrage ausgeschlossen. In der folgenden Grafik sind im Testgebiet alle Stellen mit einer Temperatur ab 5° C ausgewiesen. Diese Stellen mussten für eine Festlegung als mögliche Problemstellen manuell gesichtet werden. Anhand der Dichte der eingezeichneten schwarzen Kreise kann auf die Ausbreitung der Wärme rückgeschlossen werden.

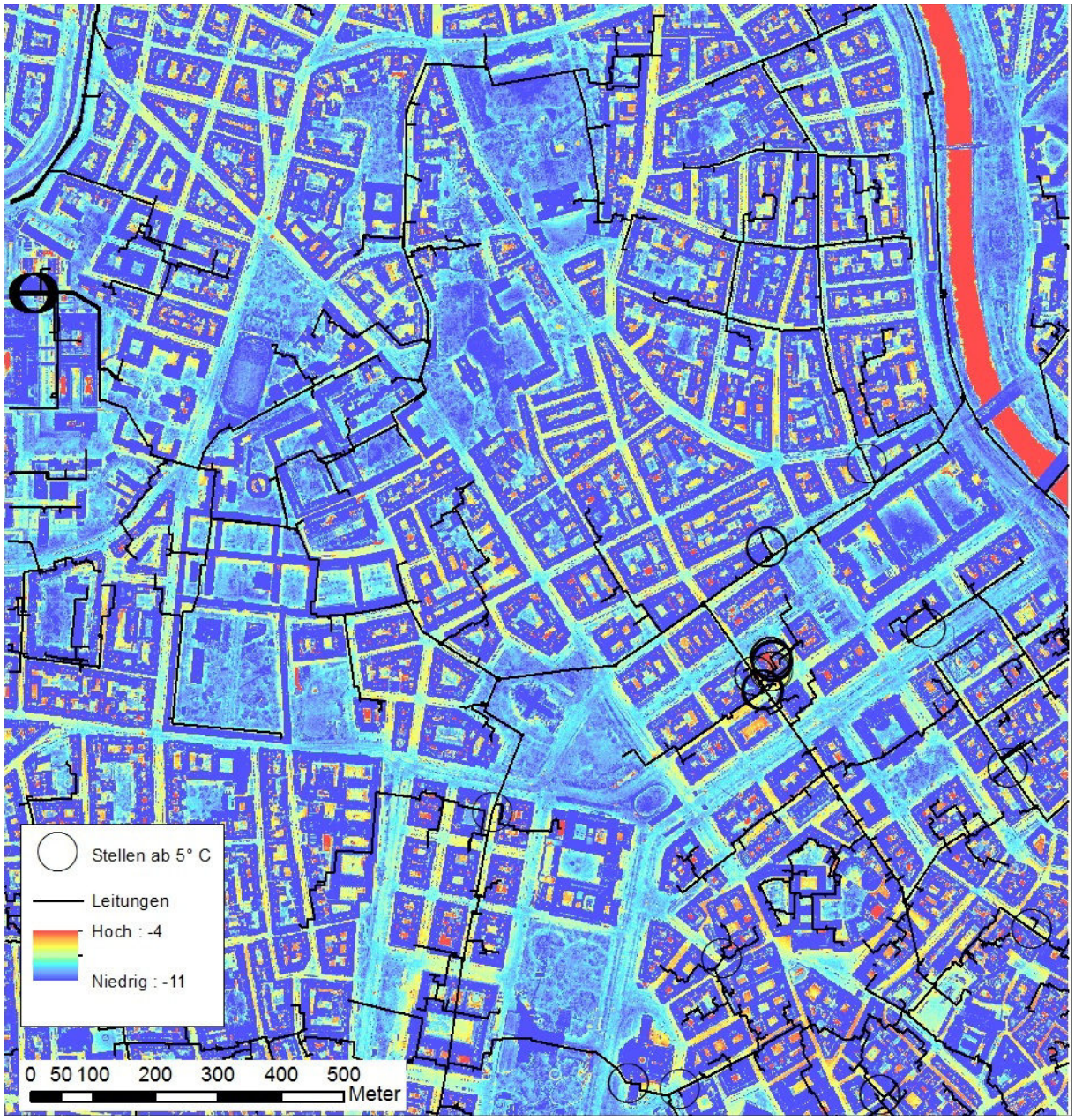


Abb. 116 – Ergebnis der Abfrage für Werte ab 5° C

7.2.1 Identifizierte Problemstellen

Die ausgewiesenen Punkte wurden unter den in Kapitel 6.3.3 genannten Kriterien gesichtet und beurteilt. Bei dieser Sichtung wurden an zwei Stellen potentielle Problemstellen entdeckt. Sie werden im Folgenden als Nahaufnahme und ihre Lage auf der Übersichtskarte dargestellt.

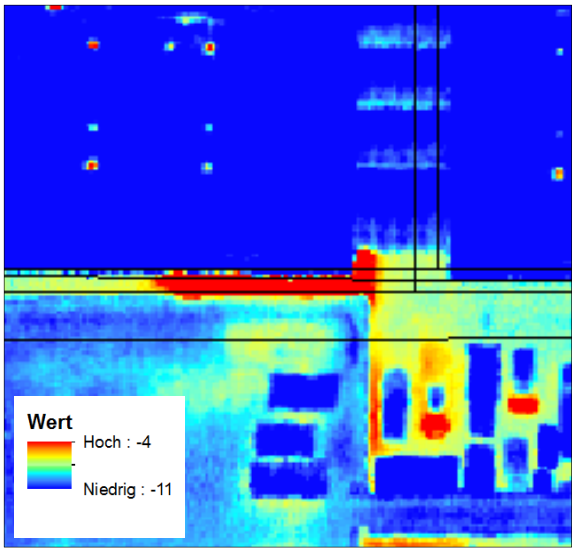


Abb. 117 – Mögliche Problemstelle, AKH

Abb. 118 – Lage der Problemstellen auf Karte

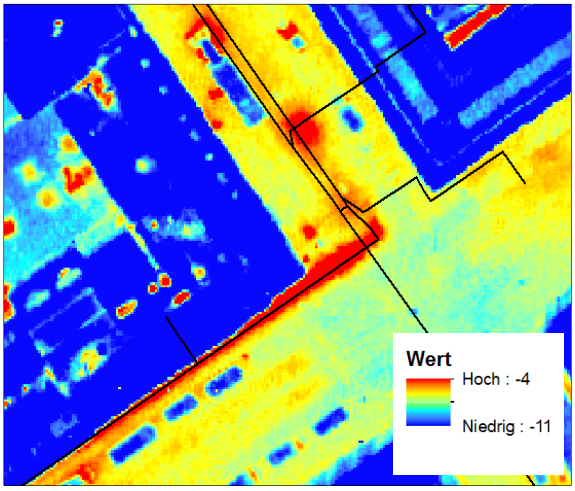


Abb. 119 – Mögliche Problemstelle, Maria-Theresien-Straße/ Liechtensteinstraße

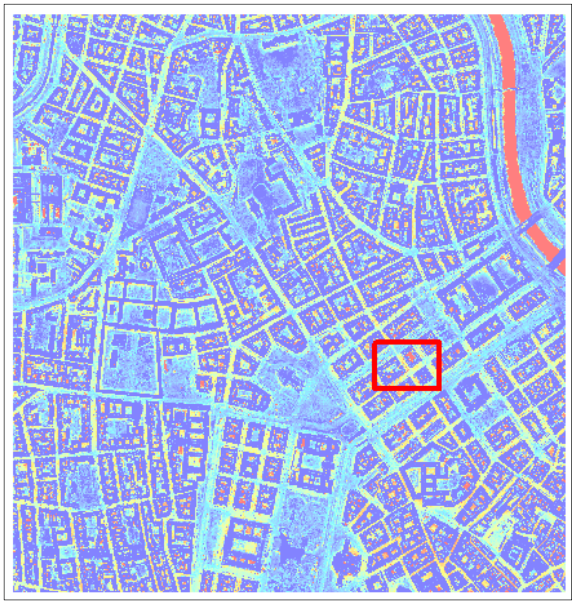


Abb. 120 – Lage der Problemstellen auf Karte

Eine Fotografie vom 21.03.2013 zeigt die Verdachtsfläche in der Liechtensteinstraße im 9. Bezirk.

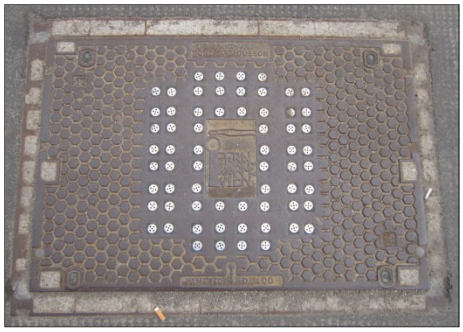


Abb. 121 – Schacht der Fernwärme Wien GmbH, Liechtensteinstraße

Abb. 122 – Lage der Problemstelle in der Liechtensteinstraße

Um zu überprüfen, ob die Problemstelle in der Liechtensteinstraße bekannt war, wurde die Thermalaufnahme des Gebietes an die Fernwärme Wien GmbH übermittelt. Laut Auskunft war diese Stelle bekannt, jedoch war handelte es sich um keine Problemstelle. Auf Grund des U2 Tunnels konnten hier die Leitungen nicht so tief verlegt werden, weshalb an der Oberfläche die Wärmeverluste stärker sichtbar waren.

7.2.2 Fehlerquellen

An einer Stelle, die als mögliche Problemstelle ausgewiesen wurde, handelte es sich beim Vergleich mit den Orthophoto um ein Glasdach, von dem viel Wärme ausging. Glasdächer hätten bei der Selektion der Flächen aus der Flächen-Mehrzweckkarte entfernt werden sollen. Bei der Identifizierung der Fläche stellte sich heraus, dass diese als Nutzung „Baustelle“ an statt „Glasdach“ eingetragen hatte und deshalb bei der Abfrage nicht entfernt wurde. Das Dach ist auf der nächsten Grafik dargestellt.

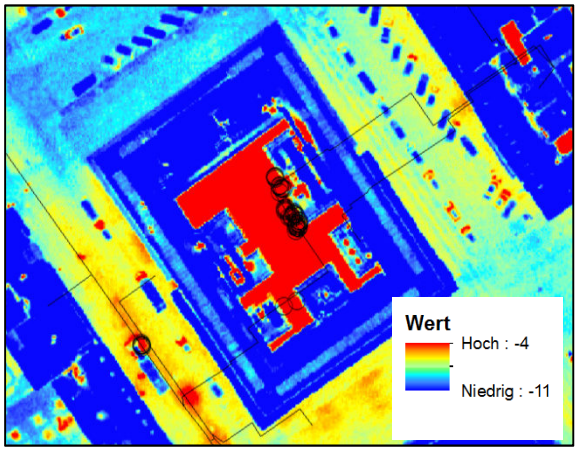


Abb. 123 – Glasdach wird als Problemstelle angezeigt

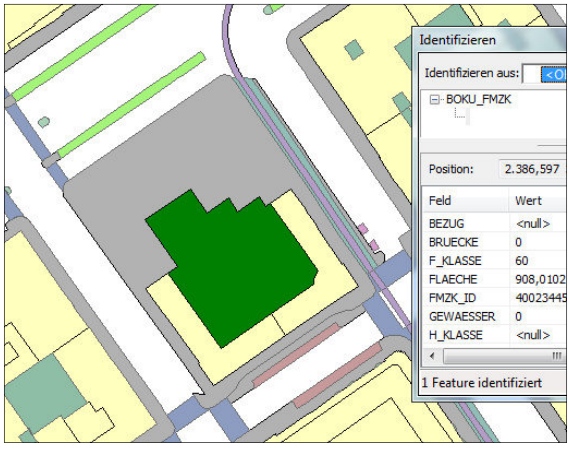


Abb. 124 – Fläche enthält Nutzung 60 = „Baustelle“

Ein weiteres Problem stellen die Schächte dar. Einige Schächte wurden trotz eines Puffers von 3 m als mögliche Problemstelle ausgewiesen. Auf der folgenden Grafik ist ein Schacht mit einer Entfernung von 3,2 m zu einer Wärmequelle dargestellt. Diese Wärmequelle wurde nach manueller Sichtung als Problemstelle verworfen.

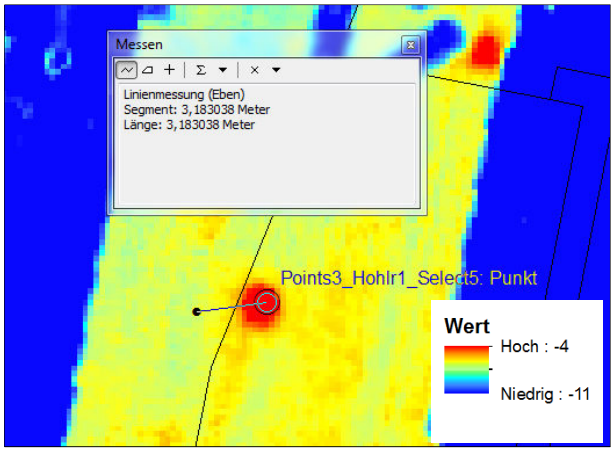


Abb. 125 – Schacht wird trotz Puffer nicht von Abfrage ausgeschlossen

7.2.3 Diskussion der Ergebnisse

Die Möglichkeiten der Ortung potentieller Problemstellen mittels Thermalbild waren in dieser Anwendung nur begrenzt möglich. Während einige Bereiche mit ArcGIS 10 im Vorhinein von der Abfrage ausgeschlossen werden konnten, war am Schluss eine manuelle Sichtung der Verdachtsflächen notwendig.

Nicht ortsfeste Objekte führten während der Analyse zu Schwierigkeiten. Während Autos durch ihre Form relativ einfach zu erkennen waren, waren einige als Wärmequellen ausgewiesene Objekte schwer oder gar nicht identifizierbar. Ein weiteres Problem stellten die ungenau eingemessenen Schächte dar. Trotz eines Puffers von 3 m konnten einige Schächte nicht vollständig aus der Abfrage entfernt werden und mussten bei der Sichtung optisch ausgeschlossen werden. Falsch eingetragene Attribute von Flächen führten ebenso zu ungenauen Resultaten bei der Ortung von Problemstellen im Leitungsnetz und sollten bei automatischen Abfragen vorher eliminiert werden. Im Weiteren könnten Höhenangaben der Fernwärmeleitungen zu einer Verbesserung der Auswahl potentieller Problemstellen dienen.

7.2.4 Aufwandsschätzung

In der folgenden Tabelle werden alle, für die Ortung von Problemstellen im Leitungsnetz notwendigen, Aufwendungen dargestellt. Die Zahlen wurden nach Fertigstellung der Aufgabe für die Bearbeitung des jeweiligen Testgebietes (ca. 3 km²) abgeschätzt.

	Finanzieller Aufwand	Arbeitszeit
Setup Kosten		
Rechner (mind. 2,6 GHz)	ca. 1.000 €	
ArcGIS 10 Lizenz[1]	ca. 2.000 €	
Thermalbild 500 € / km²	ca. 2.000 €	
Flächen-Mehrzweckkarte[2] 0,455 € / Geo-Objekt	10.674 €	
Bearbeitungsgebühr MA 41	38 €	
Orthophoto[3] 0,38 € / 1 Mio. Pixel	49 €	
Dig. Zentraler Leitungskataster[4] 0,78 € / Leitungs-km	29,18 €	
Bearbeitungsgebühr MA 28	18 €	
Operationelle Kosten		
Aufbereitung der Daten		5
Durchführung der Abfrage		15
Manuelle Sichtung und Festlegung der potentiellen Problemstellen		10
	15.808,18 €	30 h

Tabelle 10 – Aufwandsschätzung für die Ortung potentieller Problemstellen im Fernwärmeleitungsnetz

[1] (Esri Headquaters, 2013)

[2] (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2013)

[3] (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2013)

[4] (HÜBNER, 2013)

7.3 Überprüfung der Straßenbahnweichen-Heizungen

Die Überprüfung der Straßenbahnweichen-Heizungen im Testgebiet wurde anhand der Zonal Statistics und der in Kapitel 6.4.4 beschriebenen Klassifizierung (Tabelle 8) durchgeführt. Das Ergebnis lieferte eine Übersichtskarte aller vorhandenen Weichen.

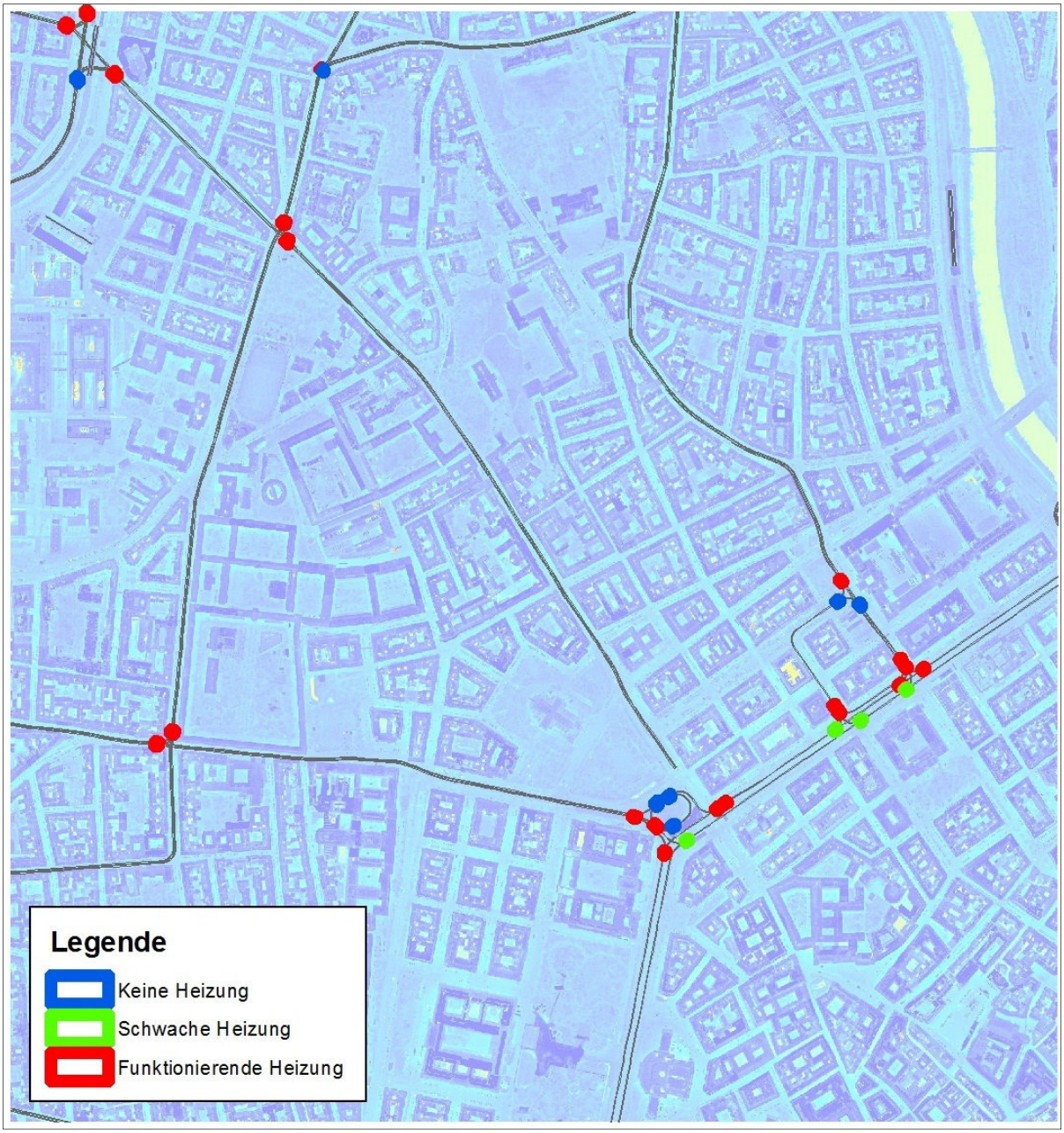


Abb. 126 – Weichen, klassifiziert nach Funktion der Heizungen

Zur genaueren Darstellung der Ergebnisse werden in den folgenden Kapiteln Beispiele für klassifizierte Weichen gezeigt.

7.3.1 Beispiel „Funktionierende Weichenheizung“

Die folgenden Grafiken zeigen Weichen mit funktionierender Heizung. Im Anschluss sind Fotografien der Weichen dargestellt.

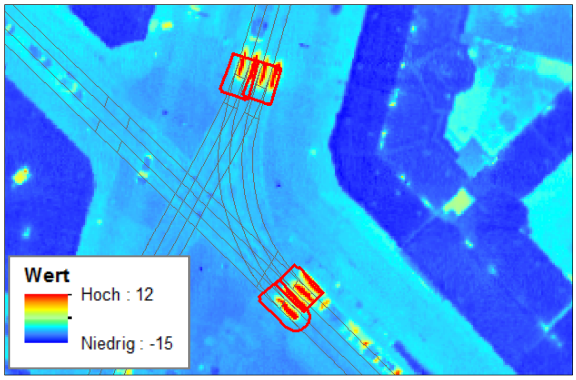


Abb. 127 – Funktionierende Heizungen, Nußdorferstr.

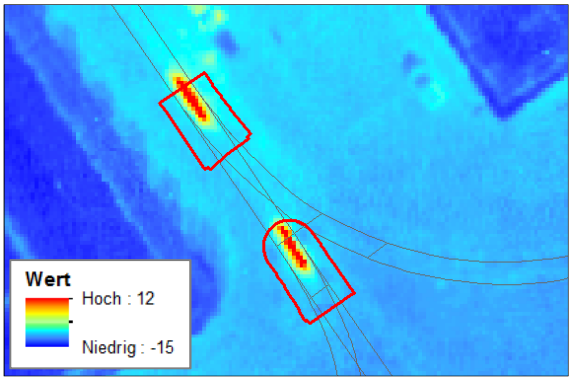


Abb. 128 – Funktionierende Heizungen, Wipplingerstr.

Abb. 129 – Weichen Nußdorferstraße (21.03.2013)

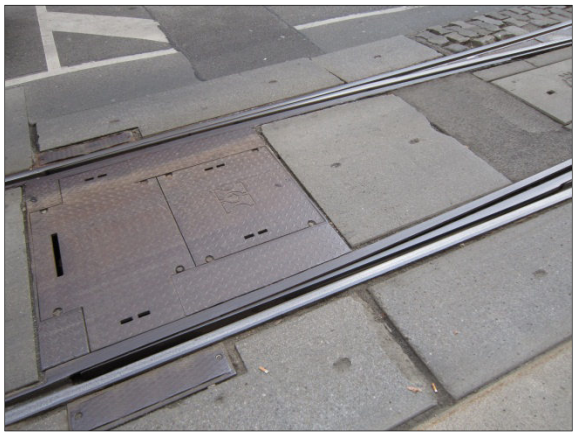


Abb. 130 – Weichen Wipplingerstraße (21.03.2013)

7.3.2 Beispiel „Schwache Weichenheizung“

Die folgenden Grafiken zeigen Weichen mit schwacher Heizung. Im Anschluss sind Fotografien der Weichen dargestellt.

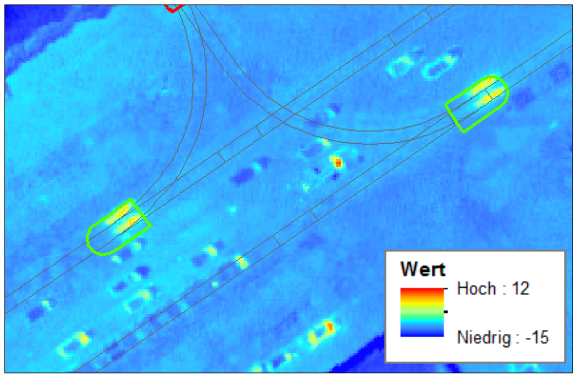


Abb. 131 – Schwache Heizungen, Schottenring

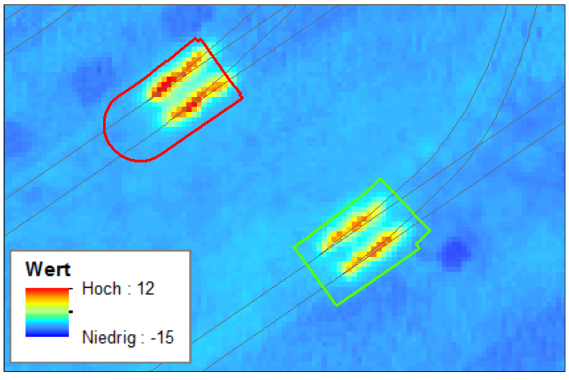


Abb. 132 – Schwache Heizungen, Schottenring

Abb. 133 – Weichen Schottenring (21.03.2013)

Abb. 134 – Weichen Schottenring (21.03.2013)

7.3.3 Beispiel „Keine/nicht funktionierende Weichenheizung“

Die folgenden Grafiken zeigen Weichen ohne bzw. mit nicht funktionierender Heizung. Im Anschluss sind Fotografien der Weichen dargestellt.

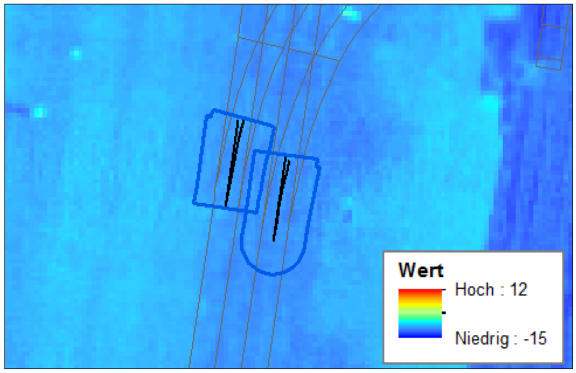


Abb. 135 – Keine Heizungen, Währinger Gürtel

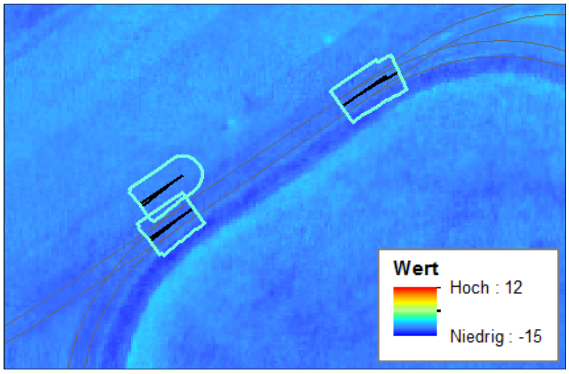


Abb. 136 – Keine Heizungen, Schottentor

Abb. 137 – Weichen Währinger Gürtel (21.03.2013)

Abb. 138 – Weichen Schottentor (21.03.2013)

7.3.4 Heizungen ohne Weichen

An einer Stelle im Testgebiet war auf dem Thermalbild eine Heizung zu erkennen, obwohl im Weichenplan keine Weiche eingezeichnet war. Die Schienen liefen gerade aus und hatten auch keine Kreuzung. Es ist anzunehmen, dass diese Heizung nur für den Schienenkörper und nicht für mögliche Weichen gedacht war.

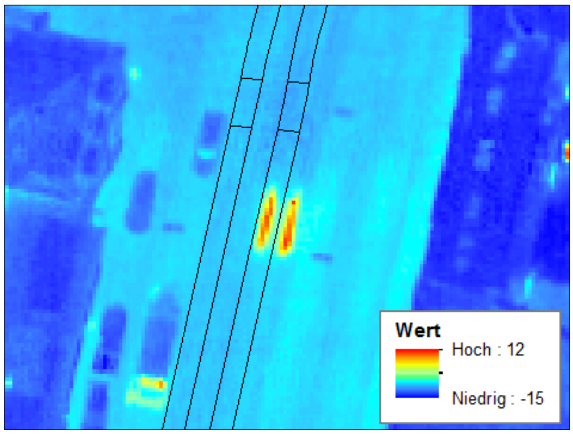


Abb. 139 – Heizung ohne eingezeichnete Weichen

Abb. 140 – Weichen Nußdorferstraße (21.03.2013)

7.3.5 Diskussion der Ergebnisse

Die Überprüfung der Straßenbahnweichen-Heizungen war mit den zur Verfügung stehenden Daten gut durchführbar. Durch die Verknüpfung mit dem Digitalen Weichenplan konnten die zu untersuchenden Gebiete im Vorhinein präzisiert werden. Die Abfrage der Zonal Statistics zeigte deutliche Unterschiede im Temperaturverlauf zwischen Bereichen mit funktionierenden Weichenheizungen und Bereichen ohne Heizung. Dadurch war es möglich anhand der vorhandenen Maximalwerte den Status der Heizungen in drei Klassen einzuteilen. Bei einer optischen Kontrolle der Ergebnisse stellte sich heraus, dass die Klassifizierung nach den Maximalwerten richtig gewählt wurde. Auf der Übersichtskarte lieferten die unterschiedlich gefärbten Weichen-Puffer einen guten Überblick über den allgemeinen Zustand der Heizungen. Während die sichtbaren Heizungen eindeutig zu interpretieren waren, ließen die Bereiche ohne Heizung Fragen offen. Es konnte hier nicht unterschieden werden, ob es sich um Weichen ohne Heizungen oder um Weichen mit defekten Heizungen handelte. Diese Information könnte in die Attributtabelle des Weichenplans eingetragen werden.

7.3.6 Aufwandsschätzung

In der folgenden Tabelle werden alle, für die Überprüfung der Straßenbahnweichen-Heizungen notwendigen, Aufwendungen dargestellt. Die Zahlen wurden nach Fertigstellung der Aufgabe für die Bearbeitung des jeweiligen Testgebietes (ca. 3 km²) abgeschätzt.

	Finanzieller Aufwand	Arbeitszeit
Setup Kosten		
Rechner (mind. 2,6 GHz)	ca. 1.000 €	
ArcGIS 10 Lizenz[1]	ca. 2.000 €	
Thermalbild 500 € / km²	ca. 2.000 €	
Flächen-Mehrzweckkarte[2] 0,455 € / Geo-Objekt	10.674 €	
Bearbeitungsgebühr MA 41	38 €	
Digitaler Weichenplan	keine Angabe	
Operationelle Kosten		
Aufbereitung der Daten		5
Durchführung der Abfrage		10
Nachbearbeitung der Ergebnisse		2
	15.712 €	17 h

Tabelle 11 – Aufwandsschätzung für die Überprüfung der Straßenbahnweichen-Heizungen

[1] (Esri Headquaters, 2013)

[2] (Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung, 2013)

8 SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

Die Auswertung der Thermalbildaufnahme von Wien lieferte sehr unterschiedliche Ergebnisse. Die Nachbildung der Heat Loss Map und ihre Interpretation waren in einem ersten Schritt gut durchführbar. Innerhalb der Gebäude wurden durch die großen Temperaturunterschiede zwischen Umgebung und Innenräumen Kontraste leicht sichtbar. Mit Hilfe der Hot Spots konnten Bereiche mit merkbaren Wärmeaustritten in den Dächern visualisiert werden, was die spätere Interpretation vereinfachte. Durch die Sonne erwärmte Dachflächen, Wärmeaustritte aus geöffneten Fenstern oder zum Aufnahmezeitpunkt unbeheizte Gebäude führten jedoch zu verfälschten Aussagen. Diese Problemstellen könnten durch Vergleiche mit mehreren zeitlich unterschiedlich aufgenommenen (multitemporalen) Thermalbildern eliminiert werden. Um eine qualitativ hochwertige Heat Loss Map zu erhalten, sollte die Thermalbefliegung im Vorfeld genau geplant werden. So können der optimale Aufnahmezeitpunkt und ggf. die Anzahl aufeinanderfolgender Aufnahmen bestimmt werden. Eine gänzlich fehlerfreie Heat Loss Map ist auf Grund von unbeheizten Räumen jedoch nicht herstellbar. Durch eine Weiterentwicklung der Methodik und eine flächendeckende Abfrage wäre auch eine großräumige Untersuchung über das ganze Stadtgebiet möglich. Über das Internet können diese Informationen öffentlich zugänglich gemacht werden und Gebäudeeigentürmer dazu anregen, selbst Wärmedämmungsmaßnahmen zu ergreifen.

Die Ortung potentieller Problemstellen im Fernwärmeleitungsnetz stellte sich als schwierig heraus. Um die Abfragen durchführen zu können, mussten im Vorhinein mehrere verfälschende Gegenstände aus den Daten entfernt werden. Ungenaue Datensätze sowie nicht identifizierbare Objekte entlang der Leitungen führten bei der späteren Auswertung zu einem Mehraufwand. Die als mögliche Problemstellen im Leitungsnetz ausgewiesenen Stellen mussten am Ende auf Grund der hohen Fehleranzahl manuell gesichtet und beurteilt werden. Durch die Verwendung eines zum gleichen Zeitpunkt aufgenommenen Orthophotos und einer semi-automatischen Programmierung (Bilderkennung) könnten Objekte wie Fahrzeuge aus der Suche ausgeschlossen werden. Hier stellt jedoch die Dunkelheit bei Nachtaufnahmen ein Problem dar. Ebenso könnten Personen (am Thermalbild nicht identifizierbar) oder andere Wärmequellen erkannt und selbst im Fall von nicht automatisierten Abfragen mit einer höheren Sicherheit als Problemstelle verworfen werden. Im Fall der Schächte könnte mit genaueren Daten eine exaktere Abfrage durchgeführt werden, was die Zahl an ausgewiesenen Hot Spots verringern würde. Eine andere Möglichkeit, die Abfragen zu vereinfachen, wäre die Verwendung von Differenzenbildern. Für eine eindeutige Ortung potentieller Problemstellen müssten für das gesamte Leitungsnetz Daten wie Verlegungstiefe, Rohrmaterial, Art der Dichtung und weitere Bodenparameter (Typ, Dichte, etc.) durchgehend bekannt sein.

In diesem Fall waren sie nur für einzelne Rohrabschnitte vorhanden. Dies wäre in Folge jedoch mit einem Mehraufwand verbunden. Hier könnte es sinnvoll sein, die Kosten für die Ortung potentieller Problemstellen mit den verhinderten Verlusten durch rechtzeitige Reparaturen zu vergleichen. Unabhängig von den oben genannten Kriterien wäre für eine gute Kontrolle des Leitungsnetzes eine regelmäßige Befliegung mit einem Thermalscanner notwendig, um Problemstellen frühzeitig zu erkennen und den möglichen Schaden zu minimieren.

Die Überprüfung der Straßenbahnweichen-Heizungen auf Ausfälle war gut durchführbar. Die Zonal Statistics lieferten einen guten Überblick über die vorherrschenden Temperaturen entlang der betrachteten Weichen. Die Einteilung in Klassen war anhand der Temperaturen leicht durchführbar und die Ergebnisse waren optisch gut zu interpretieren. Ein Problem stellten jedoch die Lagefehler zwischen Gleiskörper und den Weichenheizungen am Thermalbild dar. Durch die Abweichungen mussten die Puffer größer gewählt werden, wodurch unnötige Daten in die Abfrage miteinbezogen wurden. Würden sich innerhalb des Puffers andere warme Objekte befinden, würden diese die Ergebnisse verfälschen. Ein weiteres Problem waren die eingezeichneten Weichen. Diese waren im Vergleich mit dem Thermalbild länger, als die daneben liegenden Heizungen, wodurch der Puffer erneut größer wurde. Hier könnte ein digitaler Heizungsplan, in dem die Heizungen mit Lage und Form erfasst sind, die in die Abfrage einbezogene Fläche und somit mögliche Falschaussagen minimieren.

Mit einer gut geplanten Thermalbildaufnahme und den oben erwähnten zusätzlichen Daten können Thermalbilder für das Auffinden von Wärmeverlusten gut verwendet werden. Um die Energieeffizienz konstant zu steigern, wären in allen Fällen regelmäßige Thermalbildaufnahmen notwendig. Im Schnitt betrugen die Kosten für die einzelnen Abfragen je 16.000 €. Hier gilt es zu beachten, dass mit zunehmender Gebietsgröße die Kosten deutlich steigen würden. Das gesamte Thermalbild war etwa 10-mal größer als das bearbeitete Testgebiet. In diesem Fall würden sich die Kosten auf 127.600 € belaufen, wobei die Flächen-Mehrzweckkarte mit 106.000 € der Hauptkostenträger wäre. Eine Möglichkeit, diesem Problem zu begegnen, wäre die Zusammenarbeit mehrerer Interessenten. Da die Stadt Wien den Großteil der Daten selbst verwaltet, fielen hier nur die Kosten für die Thermalbildaufnahme an. Es gilt zu beachten, dass die operationellen Kosten auf Grund der (semi-)automatisierten Verfahren nicht proportional zur Gebietsgröße sind.

Durch die Weiterentwicklung der Methoden, die Kombination mit zusätzlichen Daten und eine Senkung der Kosten in den nächsten Jahren, könnte die Stadt Wien mittels Thermalbilder einen weiteren Beitrag zum Thema Nachhaltigkeit leisten.

9 ZUSAMMENFASSUNG

In dieser Arbeit wurde in einem ersten Schritt versucht, Anwendungsmöglichkeiten von Thermalbildern für städtische Gebiete aufzuzeigen. Nach Aufarbeitung der theoretischen Grundlagen wurden bereits realisierte Projekte beschrieben und die Ideen dahinter für die Stadt Wien in Betracht gezogen. Die drei am Anfang genannten Teilfragen wurden getrennt voneinander von der Stadt Wien definiert und im Weiteren auch getrennt behandelt. Die angewandten Methoden waren so unterschiedlich wie die resultierenden Ergebnisse. Es stellte sich heraus, dass je nach den vorhandenen Zusatzinformationen Thermalbilder mehr oder weniger gut ausgewertet werden konnten. Im Fall der Straßenbahnweichen-Heizungen und der Heat Loss Maps konnten mit wenig zusätzlichen Daten bereits gute Auswertungen durchgeführt werden. Die Ergebnisse ließen sich auch optisch ansprechend darstellen. Die Ortung von Problemstellen im Fernwärmeleitungsnetz war umfangreicher und enthielt trotz Korrekturen im Vorfeld einige Fehlerquellen. Bei allen drei Methoden stellte sich heraus, dass ungenaue Datensätze, der Mangel an detaillierten Zusatzinformationen und nicht automatisch entfernbare Fehlerquellen am Thermalbild die Auswertung einschränkten.

Es wurden im Weiteren Möglichkeiten aufgezeigt, dieser Problematik entgegen zu wirken. Hier wurden eine genaue Planung im Vorfeld, eine gewissenhafte Aufbereitung der benötigten Daten und Vergleichsaufnahmen (Orthophotos zum selben Zeitpunkt, mehrere Thermalbilder) genannt. Die Frage nach der Rentabilität der Thermalbildauswertung wurde offen gelassen. Stattdessen wurden Aufwandsschätzungen für die jeweiligen Methoden durchgeführt, um einen ersten Eindruck über die anfallenden Kosten zu erhalten. Pro Methode lagen die Aufwendungen bei etwa 16.000 € und stiegen proportional zur Gebietsgröße an.

Die Frage, ob Thermalbilder für die Stadt Wien einen Nutzen bringen, konnte mit einem einfachen Ja oder Nein nicht beantwortet werden. Die in dieser Arbeit beschriebenen Untersuchungen lassen jedoch die Aussage zu, dass Thermalbilder bei einer genau definierten Fragestellung und dem Vorhandensein aller notwendigen Daten ein großes Potenzial haben, in Zukunft zur Energieeinsparung beizutragen.

LITERATURVERZEICHNIS

ALBERTZ J. Einführung in die Fernerkundung [Buch]. - Darmstadt : Wissenschaftliche Buchgesellschaft, 2007. - 3..

Arbeitsgruppe Forstlicher Luftbildinterpreten (Hrsg.) Das digitale Luftbild - Ein Praxisleitfaden für Anwender im Forst- und Umweltbereich [Bericht]. - Göttingen : Universitätsverlag Göttingen, 2012.

BBC www.bbc.co.uk [Online]. - 2011. - 28. 03 2013. - http://www.bbc.co.uk/news/world-europe-jersey-15920782.

BITELLI G. und CONTE P. Techniques, tools and workflow for remote sensed roof temperature mapping in some sites across Central Europe.. - Debrecen : [s.n.], 2011.

CAMPELL J. B. Introduction to Remote Sensing [Buch]. - London : Guilford Publications, Inc., 2002. - 3..

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt www.dlr.de [Online]. - 2013. - 16. 01 2013. - http://www.dlr.de/eoc/desktopdefault.aspx/tabid-6144/10056_read-20918/.

Esri Headquaters store.esri.com [Online]. - 2013. - 15. 03 2013. - http://store.esri.com/esri/showprod.cfm?SID=2&Category_ID=121.

European Regional Development Fund www.energycity2013.eu [Online]. - 2012. - 10. 01 2013. - http://www.energycity2013.eu/.

HAY G. J. www.saveheat.co [Online]. - 09. 01 2011. - 10. 01 2013. - http://www.saveheat.co/about.php.

HAY G. J. www.saveheat.co [Online] // www.saveheat.co. - 2011. - 28. 03 2013. - http://www.saveheat.co/how-is-it-calculated.php.

HAY G. J. www.saveheat.co [Online] // www.saveheat.co. - 2011. - 28. 03 2013. - http://www.saveheat.co/heat-scores.php.

HAY G. J. www.saveheat.co [Online]. - 2011. - 28. 03 2013. - http://www.saveheat.co/how-is-it-calculated.php.

HAY G. J., HEMACHANDRAN B. und KYLE C. D. Free Waste Heat Footprints Home Energy Assesment Technologies [Artikel] // GIM International. - University of Calgary, Canada : geomares Publishing, 2010. - 24.

HÜBNER T. Stadt Wien, MA 28 - Straßenverwaltung und Straßenbau, Kundenzentrum [Interview]. - 18. 03 2013.

ITRES Research Limited www.itres.com [Online]. - 2011. - 15. 01 2013. - http://www.itres.com/products/imagers/tabi1800/.

KUENZER C. [et al.] Detecting unknown coal fires: synergy of automated coal fire risk area delineation and improved thermal anomaly extraction [Artikel] // International Journal of Remote Sensing. - UK : Taylor & Francis Group, 2007. - 28. - 20.

LILLESAND T. M., KIEFER R. W. und CHIPMAN J. W. Remote Sensing and image interpretation [Buch]. - USA : John Wiley & Sons, Inc., 2008. - 6..

ROBERTS S. und STARLING G. Making the Most of Birmingham City Council's Aerial Thermographic Study [Bericht]. - Bristol : Centre for Sustainable Energy, 2004.

SAVELYEV A. und SUGUMARAN R. Surface Temperature Mapping of the University of Northern [Artikel] // Sensors. - Basel : Molecular Diversity Preservation International, 25. 08 2008. - S. 5055-5068.

Stadt Wien MA 41 – Stadtvermessung www.wien.gv.at [Online]. - 2013. - 17. 01 2013. - http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/fmzk/produkt.html.

Stadt Wien, MA 28 – Straßenverwaltung und Straßenbau . - Wien : [s.n.], 2013.

Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung . - Wien : [s.n.], 2012.

Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung www.wien.gv.at [Online] // www.wien.gv.at. - 2013. - 18. 03 2013. - http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/orthofoto/daten.html.

Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung www.wien.gv.at [Online]. - 19. 06 2012. - 17. 01 2013. - http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/pdf/fmzk-bodennutzung.pdf.

Stadt Wien, MA 41 – Stadtvermessung www.wien.gv.at [Online] // www.wien.gv.at. - 2013. - 18. 03 2013. - http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/fmzk/daten.html.

Stadt Wien, ViennaGIS www.wien.gv.at/kulturportal [Online]. - 2013. - 05. 03 2013. - https://www.wien.gv.at/kulturportal/public/grafik.aspx?bookmark=8PdxRh4iLEYZeMJDHUBeQxwpAvPCoQM-b&lang=de&bmadr=.

Stadtvermessung Wien Mehrzweckkarte – Digitale Stadtkarte von Wien. - Wien : Stadt Wien, 2009.

States of Jersey http://gis.digimap.je [Online]. - 2013. - 28. 03 2013. - http://gis.digimap.je/jerseyheatlossmap/.

States of Jersey http://www.gov.je [Online]. - 2013. - 16. 04 2013. - http://www.gov.je/Environment/GenerateEnergy/Energyefficiency/Pages/JerseyHeatLossMap.aspx.

States of Jersey www.gov.je [Online]. - 2013. - 28. 03 2013. - http://www.gov.je/Environment/GenerateEnergy/Energyefficiency/Pages/index.aspx.

VOOGT J. A. und OKE T. R. Thermal remote sensing of urban climates [Artikel] // Remote Sensing of Environment. - Ontario, London : Elesvier Inc., 2003. - 86.

WENG O. Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends [Artikel] // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. - Indiana (US) : Elsevier Inc., 2009. - 64.

wetter.com AG www.wetter.com [Online]. - 2013. - 24. 02 2013. - http://at.wetter.com/wetter_aktuell/rueckblick/?id=ATAT10678.

Wien Kulturgut, ViennaGIS www.wien.gv.at/kulturportal [Online]. - 2013. - 05. 03 2013. - https://www.wien.gv.at/kulturportal/public/grafik.aspx?bookmark=8PdxRh4iLEYZeMJDHUBeQxwpAvPCoQM-b&lang=de&bmadr=.

Wien Kulturgut, ViennaGIS www.wien.gv.at/kulturportal [Online] // www.wien.gv.at/kulturportal. - 2013. - 30. 03 2013. - http://www.wien.gv.at/kulturportal/public/identifyGebaeude.aspx?id=SZI_P.7467639&mid=98a8da91-6bc3-422c-acf6-a300560b14b7&ftype=vienna:ARCH.SZI_P&g=ec7425d3-5137-44d5-ad77-890036e1aa17&cid=645ecd2a-e749-4504-87db-1b8a8cfe76b1.

wien.at-Redaktion www.wien.gv.at [Online]. - 2013. - 04. 03 2013. - http://www.wien.gv.at/bauen-wohnen/rathaussanierung.html.