



Bundesministerium
für Verkehr, Bau
und Stadtentwicklung



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung
im
Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



ExWoSt

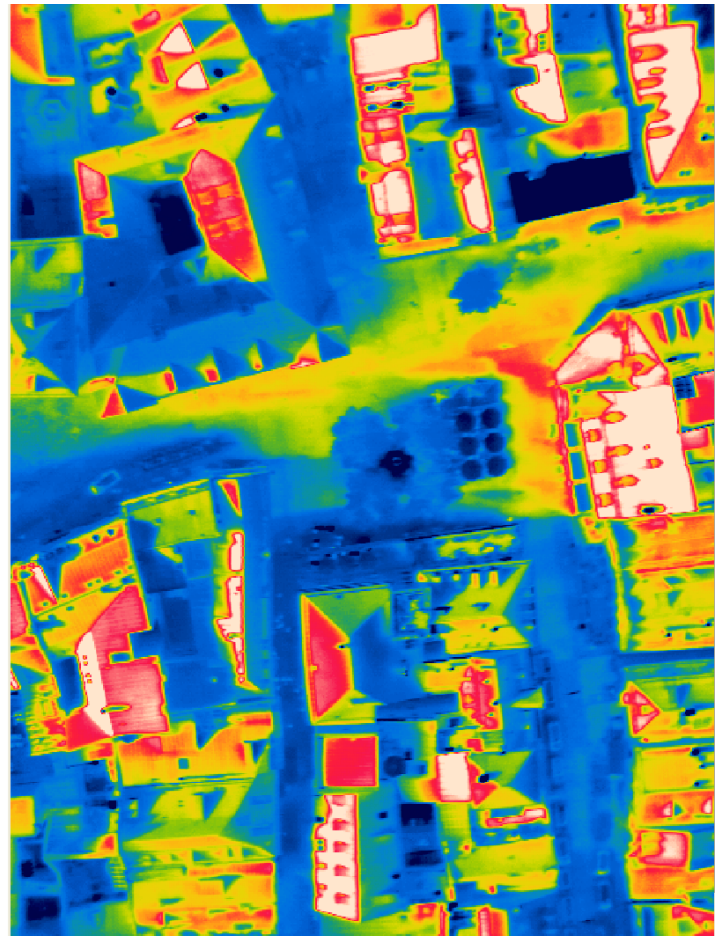


STADT
REGENSBURG

ExWoSt Klimaanpassung Regensburg

Teilprojekt B: Prozessentwicklung Klimaanpassung Innenstadt im UNESCO-Welterbe

Modul B 2



Auswertung der Infrarotthermoluftbilder vom Sommer und Herbst 2010

Bildautoren: Frau Müllers, Firma IMM-Messtechnik, Sünching
(www.im-muellers.de)
Herr Bauer, Firma Agroluftbild, Obertraubling
(www.agroluftbild.de)

Text: Sandra Gretschel, Amt für Stadtentwicklung

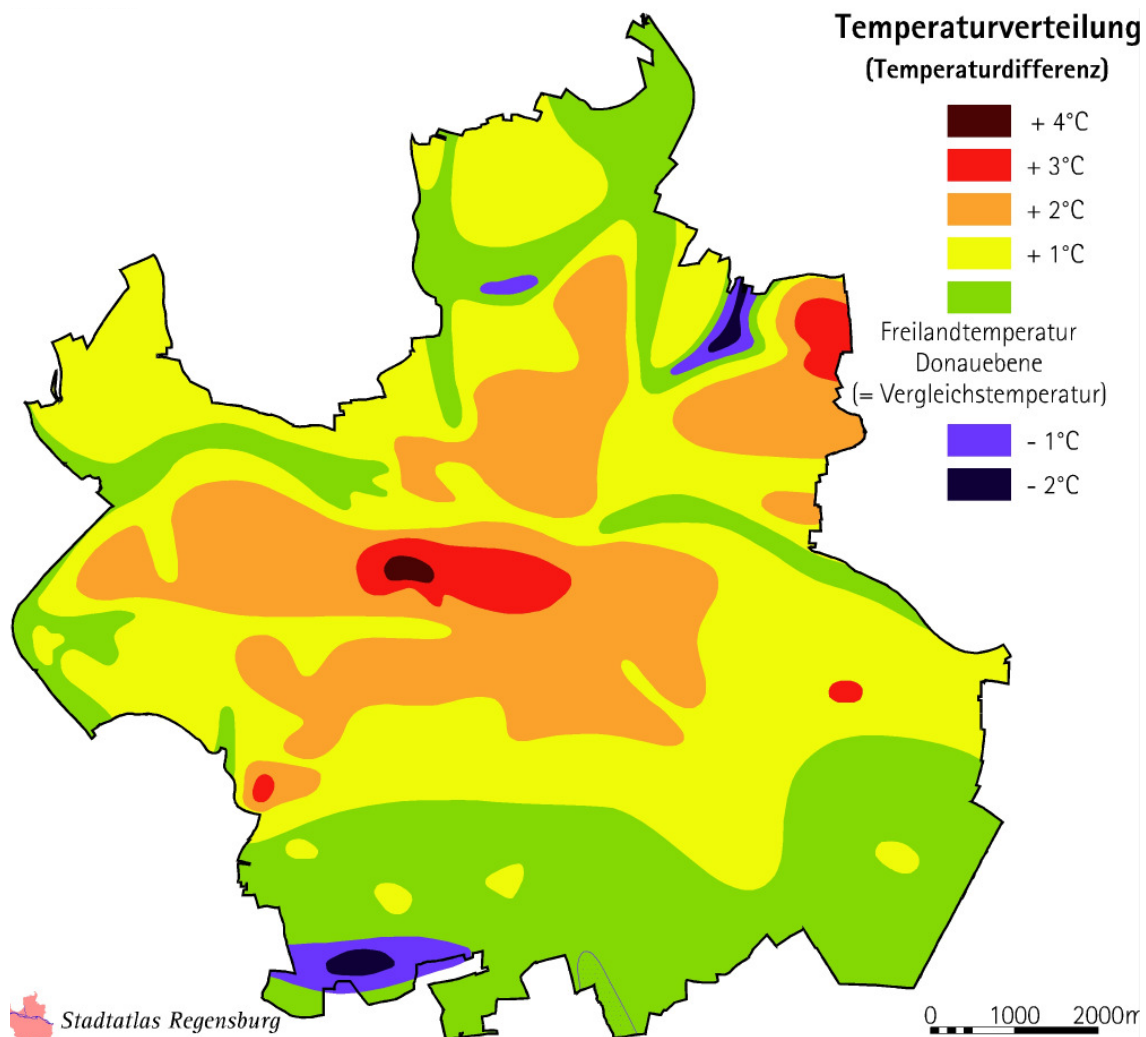
Einführung

Im Rahmen des **ExWoSt** (= **Experimenteller Wohnungs- und Städtebau**)-**Modellprojektes** "Urbane Strategien zur Anpassung an den Klimawandel in Regensburg" sollte im Teilprojekt B „Klimaanpassungsstrategien für das Unesco-Welterbe Altstadt mit Stadtamhof“ ein konsensfähiges Konzept zur Klimaanpassung der Regensburger Altstadt mit Stadtamhof erarbeitet werden.

Die besonderen Rahmenbedingungen der Altstadt (Denkmalschutz, Bebauungsdichte, persistenter Baukörper) lassen nur eingeschränkt Eingriffe für Klimaschutz und Klimaanpassung zu (z.B. bauliche Maßnahmen, erneuerbare Energien). Dabei ist die Vulnerabilität der „steinernen“ Altstadt als „Hitzeinsel“ besonders gegeben (vgl. Abb. 1):

- Aufgrund der historisch gewachsenen engen Baustrukturen in der Regensburger Altstadt findet nachts gegenüber dem Umland eine deutlich geringere Abkühlung statt.
- Durch den Klimawandel wird das Temperaturniveau vermutlich noch weiter steigen – insbesondere längere Hitzeperioden sind zu erwarten.
- Temperaturregulierende Faktoren wie Frischluftschneisen, intensive Begrünung und auch Wärmedämmung sind kaum vorhanden.
- Die Nutzungsdichte der Altstadt ist durch den hohen Wohnanteil sowie den Tourismus insbesondere im Sommer sehr hoch.
- Hitzewellen stellen vor allem für ältere Menschen eine gesundheitliche Gefahr dar.

Abbildung 1: Temperaturverteilung im Stadtgebiet Regensburg in Strahlungsnächten (1982)



Möglicherweise könnten mehr Bäume, Wasser und Grün helfen; diese widersprechen aber wiederum teilweise dem „Leitbild Steinernen Stadt“ und den Vorgaben der Denkmalpflege. Für die Entwicklung von Klimaanpassungsstrategien für das Unesco-Welterbe Altstadt mit Stadthof ist es deshalb – neben der umfassenden Beteiligung möglichst vieler Akteure und Interessengruppen – von besonderer Bedeutung, den klimatischen Ist-Zustand zu kennen: Welche Auswirkung haben Bäume, beschattete Fassaden, oder Wasserflächen? Wie viel Abkühlung bringen Grüngürtel und Donau? Was ist gefühlte, was tatsächliche Temperatur?

Zur Erfassung des klimatischen Ist-Zustand wurde ein Team bestehend aus der Infrarottechnikexpertin Frau Müllers (IMM-Messtechnik) sowie dem Piloten und Luftbildfotographen Herr Bauer (Agroluftbild) mit der Erstellung hochauflösende Infrarotluftbilddaufnahmen der Regensburger Innenstadt beauftragt. Luftbild-Thermographie liefert die Chance, Momentaufnahmen der **Oberflächentemperaturen** zu gewinnen und damit siedlungsbedingte **Unterschiede von Temperaturstrukturen** in einem Stadtgebiet zu erkennen. Gleichzeitig sind Infrarot-Luftbilder ein überaus anschauliches Informations- und Arbeitsmaterial, mit dem das durchaus komplexe und wenig anschauliche Thema Klimawandel einer breiten Öffentlichkeit zugänglich gemacht werden kann. Als Ergänzung zur Luftbild-Thermographie wurden zusätzliche meteorologische Parameter aus der bodennahen Luftschicht durch den Deutschen Wetterdienst erhoben (vgl. Endbericht des DWD 2012, Anlage 18).

Technik

Die Infrarot-Thermobild-Technik ermöglicht es, ein sehr differenziert abgestuftes **Abbild der Oberflächentemperatur** zu erzeugen. Die Oberflächentemperatur – z.B. von Dächern, Gebäuden, Straßen, Plätzen, Freiflächen – ist **ein** wichtiger **Einflussfaktor** für das Temperaturgeschehen insgesamt, z.B. auch für die „gefühlte Temperatur“.

Für die Thermoluftbilder wurde eine Wärmebildkamera, Typ FLIR P 660, eingesetzt. Diese besitzt einen im mittleren Infrarotbereich empfindlichen Sensor (thermisches Infrarot, 7 000 bis 13 000 nm Wellenlänge). Seine thermische Auflösung beträgt mindestens 45mK. Es können somit Temperaturunterschiede von weniger als 0,05°C gemessen und farblich visualisiert werden. Softwareabhängig gibt es dafür – je nach Auswertungsziel – eine ganze Reihe von Möglichkeiten der Farbdarstellung und der Oberflächentemperaturmessung. Die geometrische Auflösung liegt bei 640 x 480 bzw. 307 200 Pixeln je Szene. Jedes Bild besitzt somit über 300 000 hochgenaue Temperaturmesspunkte. Der Aufnahmebereich entspricht dem eines Teleobjektivs mit einem Öffnungswinkel von 18 x 24°. Die Aufnahmetechnik ist mit einer Videokamera vergleichbar und liefert Bildsequenzen mit einer Dichte von 30 Aufnahmen je Sekunde. Aus diesen können dann Einzelbilder extrahiert werden.

Das so beschriebene Aufnahmesystem liefert demnach eine geradezu immense Datenflut. Je Sekunde werden über neun Millionen Temperaturmessungen vorgenommen. Dadurch steigert sich der Aussagewert von Durchschnittswerten. Die aufgezeichnete Temperaturskala kalibriert sich automatisch entsprechend dem gegebenen Messfeld und reicht vom kältesten bis zum wärmsten Temperaturwert der jeweiligen Aufnahmeszene. Die Temperaturanzeige kann in der Nachbearbeitung verändert werden, um zum Beispiel einheitliche Farbvergleiche zu ermöglichen.

Die Aufnahmen wurden mit einem Leichtflugzeug der Echo-Klasse (Typ Cessna 172) senkrechtperspektivisch aufgenommen. Parallel zur Wärmebilddaufzeichnung wurden hoch auflösende Echtfarbenbilder ausschnittsähnlich angefertigt.

Vorgehen

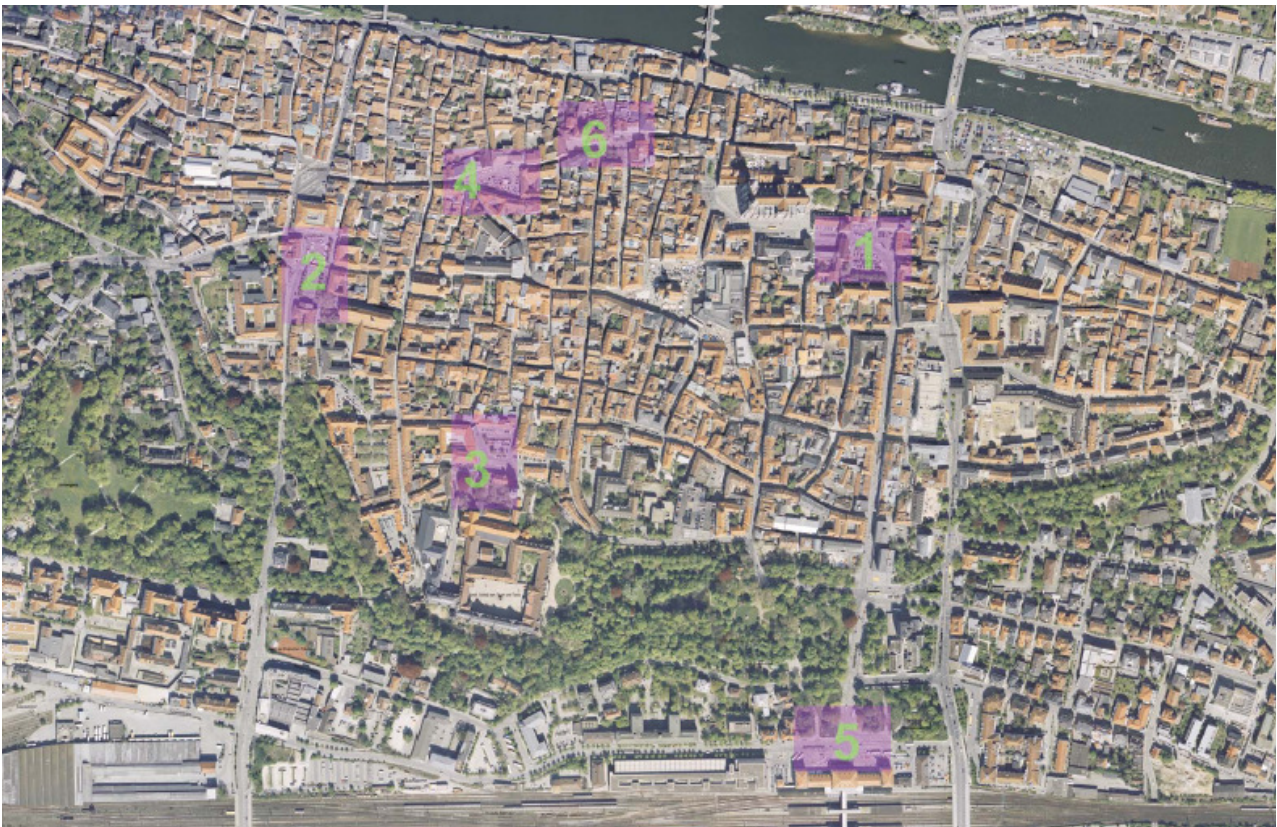
Insbesondere längere und häufigere Hitzeperioden können als Folge des Klimawandels zukünftig die Aufenthaltsqualität in der historischen Altstadt verschlechtern und negative Auswirkungen auf

die Bewohnerinnen und Bewohner, den Tourismus, die Gesundheit etc. haben. Ziel war es deshalb zum einen, eine längere Hitzewelle durch die Befliegung an zwei Tagen, eine zu Beginn und eine am Ende einer solchen Periode, abzubilden. Zum anderen sollten Aufnahmen an einem weiteren Tag im Herbst Vergleichswerte bei durchschnittlichen Temperaturverhältnissen liefern. Um den Tageslauf der Temperaturen (maximale Aufheizung, nächtliche Abkühlung etc.) verschiedener Oberflächen, z.B. von Dächern und Plätzen abbilden zu können, wurde an den Tagen jeweils zweimal zu verschiedenen Tageszeiten geflogen: direkt vor dem Sonnenaufgang (erwartetes Temperaturminimum) und am späten Nachmittag (erwartetes Temperaturmaximum). Parallel wurden mit einem Messwagen des DWD möglichst orts- und zeitgleich bodennahe Lufttemperaturen und Luftfeuchtigkeit erfasst. Stationäre Temperaturmessungen des DWD an bestimmten Plätzen ergänzten dieses Verfahren (vgl. ExWoSt-Endbericht des DWD 2012, Anlage 18).

Die Befliegungen und Messungen fanden am 9. Juli 2010, dem Beginn einer Hitzeperiode sowie am 16. Juli 2010, dem Höhepunkt einer Hitzeperiode statt. Ergänzend wurden außerdem Ende Oktober 2010 Befliegungen und Messungen durchgeführt, um Vergleichswerte zu ermitteln.

Räumlicher Schwerpunkt der Befliegungen und Messungen war der Altstadt kern, aber auch umliegende Bereiche entlang der Donau und parknahen Regionen wurden teilweise mit erhoben. Im Altstadtbereich wurden bei den Befliegungen jeweils ca. 90 % der Fläche erfasst. Die folgende Abbildung 2 zeigt verschiedene Plätze, die für den Vergleich, der Temperaturwirkungen unterschiedlicher Platzgestaltungen besonders großmaßstäbig aufgenommen wurden.

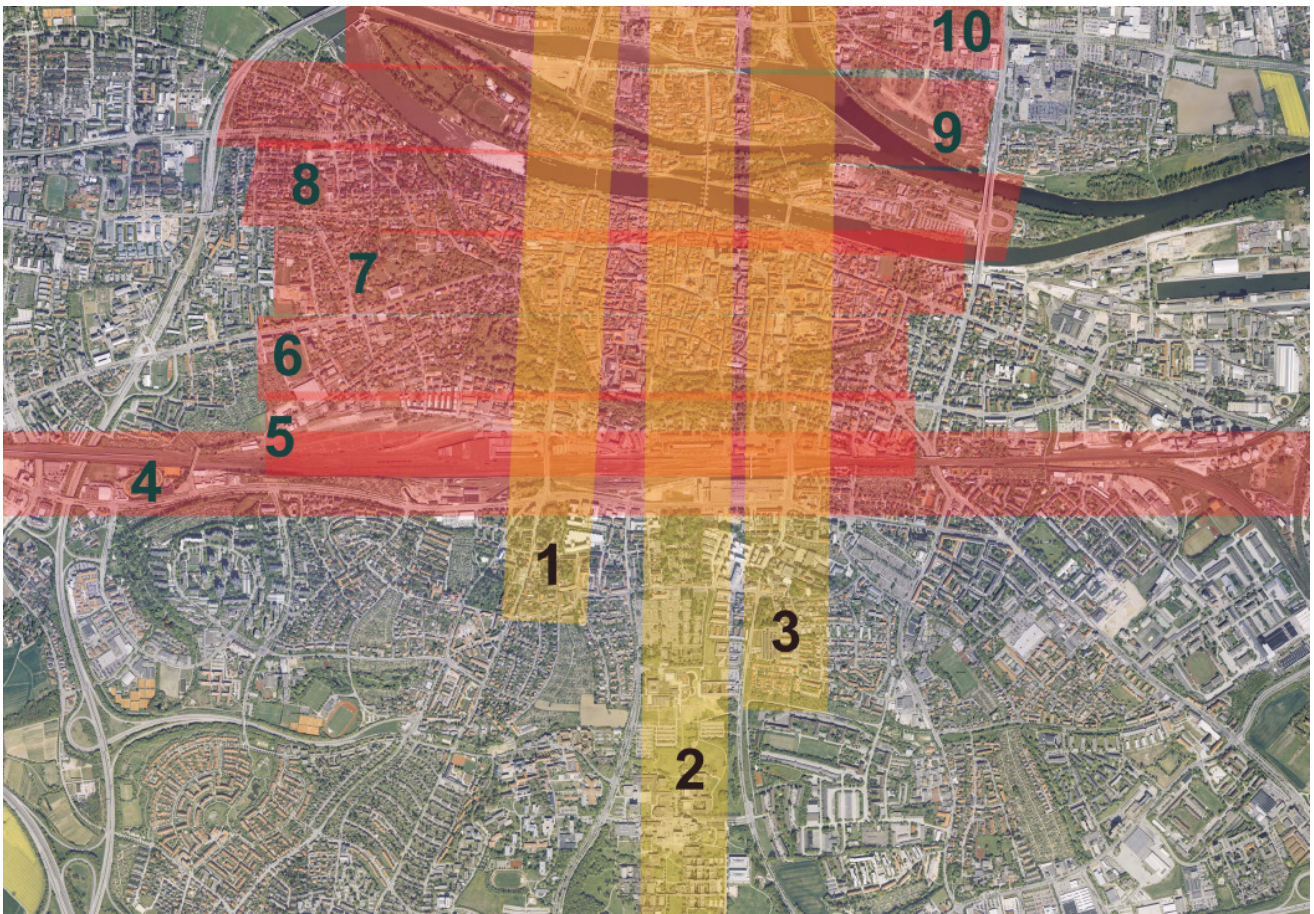
Abbildung 2: Einzelplätze (Großmaßstab – Überflughöhe Ø 350 m / GND)



Um die Wirkung von Frischluftströmen, von zusammenhängenden Grün- und Freiflächenstrukturen und insbesondere der Donau und dem Regen beurteilen zu können, wurden außerdem in einem

kleineren Maßstab verschiedene Aufnahmetrassen definiert. Diese führen entlang des Regentals bis zur Universität sowie in Ost-Westrichtung entlang der Bahngleise (vgl. Abb. 3).

Abbildung 3: Aufnahmetrassen (Mittelmaßstab - Überflughöhen ca. 450 – 550 m / GND)



Ergebnisse der Infrarotthermographie

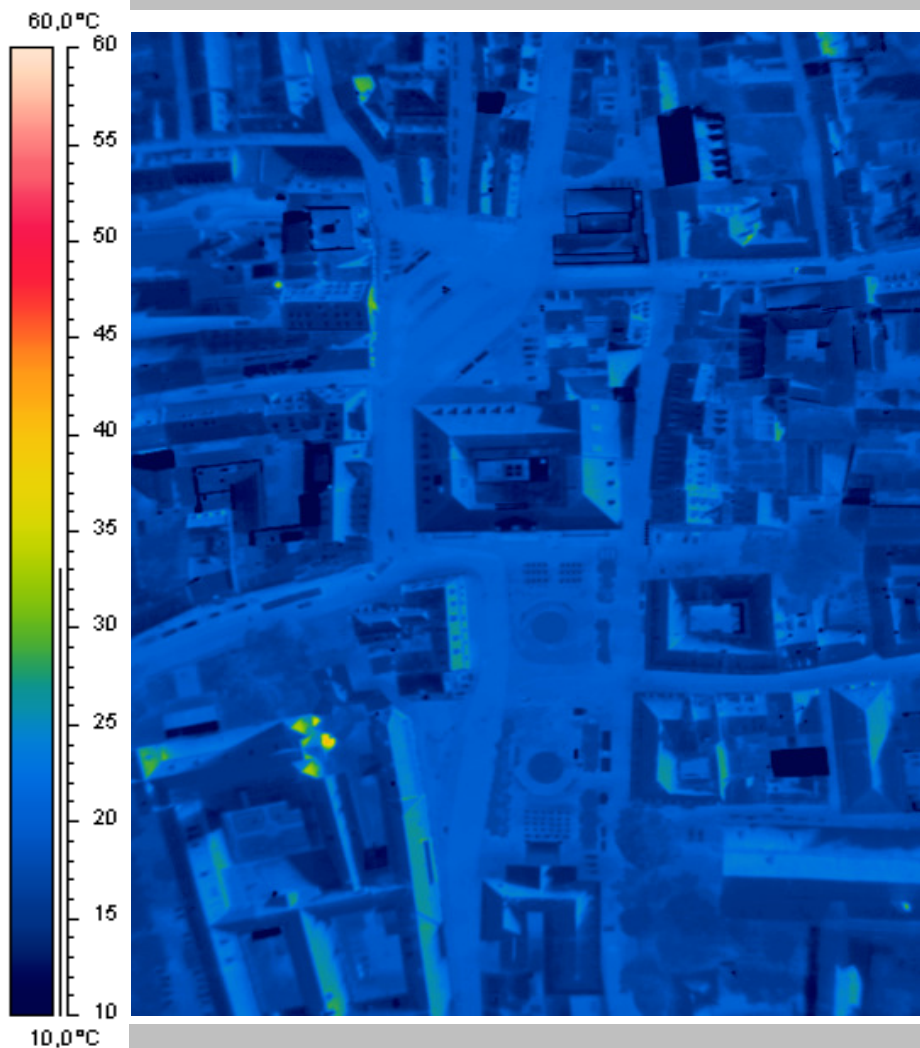
Im folgenden Kapitel wird eine Auswahl an Ergebnissen der Infrarotluftbilder präsentiert. Die Aufnahmen sind dabei – falls nicht anders gekennzeichnet – eingenordet.

Die Infrarotaufnahmen vom Bismarckplatz (im Süden) und Arnulfplatz (im Norden) aus dem Juli 2010 (Abbildung 4) zeigen sehr deutlich die unterschiedlich intensive Aufheizung verschiedener Oberflächen zu unterschiedlichen Tageszeiten.

Am stärksten erwärmen sich die Dachflächen. Dies veranschaulicht sehr deutlich, warum der zunehmende Ausbau von Dachgeschossen für Wohnnutzungen in der Altstadt kritisch gesehen wird. Insbesondere deshalb, weil die Dächer aufgrund denkmalpflegerischer Belange nicht, oder nur bedingt, gedämmt werden können. Mit Blick auf die Zunahme der Häufigkeit und Dauer von Hitzeperioden im Zuge des Klimawandels und der wachsenden Zahl älterer Menschen muss diese Entwicklung kritisch diskutiert werden.

Darüber hinaus zeigen die Aufnahmen die schattenspendende Wirkung der engen Altstadtgassen, während sich die nicht verschatteten Plätze und Straßenabschnitte sehr viel stärker aufheizen. Hier wird der Vorteil, der engen mittelalterlichen Bebauung, sehr deutlich: Während die Temperaturen in den Gassen zwischen 20 und 30 Grad liegen, herrschen auf den Platzoberflächen größtenteils Temperaturen von über 40 Grad.

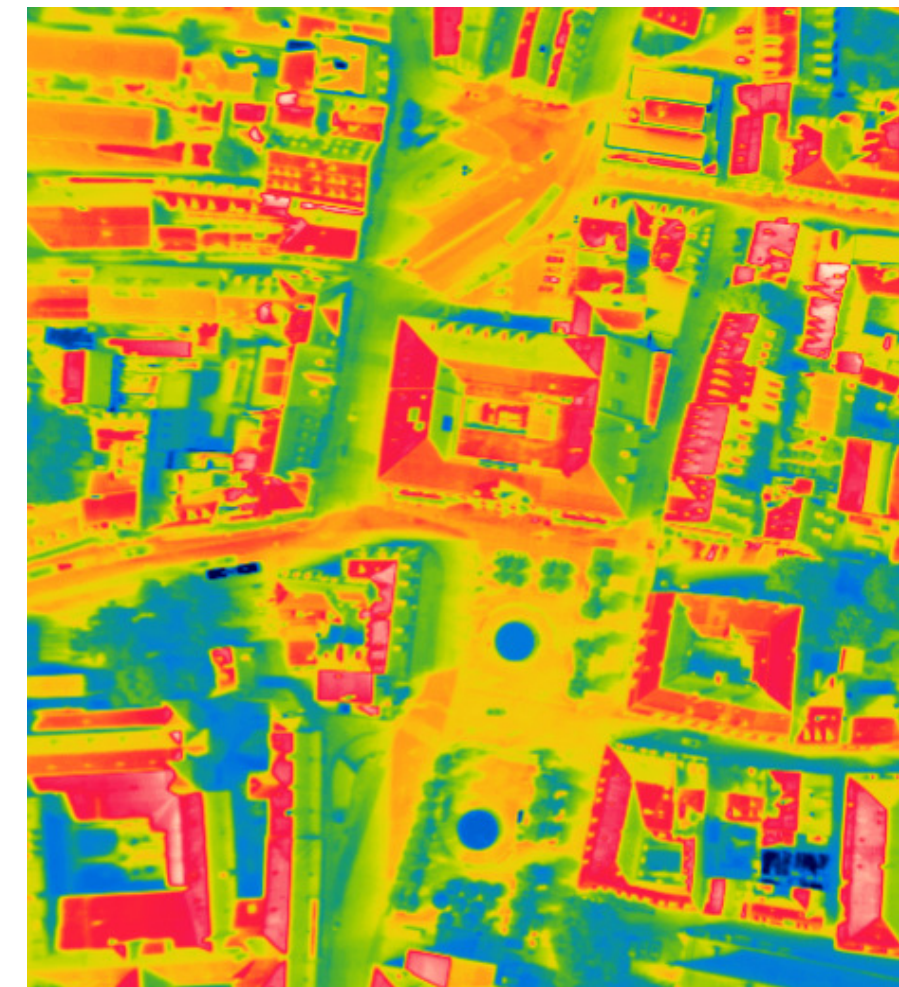
Abbildung 4: Luftbild und Thermoaufnahmen Bismarck- und Arnulfplatz



Thermoaufnahme im Juli 2010 gegen 7.30 Uhr



Luftbild Bismarckplatz und Arnulfplatz



Thermoaufnahme im Juli 2010 gegen 17.00 Uhr

Noch offensichtlicher wird die kühlende Wirkung der engen Gassen auf der Abbildung 5, die den Neupfarrplatz und seine Umgebung zur heißesten Zeit am späten Nachmittag zeigt: Auf der Platzoberfläche sind Temperaturen mit teilweise über 40 °C vorzufinden, in den engen Gassen ist es hingegen mit 20 bis 30 °C deutlich kühler.

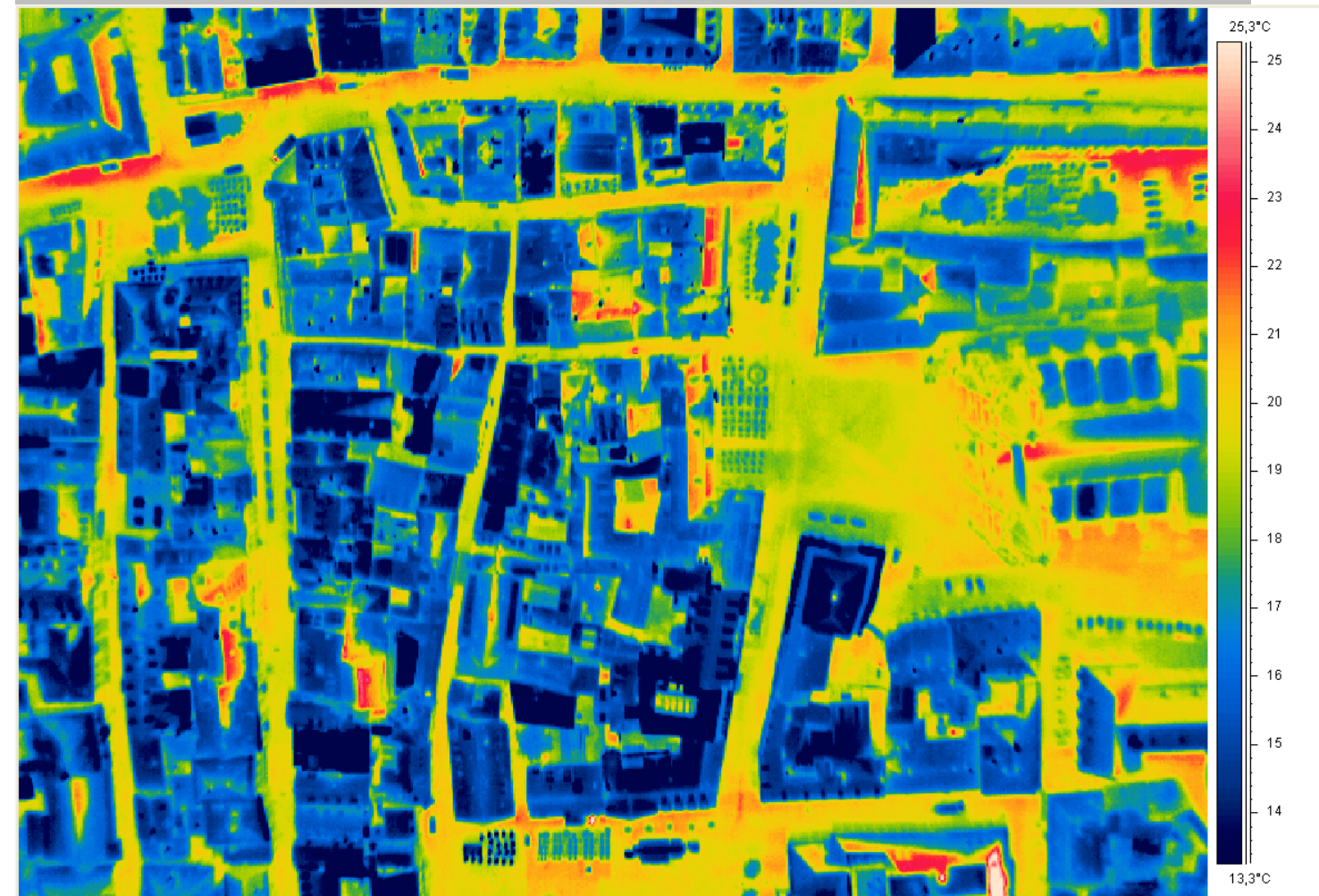
Während sich tagsüber die Dachflächen am stärksten aufheizen, sind sie am Morgen (Abbildung 6) deutlich kühler. Die Pflaster- und Asphaltflächen auf den Straßen und Plätzen speichern die Wärme dagegen und haben noch morgens Temperaturen von über 20 °C. Hier bestätigt sich die bereits zu Beginn angesprochene

Speicherwirkung der steinernen Altstadt, die sich im Sommer sehr viel stärker aufheizt als ihre Umgebung. Die Asphaltflächen kühlen deutlich langsamer ab, so dass bei längeren Hitzeperioden auch nachts kaum mehr Abkühlung stattfindet.

Abbildung 5: Thermoaufnahmen vom Neupfarrplatz und Umgebung
Juli 2010 – gegen 17.00 Uhr



Abbildung 6: Thermoaufnahmen vom Domplatz und Umgebung
Juli 2010 – gegen 7.00 Uhr

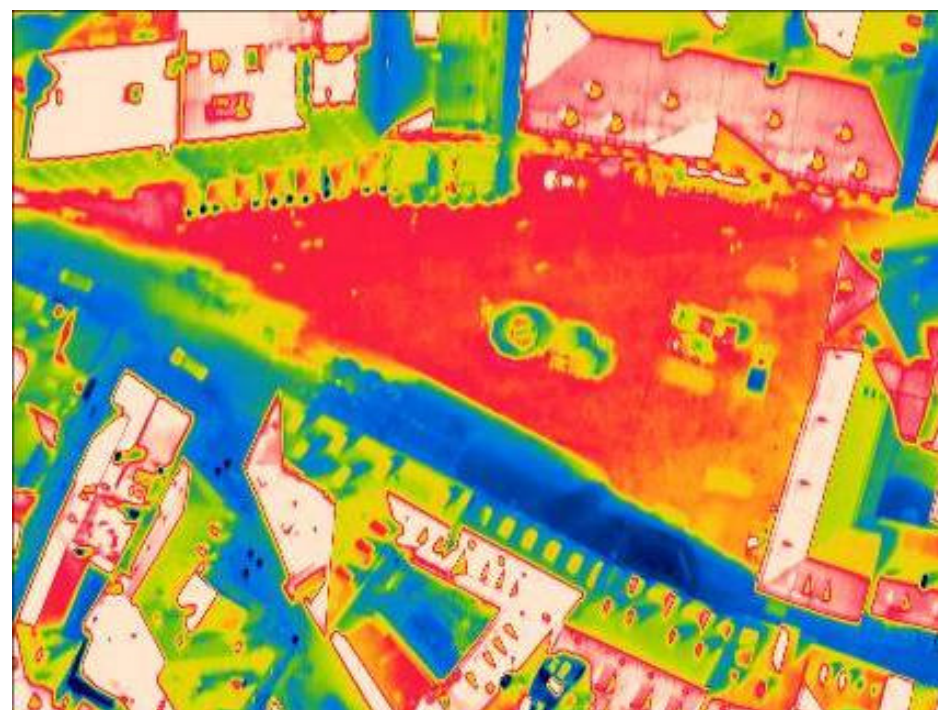


Die nächsten vier Thermoaufnahmen (Abbildung 7) verschiedener Altstadtplätze aus dem Juli 2010, nachmittags gegen 17 Uhr, verdeutlichen noch einmal die Wirkung unterschiedlicher Platzgestaltungen und Bodenbeläge auf die gemessenen Oberflächentemperaturen. Für die Berechnung der Minimal-, Maximal- und Durchschnittswerte der Oberflächentemperaturen sind dabei nur die tatsächlichen Platzflächen, nicht die umliegenden bebauten Gebiete, herangezogen worden.

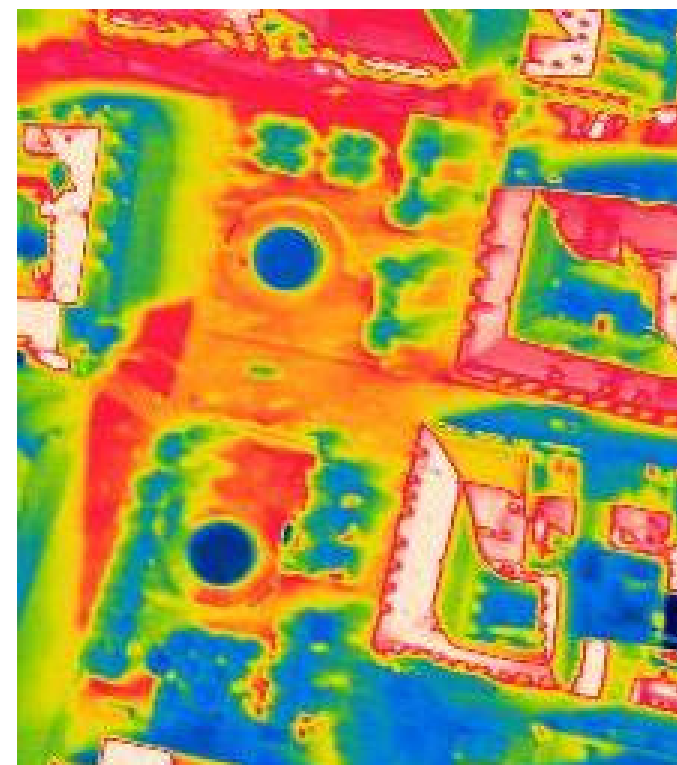
Erwartungsgemäß heizen sich vor allem die Straßen und freien Platzflächen besonders stark auf. Hier werden Temperaturen von deutlich über 40 Grad, zwischen den Autos sogar bis zu 50 Grad gemessen. Obwohl am Bismarckplatz (Abbildung 7, rechts oben) die Fläche zwischen den beiden Brunnen ebenfalls direkt von der Sonne beschienen wird, liegen die Oberflächentemperaturen dort teilweise unter 40 Grad. Weitau kühler ist es in den Bereichen, die von den umliegenden Gebäuden verschattet werden: Hier werden nur mehr Temperaturen etwas über 30 Grad erreicht.

Schließlich lässt sich mit den Thermoaufnahmen die – zumindest kleinräumig wirksame – kühlende Wirkung von Bäumen klar abbilden. Im Schatten der Bäume betragen die Temperaturen zu heißesten Tageszeiten nur gut 25 Grad.

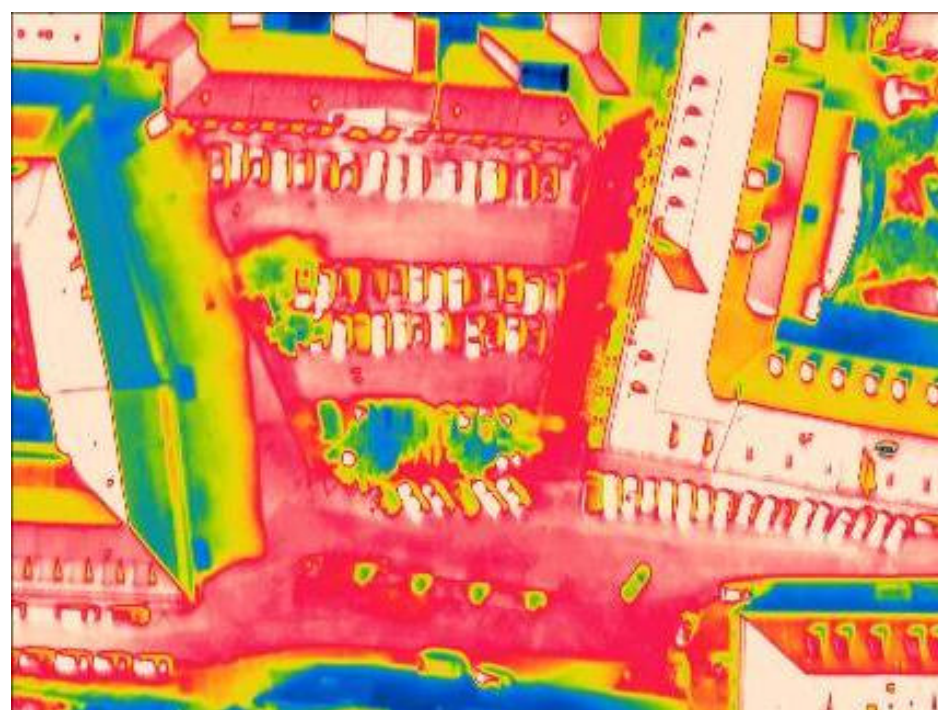
Abbildung 7: Thermoluftbilder ausgewählter Altstadtplätze



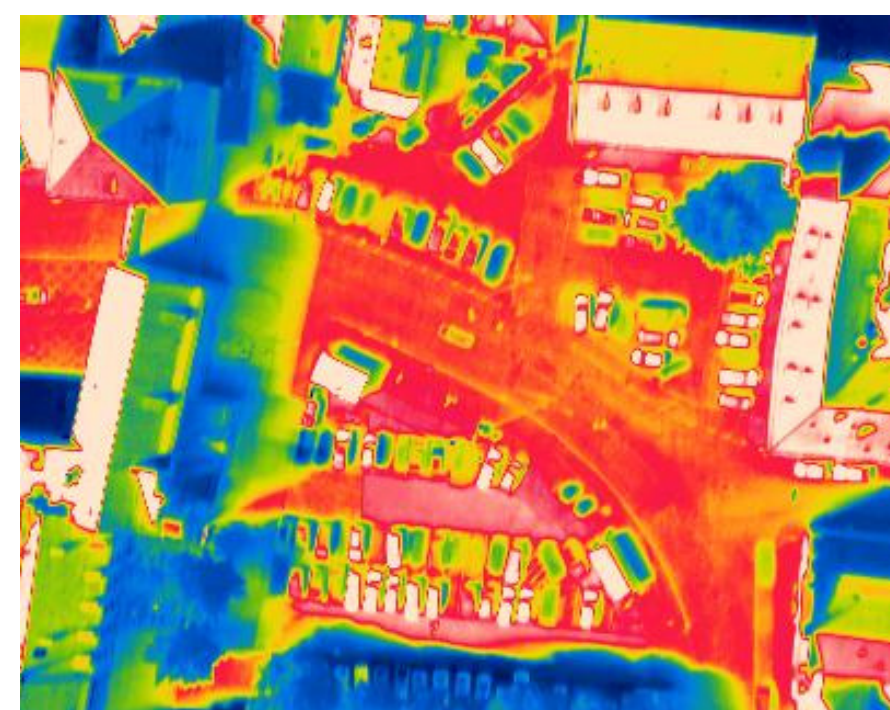
Haidplatz: Maximum: 50,2°C
Minimum: 19,8°C
Durchschnitt: 38,0°C



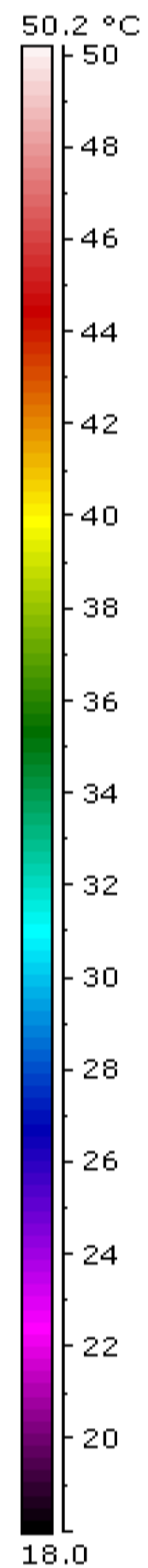
Bismarckplatz: Maximum: 50,0°C
Minimum: 21,9°C
Durchschnitt: 35,5°C



Emmeramsplatz: Maximum: 54,3°C
Minimum: 25,3°C
Durchschnitt: 42,5°C



Alter Kornmarkt: Maximum: 50,6°C
Minimum: 22,3°C
Durchschnitt: 37,1°C



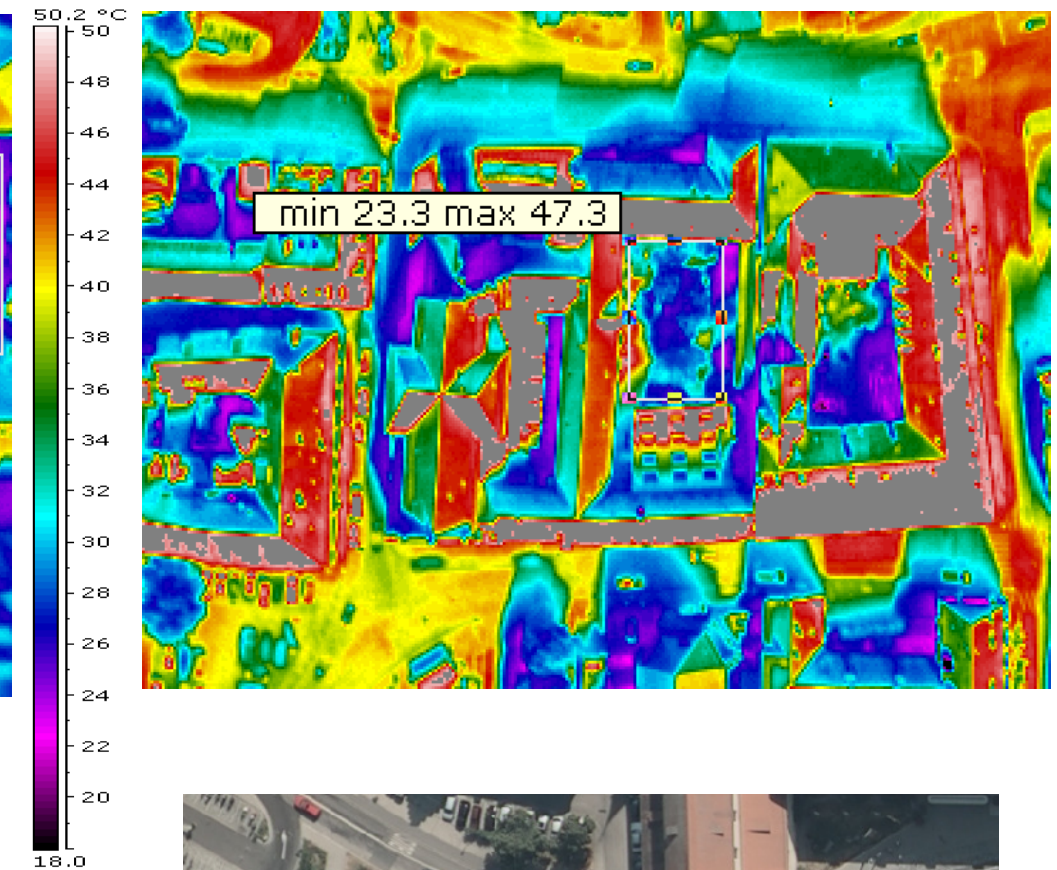
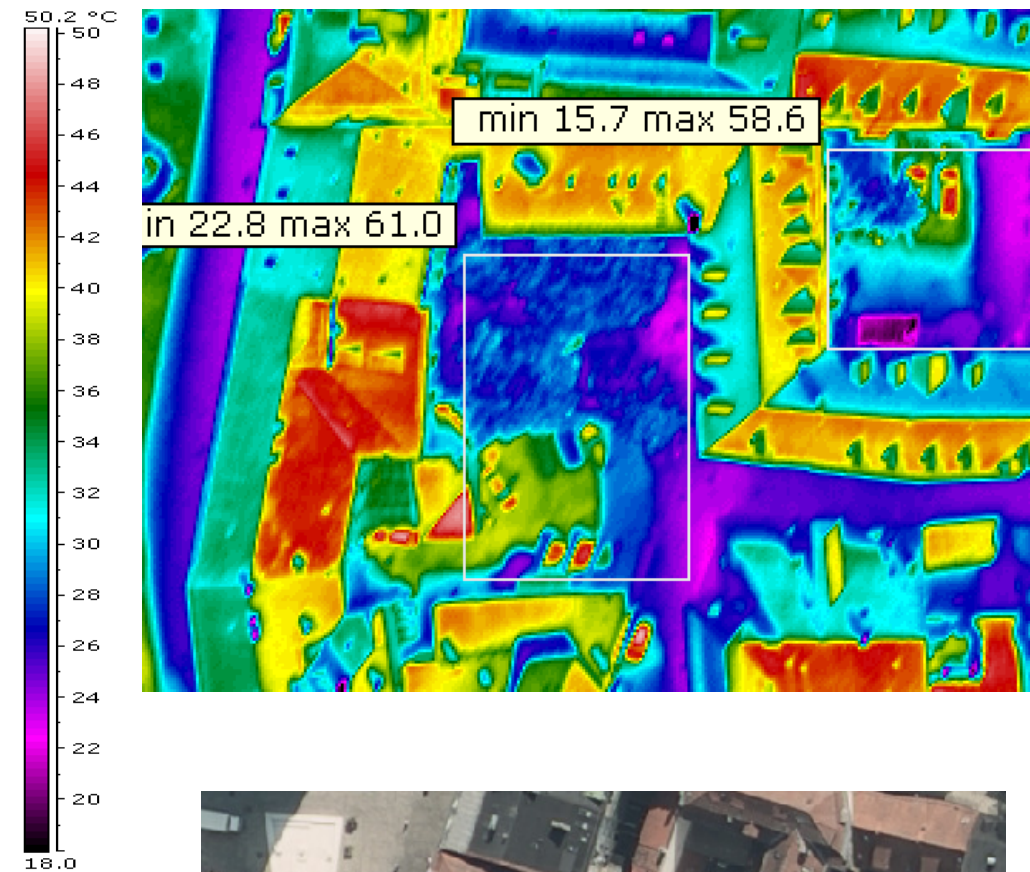
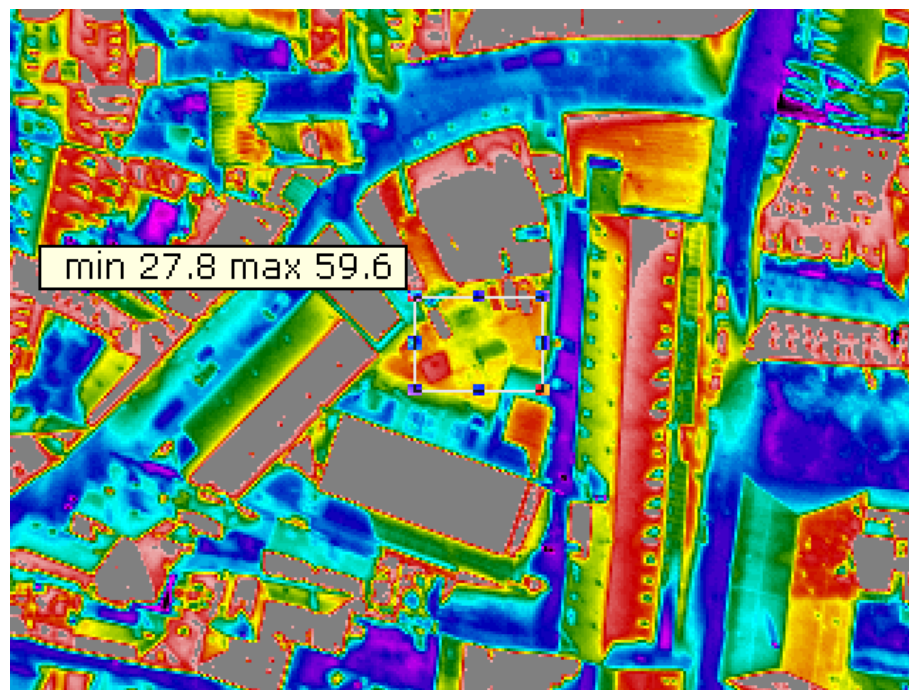
Die folgenden Aufnahmen, ebenfalls vom Juli 2010, zeigen unterschiedlich gestaltete Innenhöfe in der Altstadt im Vergleich. Die Aufnahmezeitpunkte liegen bei allen drei Bildern nah beieinander und alle Höfe sind zum Zeitpunkt der Aufnahme nicht bzw. kaum durch die umliegenden Gebäude verschattet. Die Bereiche, die in die Bemessung der Durchschnittstemperaturen eingeflossen sind, wurden jeweils durch einen weißen Rahmen markiert.

Die linke Aufnahme zeigt einen unbepflanzten und versiegelten Innenhof an der Kreuzung Rote Hahngasse / Gesandtenstraße der überwiegend als Parkplatz genutzt wird. Dort beträgt die Durchschnittstemperatur bei der Thermoaufnahme am Nachmittag über 37 Grad. Auf dem mittleren Bilderpaar ist einen teilweise mit Bäumen bepflanzten Innenhof zwischen Oberer Bachgasse und Pfarrergasse abgebildet, wo zum selben Aufnahmezeitpunkt eine durchschnittliche Temperatur von 34 Grad herrscht.

Das letzte Aufnahmepaar an der rechten Seite zeigt in der Mitte einen vollständig durch Bäume verschatteten Innenhof. Dort beträgt die Durchschnittstemperatur etwas weniger als 30 Grad.

Die Wirkung von Versiegelungsgrad und Bäumen wird bei diesen Innenhofaufnahmen noch einmal besonders deutlich. Hier werden die Bemühungen der Stadt, bei Sanierungsmaßnahmen auf Entsiegelung und Begrünung von Innenhöfen hinzuwirken, bestätigt.

Abbildung 8: Thermoluftbilder ausgewählter Innenhöfe in der Altstadt



Kreuzung Rote-Hahnen-Gasse – Gesandtenstraße

Durchschnittstemperatur des Hofes 37,2°C



Gebiet zwischen Oberer Bachgasse und Pfarrergasse

Durchschnittstemperatur des Hofes 34,1°C



Block zwischen Schwanenplatz und Altem Kornmarkt

Durchschnittstemperatur des Hofes 29,7°C

Bewertung der Methodik und Ausblick

Ziel der Infrarotthermoluftbilder war es vor allem, Unterschiede in der Oberflächentemperatur von verschiedenen Freiraumtypen in der Altstadt (versiegelte Plätze, Baum- und Brunnenplätze, Gassen, Höfe, Flussufer, Parkanlagen etc.) abzubilden.

Methodisch bedingt ermöglicht die gewählte Technik der Infrarotthermographie zwar grundlegende Aussagen zu den Fragestellungen, die jedoch durch andere Messmethoden und –ergebnisse ergänzt werden müssen – wie z.B. die parallelen Vor-Ort-Messungen des DWD (siehe Anlage 18).

Darüber hinaus sind die Luftbildaufnahmen - wie erwartet - ein sehr gutes Medium, um das abstrakte Thema Klimaanpassung zu verbildlichen und anschaulicher zu machen.

Gleichzeitig bestätigen die Aufnahmen sehr eindrücklich die kühlende Wirkung von Wasserflächen, Grün und Bäumen. Abschließend quantifizieren lässt sich diese Wirkung allein durch die Darstellung der Oberflächentemperaturen jedoch nicht.

Zusammenfassend wird auch konstatiert, dass die Aus- und Bewertung des umfangreichen Datenmaterials von einer kommunalen Verwaltung (ohne externe wissenschaftliche Begleitung) kaum zu leisten: Die Thermo-Befliegungen haben einen enormen Datenpool an Infrarotvideo- und Echtluftbildaufnahmen ergeben: Insgesamt wurden 104 Wärmebild-Videsequenzen erstellt, so dass Bildmaterial von mehreren Stunden vorliegt. Dabei besitzt jede Bildszene rein rechnerisch über 300.000 einzelne Messpunkte, die theoretisch alle ausgelesen werden könnten. Parallel wurden mehrere tausend Echtfarbenluftbilder erstellt.

Eine weitere Erkenntnis aus dem Forschungsprojekt ist, dass für klimatische Analysen sinnvollerweise kleinmaßstäbigere Infrarotaufnahmen herangezogen werden sollten.

Hierzu hat Prof. Jürgens von der Ruhr-Universität Bochum zusammen mit einem Projektteam des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (Oberpfaffenhofen) im Juli 2011 im Rahmen eines EU-Forschungsprojektes zur luftgestützten Fernerkundung umfangreiche Infrarotdaten des Regensburger Stadtgebietes erhoben.

Diese Daten hat Prof. Jürgens im Rahmen des ExWoSt-Forschungsprojektes sowohl für die Regensburger Altstadt als auch für das gesamte Stadtgebiete ausgewertet und die Ergebnisse in einem gesonderten Bericht (siehe Anlage 20) erläutert.

Auch wenn die großmaßstäbigen Infrarotaufnahmen für eine klimatische Analyse der gesamten Innenstadt nur bedingt geeignet erscheinen, können sie zukünftig für die klimatische Bestandsaufnahme und Analyse kleinerer Entwicklungsgebiete – bspw. bei der Neugestaltung von Plätzen oder in Sanierungsgebieten wie dem Obermünsterviertel –sehr wohl wertvolle Informationen liefern.