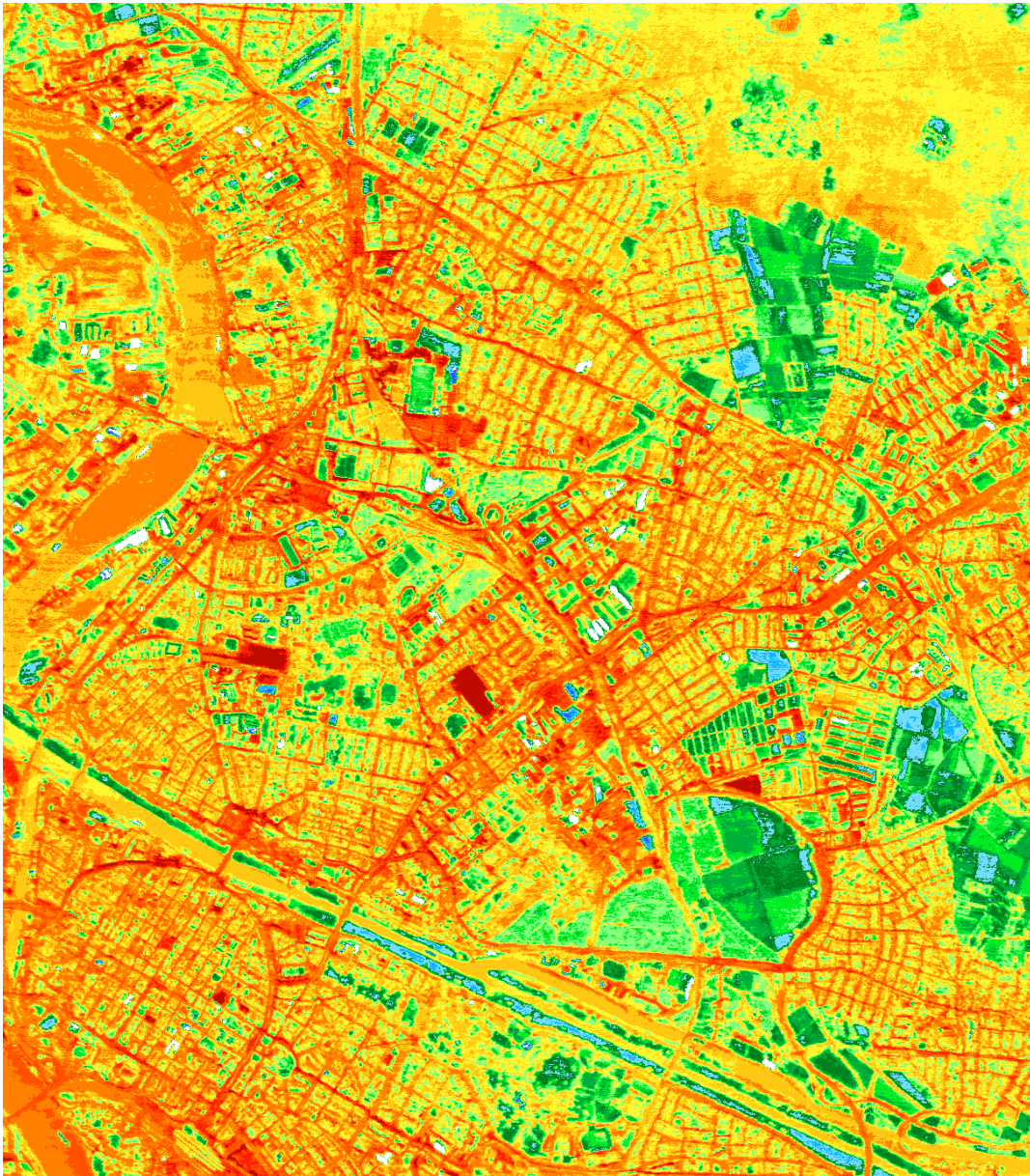


Thermalscannerbefliegung Mannheim 2009



Steinicke & Streifeneder
Umweltuntersuchungen GbR

Eisenbahnstraße 43
D-79098 Freiburg
Tel +49-761-2021646
Fax +49-761-2021671
steinicke@klima-luft.de
www.klima-luft.de

Inhalt

1	Einleitung.....	3
2	Thermalscannerbefliegung und Datenaufbereitung	3
2.1	Datenaufnahme	3
2.2	Thermalkarten Abend/Morgen	3
2.3	Vergleich mit 1985 und 1999	4
3	Klassifizierte Thermalkarte.....	4
3.1	Grundlagen und Erstellung	4
3.2	Thermische Eigenschaften der wichtigsten Landnutzungen	5
4	Karten und Datenlieferung.....	7
4.1	Kartenproduktion	7
4.2	Digitale Daten	7
4.3	Internet-Präsentation.....	8
5	Literatur.....	9

1 Einleitung

Nach 1985 und 1999 wurde im Sommer 2009 eine weitere Thermalscannerbefliegung der Stadt Mannheim durchgeführt. In Verbindung mit einem parallelen Bodenmessprogramm (Ökoplane) entsteht so eine flächendeckende Darstellung des klimatischen Ist-Zustands – ein wichtiges Hilfsmittel für die Stadtplanung. Die Befliegung umfasst die Aufnahme der Oberflächenstrahlungstemperaturen in der Abend- und Morgensituation. Daraus ergibt sich u.a. die nächtliche Abkühlung der Flächen und die Klassifizierte Thermalkarte. Dies ist eine Darstellung des Oberflächentemperaturverhaltens, das in enger Relation zum Mikroklima der Realnutzungsflächen steht. Der folgende Bericht beschreibt die Methoden und Produkte der Untersuchung.

2 Thermalscannerbefliegung und Datenaufbereitung

2.1 Datenaufnahme

Während einer sommerlichen Strahlungswetterlage wurden im August/September 2009 mit einem Thermalscanner zwei Befliegungen zur Aufzeichnung von Oberflächenstrahlungstemperaturen über dem Stadtgebiet von Mannheim durchgeführt. Der erste Flug fand kurz nach Sonnenuntergang, der zweite Flug kurz vor Sonnenaufgang statt, um das nächtliche Abkühlungsverhalten der Erdoberfläche zu erfassen (siehe folgende Tabelle). Aufnahmegerät war ein Thermalscanner vom Typ Daedalus AADS 1250, der die von der Erdoberfläche ausgehende langwellige Wärmestrahlung im thermischen Infrarot (Wellenlängenbereich 8-14 μm) detektiert. Er nimmt die emittierte Strahlung der Geländeobjekte bildpunktweise in quer zur Flugrichtung verlaufenden Streifen (Scanstreifen) auf. Grundelement des Abtastsystems ist ein rotierender Spiegel, mit dem das Gelände zeilenweise abgetastet wird, während sich das den Scanner tragende Flugzeug in Flugrichtung fortbewegt. Die von der Erdoberfläche ausgehende Strahlung wird dabei über ein optisches System, das die Strahlung in einzelne Wellenlängenbereiche zerlegt, auf Detektoren geleitet, die die Intensität der Strahlung messen.

Tab. 1: Angaben zu den Thermalscanneraufnahmen

Aufnahmezeitraum	Abendflug: 31.8.2009, 20:00 – 21:00 Uhr (MESZ) Morgenflug: 1.9.2009, 6:00 – 7:00 Uhr (MESZ)
Gebietsgröße	ca. 21 km (N-S) x 13 km (O-W)
Flughöhe	ca. 2000 m ü.G.
Gebiet (O-W, N-S)	Datei: 14370 m x 22095 m; Bilddaten: ca. 13162 m x 21024 m
Anzahl Flugstreifen	5 (Orientierung N-S)
Geometrische Auflösung	ca. 5 m

Durch die Aufnahme von Referenztemperaturen („black bodies“) werden bei der Befliegung den gemessenen 8bit-Grauwerten (Bereich 0...255) Oberflächenstrahlungstemperaturen zugeordnet. Nach Berücksichtigung der aufgenommenen Fluglagekorrekturen werden die Daten der Abend- und Morgenbefliegung für das Untersuchungsgebiet geometrisch entzerrt. Grundlage hierfür war die digitale Topographische Karte 1:25.000 des Landesvermessungsamts Baden Württemberg (Stand 2006). Einzelne Datenlücken wurden später mit der aktuelleren Digitalen Stadtkarte (1:25.000) geschlossen. Die Entzerrung der einzelnen Flugstreifen erfolgt über Passpunkte (insgesamt ca. 20000). Die geometrisch korrigierten Streifen werden anschließend zu einem Bildverband zusammengesetzt. Als Ergebnis entstehen georeferenzierte Thermalkarten (Gauß-Krüger Koordinaten).

2.2 Thermalkarten Abend/Morgen

Die Thermalkarten zeigen flächendeckend die Strahlungstemperatur der Landschaftsoberfläche in der Abend- und Morgensituation. Die Temperaturskalen sind identisch gewählt, damit ein direkter Ver-

gleich möglich ist. Die Werte sollen außerdem einen maximalen Kontrast bieten. Das Minimum beträgt 13 °C, das Maximum 24 °C (siehe Tab. 2). Bei der Farbcodierung wurden 14 Stufen unterschieden, von blau (kalt) bis rot (warm). Erwartungsgemäß erscheint bei dieser Darstellung die Morgensituation aufgrund der nächtlichen Ausstrahlung kühler als die Abendsituation. Eine Ausnahme stellen Wasserflächen (Rhein, Neckar, Seen) dar, deren Temperatur auf hohem Niveau praktisch konstant bleibt.

Dies zeigt insbesondere die erstellte Differenzkarte Abend/Morgen. Sie stellt die Temperaturänderung zwischen der Abend- und Morgensituation dar. Bei der Temperaturskala werden 14 Stufen unterschieden (Differenzen werden in Kelvin gemessen). Sie verläuft von 0 K (konstante Temperatur, rot) bis 9 K (maximale Abkühlung, blau); siehe Tab. 2.

2.3 Vergleich mit 1985 und 1999

Bereits 1985 und 1999 wurden Thermalscannerbefliegungen der Stadt Mannheim durchgeführt (mit jeweils anderen Aufnahmegebieten und Auflösungen). Um Unterschiede deutlich zu machen, wurden Differenzkarten zwischen den jeweiligen Abendsituationen erstellt. Dazu mussten die alten Daten neu aufbereitet werden (geometrische/radiometrische Korrektur). Die Ergebnisse sind die Differenzkarte Abend 1985/Abend 2009 bzw. die Differenzkarte Abend 1999/Abend 2009. Es wurde eine gemeinsame Temperaturskala gewählt, die von -7 K (rot) bis +7 K (blau) reicht; siehe Tab. 2. Positive Werte bedeuten, dass der Abend im Jahr 1985 (bzw. 1999) wärmer war als 2009 (die Fläche erscheint 2009 also kühler). Bei negativen Werten war der Abend im Jahr 1985 (bzw. 1999) kühler als 2009 (die Fläche erscheint 2009 also wärmer). Die beiden Karten zeigen somit Veränderungen der Nutzung und ihr Einfluss auf das Oberflächentemperaturverhalten und damit auf das Mikroklima.

3 Klassifizierte Thermalkarte

3.1 Grundlagen und Erstellung

In einer windschwachen Strahlungswetterlage zeigen Oberflächen während der nächtlichen Abkühlungsperiode ein charakteristisches nahezu lineares Abkühlungsverhalten. Sind T1 und T2 die Temperaturwerte eines Oberflächenelements in der Abend- bzw. Morgenaufnahme, so lässt sich das Oberflächentemperaturverhalten durch die folgenden Parameter beschreiben (K = Kelvin):

$$\begin{array}{ll} \text{Abkühlung (K)} & \Delta T = T1 - T2 \\ \text{mittlere Temperatur (}^\circ\text{C)} & T_m = \frac{1}{2} (T1 + T2). \end{array}$$

Auf dieser Beziehung beruht die Erstellung der Klassifizierten Thermalkarte, bei der die Bildverbände der Abend- und Morgensituation (2009) digital überlagert und für jedes Bildelement nach obiger Formel die mittlere nächtliche Temperatur und die Abkühlung berechnet werden. Im Idealfall würde sich eine Landschaftsoberfläche gemäß ihrem Typ (Acker, Wiese, Asphaltfläche) verhalten, also charakteristische Werte der mittleren Temperatur und Abkühlung zeigen.

Um die aus den Thermalaufnahmen gewonnenen, individuellen ΔT - T_m -Werte mit den theoretischen Idealwerten vergleichen zu können, muss man die Temperaturwerte korrigieren. Tages- und jahreszeitliche Einflüsse müssen aus den Daten eliminiert werden, so dass in erster Linie die Faktoren Wetterlage und Nutzung das Temperaturbild bestimmen, nicht jedoch der Befliegungstermin. Dies geschieht in Form der sog. standardisierten multitemporalen Klassifikation, gleichbedeutend mit einer festen Einteilung des Oberflächentemperaturverhaltens in verschiedene Klassen. Dabei werden die festen Landschaftsoberflächen durch die 12 Klassen B bis M, Wasserflächen durch die Klasse A beschrieben. Die Abgrenzung ist aber nicht scharf; so gibt es auch Wasserflächen in der Klasse B. Jeder Klasse wird eine bestimmte Farbe zugeordnet (siehe Abb. 1). Die Farbgebung der Klassen verläuft vertikal mit zunehmenden mittleren Temperaturen von blau über grün und gelb bis rot. Horizontal variiert die Farbintensität mit zunehmender nächtlicher Abkühlung von Dunkel nach Hell.

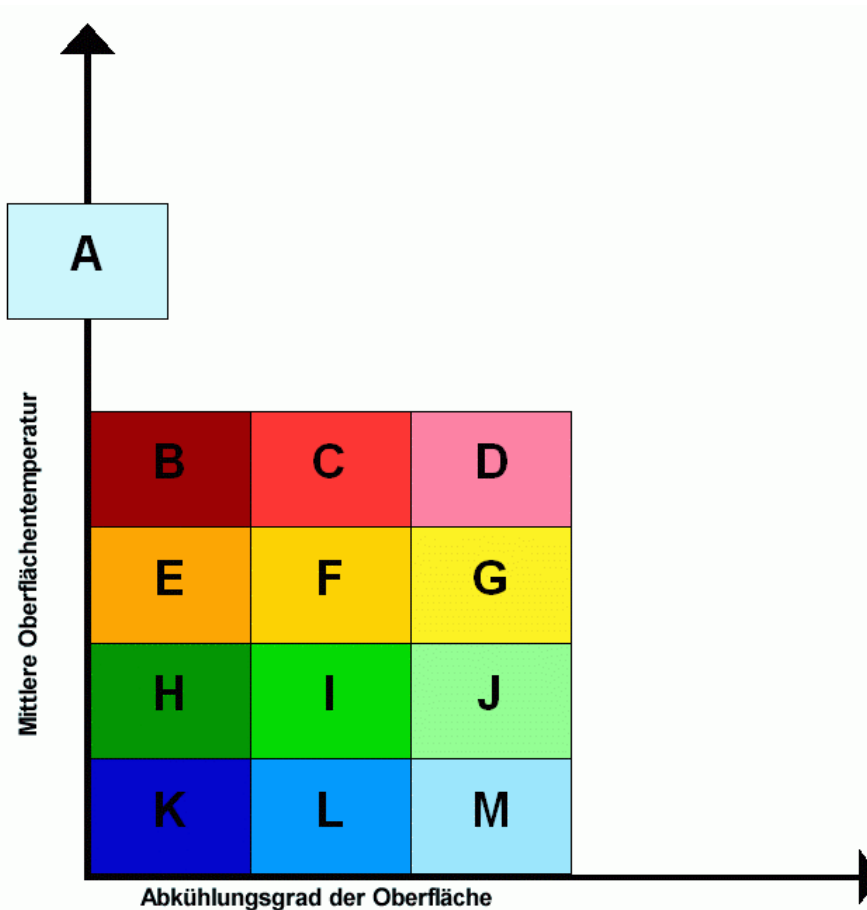


Abb. 1: Standardisierte Klassifikation des Oberflächentemperaturverhaltens (siehe Text).

Bei stark reflektierenden Flächen (d. h. Flächen mit einem Emissionsvermögen ϵ , das deutlich kleiner als 1 ist, wie z. B. Metall- oder Glasdächer) liefert die Thermographie keine verlässlichen Werte der Oberflächenstrahlungstemperatur. Die Struktur dieser Flächen ist aber bekannt (z. B. Hallendächer in Gewerbegebieten), so dass Fehlinterpretationen weitgehend ausgeschlossen sind.

Bei der Interpretation von Thermalbildern ist weiterhin zu berücksichtigen, dass der Thermalscanner stets nur die äußerste Schicht der Landschaftsoberfläche aufnimmt, also solche Punkte, die dem Detektor am nächsten sind. So kann der Thermalscanner beispielsweise nicht in einen dichten Wald „hineinschauen“, sondern detektiert ausschließlich das Kronendach. Es gibt also kein einheitliches „Scanniiveau“. Damit liegen etwa Bildelemente von Straßen- und Dachflächen unmittelbar nebeneinander. Auch enthält ein Bildelement bei einer Auflösung von 5 m in der Regel die Strahlungsinformationen verschiedener Materialien („Mischpixel“), was Übergänge zwischen verschiedenen Nutzungen unscharf erscheinen lässt. Ebenso möglich ist eine Mischung von Vertikalflächen.

3.2 Thermische Eigenschaften der wichtigsten Landnutzungen

Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge zwischen Nutzung und thermischem Verhalten werden im folgenden einige Nutzungstypen beschrieben.

Gewässer

- Wasser besitzt ein extrem hohes Wärmespeichervermögen. So kann Wasser 3 bis 10mal soviel Wärme aufnehmen wie das gleiche Volumen Erdboden, bis seine Temperatur um 1 K ansteigt.
- Folge: ausgeglichener Temperaturgang (Schwankungen zwischen Tag und Nacht und auch zwischen den Jahreszeiten sind sehr viel kleiner als beim festen Boden).
- Seen und Flüsse erscheinen an heißen Sommertagen tagsüber kühler als das viel stärker erhitzte Land, in der Nacht jedoch wärmer.

Landwirtschaftsflächen

- Die Energieumsätze bleiben auf die oberste Bodenschicht beschränkt, d. h. die Bodenoberfläche erhitzt sich rasch und kühlt auch rasch wieder aus. Unbewachsener Boden ist somit recht hohen Temperaturschwankungen unterworfen.
- Wie groß die Schwankungen sind, hängt im wesentlichen von der Wärmeleitfähigkeit des Bodens ab. Diese wiederum wird von der Bodenart, der Bodenfeuchte und dem Luftgehalt des Bodens bestimmt.
- Neben den Bodeneigenschaften hat die Vegetationsdecke einen großen Einfluss auf das thermische Verhalten von Landwirtschaftsflächen. So wird bewachsenem Boden wesentlich weniger Wärme zugeführt als unbewachsenem, d. h. Wiesen und mit Ackerfrüchten bestandene Felder sind sowohl tagsüber als auch nachts kühler als nackter Boden und insbesondere Wiesen kühlen nach Sonnenuntergang sehr rasch aus.

Waldflächen

- Wälder stellen, in Abhängigkeit von der Bestandsdichte, die höchste und dichteste Form einer Vegetationsdecke dar. Wie bei einer Wiese oder einem Weizenfeld findet auch hier der Energieumsatz nicht am Boden, sondern an der Oberfläche der Vegetation, also am Kronendach statt.
- Im Stammraum herrscht ein eigenes „Binnenklima“ oder Bestandsklima mit ausgeglichenem Temperaturgang. Im Waldinneren ist es an einem Sommertag tagsüber kühler und nachts wärmer als im Umland.
- Wälder erscheinen auf Thermalaufnahmen meist relativ warm, sie sind jedoch keinesfalls mit Wärmeinseln gleichzusetzen. Ursache dafür ist, dass die am Kronendach abgekühlten Luftmassen in den Stammraum sinken und von dort durch wärmere Luftmassen wieder ersetzt werden. Daher bleibt die Waldoberfläche relativ warm und nur diese kann der Scanner vom Flugzeug aus einsehen, der Stammraum bleibt ihm verborgen!
- Auch die Flächengröße, die Baumartenzusammensetzung, die Höhe und Dichte des Baumbestandes und dessen Vitalität sind mögliche Einflussfaktoren für das Erscheinungsbild von Wäldern auf Thermalaufnahmen.

Straßen und Gleisanlagen

- Straßen und sonstige asphaltierte Flächen gehören an einem heißen Sommertag sowohl tags als auch nachts zu den wärmsten Landoberflächen. Besonders in dicht bebauten Gebieten bleiben die Straßen die ganze Nacht hindurch relativ warm und erscheinen daher auf der Klassifizierten Thermalkarte als warme (rote) Bänder, im Freiland kühlen sie etwas stärker ab.
- Gleisanlagen heizen sich tagsüber an der Oberfläche stark auf, kühlen aber wesentlich rascher aus als Straßen. Grund hierfür ist die im Schotterkörper eingeschlossene Luft, durch die Wärme schlechter weitergeleitet und gespeichert wird als bei Asphalt. Auf der Klassifizierten Thermalkarte erscheinen daher Gleisanlagen häufig in den gelben Farben.

Wohngebiete

- Bei bebauten Flächen hängt das thermische Erscheinungsbild stark von der Dichte, Höhe und Anordnung der Häuser, von der Durchgrünung und der Lage der Fläche ab (Stadtzentrum oder Rand).
- Das thermische Spektrum reicht von kaum wahrnehmbaren Veränderungen gegenüber dem Freiland bis zur extremen Wärmeinsel. Dementsprechend unterschiedlich ist auch das Aussehen auf der klassifizierten Thermalkarte. Charakteristisches Kennzeichen sind die Straßenzüge, die die meist in gelb erscheinenden Siedlungen als rote Adern durchziehen.

Gewerbe- und Industriegebiete

- Für Gewerbe- und Industriegebiete gilt prinzipiell das gleiche wie für die Wohngebiete. Allerdings sind hier die thermischen Strukturen etwas flächiger als in den eher linear geprägten Siedlungen, weil sich größere versiegelte Komplexe mit unversiegelten Bereichen abwechseln.
- Charakteristisch für das Erscheinungsbild von Gewerbe- und Industriegebieten auf Thermalaufnahmen ist außerdem das Vorkommen von rechteckigen schwarzen oder blauen Flächen. Dabei handelt es sich um Hallendächer mit reflektierenden Eigenschaften, z.B. aus Metall oder Glas. Solche Dächer spiegeln die Kälte des Nachthimmels wieder, so dass die Thermographie in diesen Fällen keine verlässlichen Werte der Strahlungstemperatur liefert.

4 Karten und Datenlieferung

4.1 Kartenproduktion

Die folgenden Farbkarten wurden im Maßstab 1:15.000 produziert:

- Wärmebildplan Abend
- Wärmebildplan Morgen
- Temperaturdifferenzkarte Abend/Morgen
- Differenzkarte Abend 1985/Abend 2009
- Differenzkarte Abend 1999/Abend 2009

Die klassifizierte Thermalkarte wurde im Maßstab 1:10.000 produziert. Von allen Karten wurde eine A3-Version im pdf-Format erstellt.

4.2 Digitale Daten

Die digitalen Daten wurden als Geotiff-Dateien (tif + tfw) produziert. Struktur und Inhalt sind in den folgenden Tabellen angegeben.

Tab. 2: Angaben zu den Geotiff-Dateien

Dateigröße	2874 Pixel pro Zeile / 4419 Zeilen
Pixelgröße	5 m
Dateikoordinaten (links oben)	Rechtswert = 3456653 / Hochwert = 5495980
Gebiet (O-W, N-S)	Datei: 14370 m × 22095 m; Bilddaten: ca. 13162 m × 21024 m
Graustufen (Level)	0 – 255 (8 bit pro Pixel)
Farbcodierung	14 Stufen

Tab. 3: Inhalt der Geotiff-Dateien

Datei	Flug	Temperatur	Erläuterung
Abend	Abend	13 °C – 24 °C	14 Farbstufen; gleiche Skalierung wie Morgen
Morgen	Morgen	13 °C – 24 °C	14 Farbstufen; gleiche Skalierung wie Abend
Abend255	Abend	13 °C – 24 °C	255 Graustufen; gleiche Skalierung wie Morgen
Morgen255	Morgen	13 °C – 24 °C	255 Graustufen; gleiche Skalierung wie Abend
Differenz	Abend/Morgen	0 K – 9 K	14 Farbstufen; K = Kelvin
Klassifikation	Abend/Morgen		13 Klassen (Farben)
Abd85-Abd09	Abend 1985/Morgen 2009	-7 K – 7 K	14 Farbstufen; gleiche Skalierung wie 1999/2009
Abd99-Abd09	Abend 1999/Morgen 2009	-7 K – 7 K	14 Farbstufen; gleiche Skalierung wie 1999/2009

Die folgenden Daten wurden in ein mxd-File (ArcGis 9) integriert:

- Abend (Farbe und Graustufen)
- Morgen (Farbe und Graustufen)
- Differenz Abend/Morgen
- Klassifikation
- Differenz Abend 1985/Abend 2009
- Differenz Abend 1999/Abend 2009

Die Darstellung enthält auch die zugehörigen Legenden.

4.3 Internet-Präsentation

Die Daten (Karten/mxd-File) werden zusammen mit dem HTML ImageMapperNG2 (von alta4 Geoinformatik AG) incl. Wartung für ein Jahr geliefert, um durch Export der Daten das Betrachten in einem Internet-Browser zu ermöglichen.

Bearbeitung

Dipl. Phys. Dr. Wolfgang Steinicke
Steinicke & Streifeneder

Freiburg, den 6. Juli 2010

5 Literatur

- FRANKE, E. (Hrsg.) (1977): Stadtklima - Ergebnisse und Aspekte für die Stadtplanung. Eine Sammlung von Vorträgen eines Seminars der Württ. Verwaltungs- und Wirtschaftsakademie. Stuttgart
- GERTH, W.-P. (1986): Klimatische Wechselwirkungen in der Raumplanung bei Nutzungsänderungen. - Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 171, Offenbach am Main
- KOMMISSION REINHALTUNG DER LUFT (KRdL) IM VDI UND DIN (Hrsg.; 1993): Lufthygiene und Klima. Ein Handbuch zur Stadt- und Regionalplanung. Düsseldorf
- KUTTLER, W. (1991): Zum klimatischen Potential urbaner Gewässer. In: SCHUHMACHER, H. und THIESMEIER, B. (Hrsg.): Urbane Gewässer. Essen
- KUTTLER, W. (1993): Klimatische Bedeutung innerstädtischer Grün- und Wasserflächen. In: SUKOPP, H. und WITTIG, R. (Hrsg.): Stadtökologie. S. 144 - 148, Stuttgart u.a.
- NOACK, E.-M. u.a. (1986): Quantifizierung der Einflüsse von Bebauung und Bewuchs auf das Klima in der urbanen Biosphäre. Forschungsberichte des BMFT. München
- PARLOW, E. (1983): Geländeklimatologische Untersuchungen im Bereich der Staufener Bucht unter besonderer Berücksichtigung lokaler Ausgleichsströmungen. Freiburger Geographische Hefte 20, Freiburg
- SPACETEC DATENGEWINNUNG GMBH (1985): Thermalscannerbefliegung Mannheim. Freiburg (unveröff.)
- STÄDTEBAULICHE KLIMAFIBEL (1998): Städtebauliche Klimafibel - Hinweise für die Bauleitplanung. Völlig überarbeitete Neuauflage und Zusammenführung der Städtebaulichen Klimafibeln Folge 1 und 2, hrsgg. vom Wirtschaftsministerium Baden-Württemberg. Stuttgart
- STEINICKE & STREIFENEDER (1999): Thermalscannerbefliegung Mannheim. Freiburg (unveröff.)
- VDI-RICHTLINIE 3787, Blatt 1 (Entwurf, Oktober 1994): Umweltmeteorologie. Klima- und Lufthygienekarten für Städte und Regionen. Düsseldorf