Potenziale von Grünvolumen und Entsiegelung zur Klimaanpassung am Beispiel der Landeshauptstadt Potsdam

Steffen Tervooren

Landeshauptstadt Potsdam / UNIGIS-Salzburg · steffen.tervooren@live.unigis.net

Short paper

1 Einleitung und genutzte Daten

1.1 Klimasituation Potsdams

Im Rahmen einer Präsentation von LÜDEKE & WALTHER (PIK) zu Klimaanpassungsstrategien für Potsdam (13.05.2014) wurden folgende Entwicklungen für Potsdams Klima präsentiert (LÜDEKE & WALTHER 2014):

- Die Durchschnittstemperaturen steigen bis 2050 im Durchschnitt um 2.5 °C.
- Es wird zu mehr sogenannten tropischen Nächten und damit heißen Sommernächten aber auch Tagen kommen.
- Hitzeperioden werden zunehmen, sie werden länger und häufiger auftreten als heute.
- Die Jahresniederschläge werden leicht abnehmen.
- Die Niederschlagsmuster werden sich aber in Hinblick geringere Niederschläge im Sommer (trockener) höhere im Winter ändern (feuchter).
- Extremwetterlagen werden häufiger auftreten.

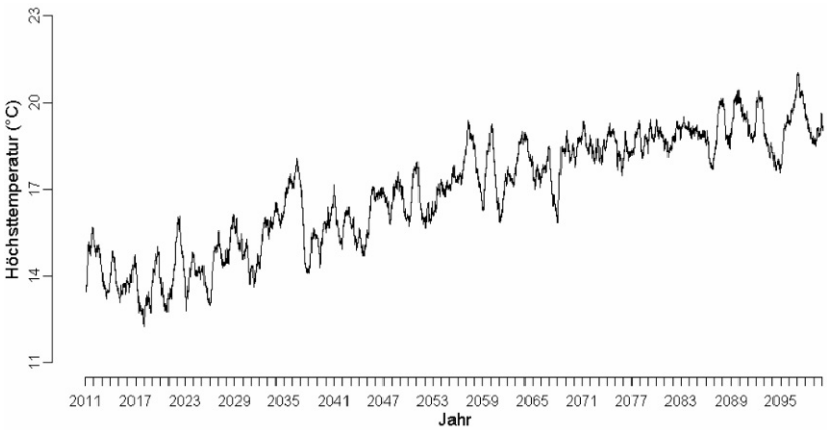

Abb. 1: Erwartete Temperaturentwicklung für Potsdam – PIK (LÜDEKE & WALTHER 2014)

AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik, 1-2015, S. 258-267. © Wichmann Verlag, VDE VERLAG GMBH · Berlin · Offenbach. ISBN 978-3-87907-557-7, ISSN 2364-9283, eISSN 2509-713X, doi:10.14627/537557037.
Dieser Beitrag ist ein Open-Access-Beitrag, der unter den Bedingungen und unter den Auflagen der Creative Commons Attribution Lizenz verbreitet wird (http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/).

1.2 Klimaanpassung und Nutzung

Neben der Frage, wie sich der Klimawandel bremsen lässt, spielt die Frage nach Anpassungsmöglichkeiten, an geänderte Lebensumwelten und Lebensbedingungen, speziell heiße Sommertage- und Nächte eine Rolle (z. B. MCCARTHY et al. 2010, KIESEL et al. 2012). Besonders in städtischen Siedlungsbereichen ist die Beantwortung der Anpassungsfrage eine Herausforderung, für die bislang wenige Konzepte vorliegen (GREIVING et al. 2011), insbesondere nicht für die lokale Ebene. Einige Beispiele zum Umgang mit Klimastress werden aber gegeben, z. B. für Manchester (TEP – CONSULTANCY 2008, HANDLEY & CARTER 2006), Berlin (in Vorbereitung seit 2012[1]), Nürnberg (NÜRNBERG STADT/UMWELTAMT 2012), Dresden (REGKLAM-PARTNER/DRESDEN 2013) und New York (ROSENZWEIG et al. 2009). Das ExWoSt-Projekt präsentiert weitere Beispiele (GREIVING et al. 2011). Viele Wissenschaftler sehen die Erhöhung von GV und Reduktion von VG als Kernstrategien, um eine Reduktion von Temperaturen in städtischen Lebensräumen zu erreichen. Im Ergebnis der Studien aus Manchester werden Reduktionspotenziale von 2.2 °C (1961-1990) bis 2.5 °C (2080-er) für den Fall postuliert, dass GV um 10 % erhöht wird. (GILL et al. 2007).

Um die Effekte von GV und VG auf Klima zu erfassen, müssen diese Daten möglichst flächendeckend zu Temperaturdaten in ein Verhältnis gesetzt werden. Oberflächentemperaturen werden als geeigneter Indikator zur Erfassung von Energie-Austausch in urbanen Gebieten gesehen (WITTFORD et al. 2001, GILL et al. 2007).

1.3 Daten zur Analyse der Potsdamer Situation

Landsat-Temperaturinformationen bieten eine Auflösung von 30 × 30 m (Hochgerechnet: resampled[2]), womit sie sehr geeignet sind, mit mesoscaligen Daten verglichen zu werden, wie sie für Potsdam zur Verfügung stehen (Referenzmaßstab 1:10.000). Aus den Landsatdaten von 2010 wurde anhand der Temperatureinformationen am Sensor ermittelt, inwieweit deren Muster mit den GV und VG-Werten korrelieren. Der räumliche Bezug der GV und VG-Daten Potsdams basiert auf detaillierten Landnutzungsinformationen, besser zu bezeichnen als Biotope. Für die als Referenzraum genutzten Biotope in Form von Polygondaten wurde der Durchschnitt der jeweiligen Rasterwerte ermittelt (Landsat abgeleitete Temperaturwerte).

Die Ergebnisse wurden zur Kontrolle ins Verhältnis zu den Temperaturdaten des Deutschen Wetterdienstes (DWD) auf dem Telegrafenberg (Potsdams Hauptwetterstation) gesetzt und zeigten weitgehende Übereinstimmung (in °C):

- DWD-Lufttemperatur: 37.3
- DWD-Lufttemperatur Bodenoberfläche: 31.9
- Landsat-Oberflächentemperatur (am Sensor): 30.146
- Polygonkalkulierte Durchschnittstemperatur: 29.0357

---

1 DFG Research Unit 1736 „UcaHS“: Urban climate and Heat Stress in mid-latitude cities in view of climate change: http://www.ucahs.org/index.php?page=over&lan=en.

2 USGS liefert die Pixel für alle Thermaldaten mit 30 Meter Auflösung Februar 25, 2010: http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=1349 – original ETM+ Band 6 wird mit 60-Meter Resolution erfasst http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php.

Je näher die DWD-Temperaturwerte für die Oberfläche ermittelt wurden, desto eher entsprechen sie den Landsat Oberflächentemperaturinformationen. Dabei stellt die Durchschnittstemperatur des Polygons eine plausible Nivellierung der Rasterwerte dar.

1.4 Vergleich von Daten und Ergebnissen

Neben der Analyse der Wechselwirkungen von GV, VG und Temperaturen wurde angestrebt, zu sehen ob Ergebnisse anderer Studien Manchester (GILL et al. 2007) anhand der detaillierten Potsdamer Datenlage bestätigt werden können. Der Unterschied bestand darin, dass in Manchester geschätzte GV und VG-Daten für übergeordnete Landnutzungsklassen verwendet wurden (UMT's[3] (GILL et. al 2007, GILL 2006).

Darüber hinaus und um besser Bezüge zu anderen Studien herstellen zu können, wurden die Potsdamer Biotopinformationen analysiert, um zu sehen, ob Zusammenhänge zwischen bestimmten Nutzungstypen und Temperaturen nachweisbar sind, z. B. die Kühlwirkung von Gewässern.

Im Kern wurden 2 statistische Methoden zur Datenanalyse angewendet:

1. Lineare Regression (Ordinary Least Square Regression: OLR)
2. Geographisch gewichtete Regression (Geographically Weighted Regression: GWR)

GWR wird zunehmend zur Analyse von räumlich-abhängigen Phänomenen genutzt (YU & WEI 2004, MATTHEWS & YANG 2012, BRUNA & YU 2013). Matthews fasst die Funktion folgendermaßen zusammen[4] (MATTHEWS & YANG 2012, 153):

$$y_i = \beta_0(u_i, v_i) + \sum_{j=1}^{k} \beta_j(u_i, v_i) x_{ij} + \varepsilon_i$$

Um statistische Vergleiche mit anderen Studien, vor allem mit Manchester zu ermöglichen (Manchester: ASCCUE 2007, GILL 2007; Dresden: MEINEL 2006; New York: ROSENZWEIG et al. 2009) wurden die Biotopdaten zu Nutzungsklassen zusammen gefasst (nur OLR):

- Reduktion des Biotop-Kodes auf 4 Stellen (anstelle der 8-11 – in Abhängigkeit der Biotopklasse), verbunden mit der Ermittlung des durchschnittlichen GV, der VG und Temperatur.
- Reduktion des Biotop-Kodes auf 2 Stellen (der Biotopklasse), verbunden mit der Ermittlung des durchschnittlichen GV, der VG und Temperatur.

2 Ergebnisse zur Wirkung von GV, VG und weiteren Faktoren auf Temperaturen

Zunächst waren alle statistisch analysierten Daten signifikant. Alle P-Werte waren kleiner 0.0001. GV zeigt eine negative Abhängigkeit mit Temperaturen, VG positive.

---

3 Urban morphology types (UMTs).

4 Adaptiv mit Akaike Information Criterion (AIC) genutzt bei Prozessierung mit ESRI-ARC-GIS.

2.1 Ergänzende Ergebnisse

Vor der Darstellung der Kernergebnisse ist es wichtig festzuhalten, dass die Untersuchungsergebnisse nur begrenzt in der Lage sind, die lokale Situation der Umwelt, also einzelner Standorte abzubilden. Einflüsse auf Temperaturen, die neben den untersuchten eine Rolle spielen und über die Biotopstrukturen hinaus kenntlich wurden, sind:

- Kurzzeitige Landnutzungs- und Bewirtschaftungsbedingungen beeinflussen die Regressions-Korrelation.
- Als Indikator prozessiert: Freie und gebundene Wasseranteile sind Temperaturwirksam.
- Nicht prozessiert (nicht näher untersucht): mögliche Wechselwirkungen,z. B. Ausrichtung/Exposition, Grenzeffekte zwischen Nutzungen.

Die Auswertung zu diesen Einflüssen wurde nicht abgeschlossen. Sie zeigte aber, dass die Betrachtung von Systemzusammenhängen wichtig ist, wenn lokale – einzelne Standorte betrachtet werden sollen.

2.2 Kernergebnisse

Die Zusammenfassung von Daten führt zu deutlich verbesserten Werten bei der Identifikation von Wechselwirkungen (größere Regressionskoeffizienten und Eintrittswahrscheinlichkeiten). Die folgenden Abbildungen zeigen die deutlichen Effekte von Datenzusammenfassungen auf Regressionsergebnisse und Vorhersagewahrscheinlichkeiten.

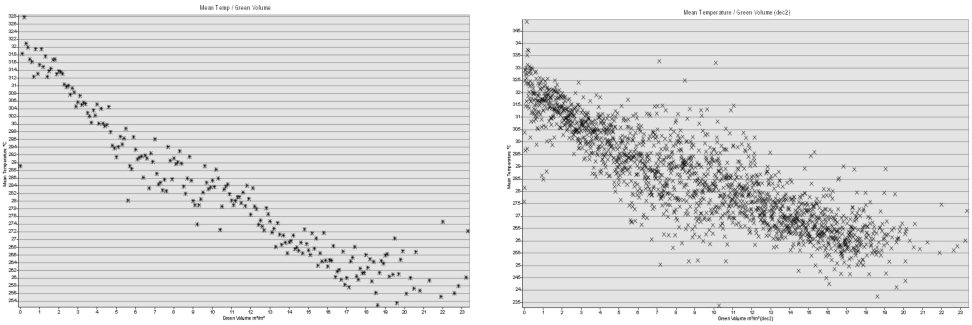

Abb. 2: Grünvolumenzahl GVZ-Temperatur-Korrelation.
Datenspektrum summiert zu 211 Fällen (= 1 Folgedifferenzierung der Biotopklasse: links) und 1843 Fällen (= zwei Folgedifferenzierungen: rechts).

Gemäß der Analyse der Potsdamer Daten und Regressionsanalysen kann bestätigt werden, dass GV und VG Temperaturen beeinflussen und, dass sie als relevante Indikatoren zur Beeinflussung der Temperaturentwicklung sind – insbesondere bezogen auf die Anpassung an steigende Temperaturen. Zur Definition von Unterschieden von Landnutzungsstrukturen bezogen auf Klimaanpassungspotenziale, fokussiert auf Temperaturstressanfällige – bzw. empfindliche Umwelten gegenüber weniger sensitiven und empfindlichen Umwelten und Umgebungen, kann festgehalten werden, dass:

1. Grünvolumen wirkt puffernd auf Temperaturen.
2. Versiegelung wirkt Temperatur erhöhend.
3. Biotop- und Landnutzungsinformationen helfen lokale Besonderheiten 1. zu identifizieren und 2. sie verständlich zu machen, inklusive Wasser als kühlendem Parameter.
4. Die unterschiedlichen Parameter beeinflussen sich gegenseitig in Bezug auf ihre Temperaturwirkung.

Es besteht eine starke negative Korrelation zwischen den Variablen GV und VG, wobei gleichzeitig zu beachten ist, dass es schwierig ist, ein lokal spezifisches Maß von GV und anderen Faktoren zu benennen, um eine maximale Anpassung an steigende Temperaturen zu definieren und dass dennoch für den Fall eines geforderten Temperaturanpassungsmaßes ein wirksames Maß an Grünvolumen bestimmt werden kann (siehe unten)

Im Kern konnten die Wirkungen von GV und VG in verschiedenen Konstellationen nachgewiesen werden (R^2-Koeffizienten 0.65-0.85). Entsprechend können die Indikatoren GV und VG anhand der Potsdamer Daten so weit bestätigt werden, dass sie sich wie folgt zur Ermittlung von Klimaanpassungspotenzialen eignen:

- Für einen Temperaturbereich von 25-35 °C[5] reduziert jeder zusätzliche m^3/m^2 GV Temperaturen um etwa 1/3 °C. Als solches ist GV ein geeigneter Faktor zur Klimaanpassung.
- 1 % (1 m^2/100 m^2) zusätzliche Versiegelung[6] provoziert dagegen einen Temperaturanstieg um etwa 0.03 °C.

2.3 Schätzung von Anpassungspotenzialen an den Klimawandel

Da das PIK[7] einen Temperaturanstieg der Durchschnittstemperaturen bis 2050 um etwa 2.5 °C erwartet, verbunden mit einer gesundheitsgefährdenden Zunahme von Hitzeperioden und tropischen Nächten (LÜDEKE & WALTHER 2014), ist die Kappung von Hitzespitzen anzustreben. Dem folgend lässt sich ein Startpunkt definieren, um eine Klimaanpassung durch Grünvolumen (für Potsdam) zu definieren. Bis bessere Ergebnisse vorliegen, könnte die folgende Schätzung genutzt werden:

$$GVeq = 31/3\ m^3/m^2;\ \Delta V=1\ m^3 \quad (1)$$

- „GVeq“ zu definieren als GV-Equivalent um 1 Einheit Temperaturanstieg (1 °C) zu puffern; V steht für Volumen in m^3
- „GVad“ ist das erforderliche Maß GV, um einen definierten, angenommenen Temperaturanstieg [Δ°Temp] zu reduzieren, also das „GV-Adaptationsmaß” in m^3
- Das GV zur Anpassung an einen definierten Temperaturanstieg für einen bestimmten Raum kann schließlich folgendermaßen abgeleitet werden:

$$GVad = \Delta Temp * GVeq * 100/VG \quad (2)$$

- VG bezeichnet dabei „%-Versiegelung“ der angesprochenen Raumeinheit.

---

5 Einzelfälle 22-40 °C: Ergebnis mit Durchschnitt von 25-35 °C (Wasserkörper ausgeschlossen).
6 Einzelfälle 22-40 °C: Ergebnis mit Durchschnitt von 30-33 °C (Wasserkörper ausgeschlossen).
7 Potsdam Institute for Climate Impact Research.

Kalkuliert man GVad, ist es auch möglich abzuschätzen, inwieweit GVad realisierbar ist, also das anzustrebende GV, um eine Temperaturanpassung zu erreichen, in einem bestimmten Raum implementiert werden kann. Soweit ein solches Maß nicht Implementierbar scheint, ist eine Anpassung an steigende Temperaturen und damit die Schaffung gesunderer Lebensräume allein anhand von GV nicht möglich. Solche Räume können als problematisch in Bezug auf eine Klimaanpassung betrachtet werden, soweit nicht andere Möglichkeiten der Anpassung, wie z. B. die Einbringung von zusätzlich kühlendem Wasser oder Reduktion von Versiegelung möglich sind. Bezogen auf Versiegelung kann die Formel (2) auch mit negativen Werten genutzt werden, um ein Maß für eine nachhaltige Temperaturreduktion zu ermitteln.

- Die Analyse der Abhängigkeiten zwischen Temperaturen und Versiegelung führte zu einer linearen Korrelation. Folgende Formel ist geeignet sie zu kalkulieren. Eine Zunahme der Versiegelung provoziert einen jeweils abhängigen Temperaturanstieg. Wenn ΔTempVG als VG-abhängige Temperaturänderung definiert wird, ist sie zu den Werten des GVad zu addieren:

  $$GVad = \Delta TempVG + \Delta Temp * GVeq * 100/VG \quad (3)$$

- Wenn ΔVG [%] definiert wird, als Änderung der Versiegelung pro Einheit (Equivalent zum Total max. 100 %: Komplettversiegelung einer betrachteten Fläche und min. 0 %: keine Versieglung), ist die Formel für Temperaturänderungen aufgrund geänderter Versiegelung:

  $$\Delta TempVG = 0.03 * \Delta VG \quad (4)$$

Bislang definieren die Modellergebnisse für 1 % zusätzliche Versieglung einen Temperaturanstieg von 0.03° C[8]. Welche auf einer 75 % Modellübereinstimmung für zusammengefasste Datenbestände (lineare Regression) basieren, bzw. 80 % Modellübereinstimmung als GWR-Ergebnis.

Insbesondere in Potsdam und vergleichbaren Klimazonen gilt, dass empfohlen wird mit den Formeln zu kalkulieren, bis genauere Werte vorliegen. Die Vergleichstemperaturen des DWD (s. o.) für den zur Analyse herangezogenen Tag (9. Juli 2010), repräsentieren einen heißen Sommertag mit Lufttemperaturen von bis zu annähernd 39 °C. Vor diesem Hintergrund adressieren die Modellergebnisse einen Tag, der spezifisch für hohe gesundheitsbelastende Temperaturen war. Als solches vermitteln die Anpassungsmaße von GV und Belastungsrisiken durch VG Bedingungen, die geeignet sind, klimawechselbedingte, belastbare Maßnahmen für Wohnumfelder abzuleiten.

3 Diskussion

3.1 Diskussion Analyseergebnisse

Eine Kreuzkorrelation zwischen GV und VG war bei allen Datenanalysen und für alle Datenbestände sichtbar (1992, 2004 und 2010er Daten). Sie führte zu Modellschwächungen (R^2-adjusted) in der Weise, dass Regressionsergebnisse von Einzelvariablen stärkere Korre-

[8] Temp. = 0.03x : z. B. 10 % VG führen zu einer Temperaturerhöhung von 1 °C.

lationen zu Temperaturen definierten, als bei Verwendung von 2 und mehr Variablen (GWR). Bei der Kalkulation der Einflüsse der Variablen auf Temperatur sind sie als sich einander beeinflussend zu begreifen, anstatt zusammen wirkend. Die präsentierten Formeln folgen dem. Auf der anderen Seite wird es von Interesse sein, soweit lokale Bedingungen angesprochen werden sollen und ein belastbares Monitoring ermöglicht werden soll, dass die Beziehung zwischen den Indikatoren GV und VG näher untersucht und geklärt wird. Hierfür wären weitere Untersuchungen von Interesse, um „Komplexindikatoren" zu entwickeln, die helfen können ein Optimum von Bebauung (bzw. VG) und Grün (bzw. GV) zu definieren – wenn möglich sogar die Einflüsse von Wasser berücksichtigend.

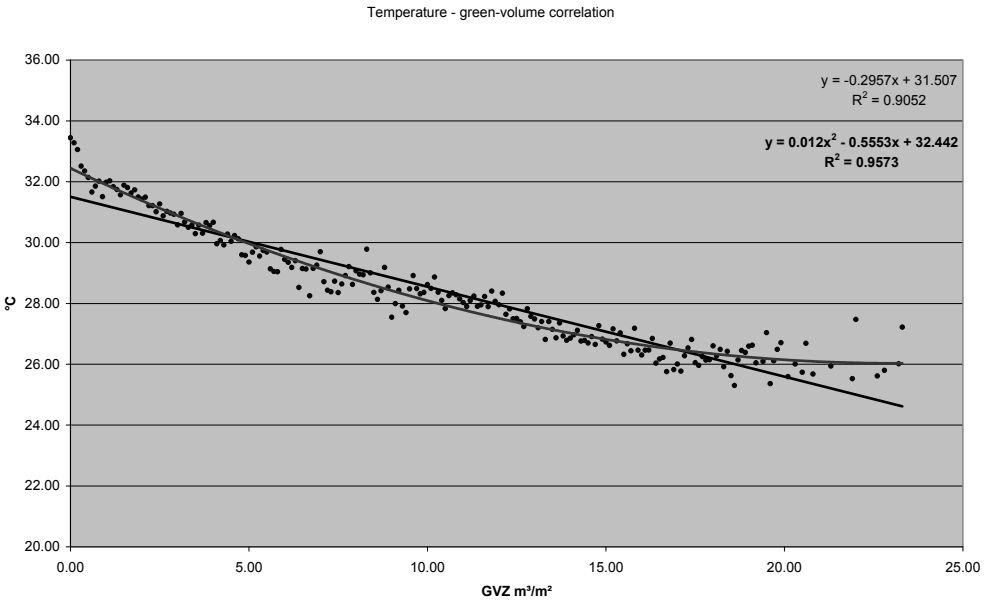

Abb. 3: Graph der GV-Temperatur-Korrelation ohne Berücksichtigung von Frequenzen: linear R^2 0,905, quadratisch R^2 0.957 (Microsoft-Excel-Graph)

3.2 Vergleich mit anderen Studien

In anderen Studien (wie vorgestellt: z. B. Manchester: GILL 2006, ASCCUE 2007; Dresden: MEINEL 2006, MEINEL & HECHT 2008; New York: ROSENZWEIG et al. 2009) wurden Daten oft in Bezug auf Landnutzungseinheiten zusammengefasst. In Manchester z. B. zu den sogenannten Siedlungs-Morphologietypen (urban morphology types UMTs): im Kern 12 und detaillierter 29 Typen mit 9 Oberflächentypen (surface-cover-types) und hieraus abgeleiteten GV – in anderen Worten, zu wenigen Landnutzungseinheiten (GILL 2006, 2007). Solche zusammengefassten Daten helfen übergeordnete Trends zu ermitteln und erleichtern eine Definition von Indikatoren. Abhängig von der Datenprozessierung, kann GV Temperaturen mit sehr hoher Modellwahrscheinlichkeit erklären (bis zu ca. 0.9R^2).

3.3 Diskussion der Ergebnisse im Vergleich und mit Ausblick

Ergebnisse, welche auf aus Nutzungstypen abgeleiteten GV und VG-Werten beruhen, helfen die übergeordnete Raumsituation zu definieren, z. B. für notwendige Mengen GV um gesunde Umgebungsverhältnisse zu unterstützen, um eine Anpassung an Klimafolgen und zu erwartende Temperaturerhöhungen zu erreichen. Die GWR-Ergebnisse (85 % Modell-Wahrscheinlichkeit) legen die Nutzung der Indikatoren, auch unabhängig von lokalen Spezifika nahe. Eine auf geschätzten GV- und VG-Werten beruhendes Wirkungsmaß, wie für Manchester durchgeführt (ASCCUE, GILL 2006, 2007) und letztlich auch für Dresden (MEINEL & HECHT 2006, 2008), fördert die Anpassung an den Klimawandel und zu erwartende Temperaturänderungen.

GILL (2006, 122) postuliert eine Temperaturreduktion für Manchester von bis zu 2.2-2.5 °C, soweit 10 % GV in stark verdichteten Siedlungsräumen ergänzt werden. Eine 10 % Steigerung von GV, wie für Manchester empfohlen (GILL 2006), würde nicht reichen, z. B. die PIK-definierten, zu erwartenden Temperaturanstiege von 2.5 °C für Potsdam für 2050 zu kompensieren (entspr. LÜDEKE & WALTHER 2014). Bei einem durchschnittlich zu 50 % versiegelten Siedlungsraum Potsdams würde gelten: Für 50 % Versiegelung mit einem durchschnittlichen GV von 3 m³/m² im Bestand bräuchte man 81/3 m³ zusätzliches GV zur Kompensation, was einer höheren prozentualen GV-Steigerung entspräche, als für Manchester definiert. Vor dem Hintergrund der Potsdamer Daten besteht eine Unsicherheit über die Wirkung bereits kleiner GV-Mengen auf Temperaturen, höherer Einflüsse, als anhand der analysierten GV-Mengen ansprechbar (ROSENZWEIG et al. 2009, MEIER 2011, SMITH & LINDLEY 2009 sowie SNOVER 2007) unterstellen starke Einflüsse von begrünten Oberflächen wie Dach- oder Fassadenbegrünung. GV kalkuliert mit einem %-Ansatz, wie in Manchester, macht es kompliziert, die Ergebnisse zu vergleichen. Dennoch können solche Aussagen die Implementierung von Maßnahmen fördern. GV welches für eine 10 % Steigerung erforderlich wäre, kann in vielen Umgebungen (Siedlungsbereichen) leicht ergänzt werden – und somit Lebensbedingungen verbessern. Maßnahmen, wie für Manchester definiert (HANDLEY & CARTER 2006), Dresden (REGKLAM-PARTNER/Dresden 2013) und möglicherweise für Potsdam anwendbar, würden, bei Nutzung der momentan verfügbaren Daten, die regionale – kommunale Ebene bedienen, bräuchten aber Anpassungen und Spezifikation auf lokaler Ebene und damit Unterstützung von Experten, um "vor Ort" lokale Spezifika zu berücksichtigen. Die Zusammenfassung von Daten, wie in Manchester durchgeführt, hilft Eckdaten für eine Entwicklung zu formulieren, wenn es um Maßnahmen für Klimaanpassung und -Risiken geht.

Potsdams Stadtplanung könnte einiges positives tun, soweit systematisch Abläufe zur Adressierung von Klimaanpassungsmaßnahmen formuliert würden, wie sie erfolgreich an anderen Stellen umgesetzt werden (z. B. LENK et al. 2008, FROMMER & SCHLIPF 2008, LANG 2012, BAUMÜLLER 2012). Aspekte wie die Einflüsse von Wassermanagement und es im Siedlungsbereich zu sichern, sollten nicht ausgelassen werden (FINK et al. 2012). Das würde Grünstrukturen unterstützen und stabilisieren (Temperaturen puffernd). Die für Potsdam ermittelten Indikatoren können helfen, die Implementierung zu begründen.

Literatur

ASCCUE – Adaptation Strategies for Climate Change in the Urban Environment“ (ASCCUE), December 9, 2013. http://www.sed.manchester.ac.uk/research/cure/research/asccue/publications.htm.

BAUMÜLLER, N. (2012), Hitze als Planungsfaktor. PLANERIN: Klima.Stadt.Wandel, 4/2012, 17-19.

BRUNA, F. A. & YU, D. B. (2013), Geographically Weighted Panel Regression. Coruña (Spain) – Montclair (USA), 2013. http://xisgapeio.udc.es/resumenes/223_54_paper.pdf.

FROMMER, B. & SCHLIPF, S. (2008), Klimawandel als Aufgabe der Stadtentwicklung. PLANERIN: Tief durchatmen, 3/2008, 15-17.

GILL, S. E. (2006), Climate Change and Urban Greenspace School of Environment and Development. Manchester. http://www.greeninfrastructurenw.co.uk/resources/Susannah_PhD_Thesis_full_final.pdf.

GILL, S. E., HANDLEY, J. F. ENNOS, A. R. & PAULEIT, S. (2007), Adapting Cities for Climate Change: The Role of the Green Infrastructure. Built Environment, 33 (1), 115-133. doi:10.2148/benv.33.1.115.

GREIVING, S., FLEISCHHAUER, M., LINDNER, C. & RÜDIGER, A (2011), Klimawandelgerechte Stadtentwicklung Ursachen und Folgen des Klimawandels durch urbane Konzepte begegnen. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR), Bonn.

HANDLEY, J. & CARTER, J. (2006), Adaption strategies for climate change in the urban environment. Draft Final Report to the National Steering Group. Manchester. http://www.sed.manchester.ac.uk/research/cure/downloads/asccue_final_report_national_steering_group.pdf.

HECHT, R., MEINEL, G. & BUCHROITHNER, M. F. (2008), Estimation of Urban Green Volume Based on Single-Pulse LiDAR Data. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 46 (11), 3832-3840. doi:10.1109/TGRS.2008.2001771.

KIESEL, K., OREHOUNIG, K., SHOSHTARI, S. & MAHDAVI, A. (2012), Urban Heat Island Phenomenon in Central Europe. EPOKA University Department of Architecture, 2012, 821-828. http://icaud.epoka.edu.al/2012/res/1_ICAUD_Papers/1ICAUD2012_Kristina_Kiesel_Orehounig_Shoshtari_Mahdavi.pdf.

LANG, M. (2012), Räumliche Anpassung an den Klimawandel. PLANERIN: Klima.Stadt. Wandel, 4/2012, 11-13.

LENK, T., STRAUß, C. & WEIDNER, S. (2008), Anderes Klima – Andere Räume – Handlungsebenen in der räumlichen Steuerung. PLANERIN: Tief durchatmen, 3/2008, 13-14.

LÜDEKE, M. & WALTHER, C. (2014), Klimatrends für Potsdam: historische Trends & Klimaprojektionen Klimawirkungen und Vulnerabilität. Potsdam Institut für Klimafolgenforschung. Potsdam.

MATTHEWS, S. A. & YANG, T.-C. (2012), Mapping the Results of Local Statistics: Using Geographically Weighted Regression. Demographic Research, 26. http://www.demographic-research.org/volumes/vol26/6/26-6.pdf.

MCCARTHY, M. P., BEST, M. J. & BETTS, R. A. (2010), Climate Change in Cities due to Global Warming and Urban Effects. Geophysical Research Letters, 37 (9). doi:10.1029/2010GL042845.

MEIER, F. (2011), Thermal Remote Sensing of Urban Microclimates by Means of Time-Sequential Thermography. Dissertation, Fakultät VI – Planen Bauen Umwelt, Technische Universität Berlin.

MEINEL, G., HECHT, R. & BUCHROITHNER, M. (2006), Die Bestimmung Städtischen Grünvolumens – Nutzen, Methodik Und Ergebnisbewertung. In: STROBL, J., BLASCHKE, T., GRIESEBNER, G. (Hrsg.), Angewandte Geoinformatik 2006. Beiträge zum 18. AGIT-Symposium, Salzburg. Wichman Verlag, Heidelberg. http://www.agit.at/php_files/myagit/papers/2006/5543.pdf.

NÜRNBERG STADT/UMWELTAMT (Hrsg.) (2012), Handbuch Klimaanpassung Bausteine für die Nürnberger Anpassungsstrategie. Nürnberg. http://www.nuernberg.de/imperia/md/klimaanpassung/dokumente/klimaanpassung_handbuch_low.pdf.

REGKLAM-PARTNER/DRESDEN (2013), Integriertes Regionales Klimaanpassungsprogramm (IRKAP) für die Modellregion Dresden. https://www.yumpu.com/de/document/view/8518772/irkap-langfassung-regklam.

ROSENZWEIG, C., SOLECKI, W. D., COX, J., HODGES, S., PARSHALL, L., LYNN B., GOLDBERG, R. et al. (2009), Mitigating New York City's Heat Island: Integrating Stakeholder Perspectives and Scientific Evaluation. Bulletin of the American Meteorological Society, 90 (9), 1297-1312. doi:10.1175/2009BAMS2308.1.

SMITH, C. L., LINDLEY, S. J., LEVERMORE, G. J. & LEE, S. E. (2009), A GIS-based decision support tool for urban climate risk analysis and exploration of adaptation options, with respect to urban thermal environments. The seventh International Conference on Urban Climate, 29 June – 3 July 2009, Yokohama, Japan (July 2009).

SNOVER, A. K., BINDER, L. W., LOPEZ, J., WILLMOTT, E., KAY, J., HOWELL, D. & SIMMONDS, J. (2007), Preparing for climate change A Guidebook for Local, Regional, and State Governments. ICLEI – Local Governments for Sustainability, Oakland, CA. http://www.icleiusa.org/action-center/planning/adaptation-guidebook.

TEP – CONSULTANCY (2008), Towards a Green Infrastructure Framework for Greater Manchester. http://www.greeninfrastructurenw.co.uk/resources/1547.055B_Summary_report.pdf.

TERVOOREN, S. (2014), Verification of vegetation in regard of greenvolume as potential for climate-adaption – using the example of the state-capital of Potsdam. Master Thesis UNIGIS MSc, Z_GIS, Universität Salzburg, Potsdam, 14.07.2014. http://www.unigis.ac.at/index.php/club-unigis/abschlussarbeiten/article/1496.

WHITFORD, V., ENNOS, R. & HANDLEY, J. (2001), City Form and Natural Process – Indicators for the Ecological Performance of Urban Areas and Their Application to Merseyside. Landscape and Urban Planning, 57, 91-103.

YU, D. & WEI, Y. D. (2004), Geographically Weighted Regression. Ppt – online presented at the CSISS 2004 summer workshop Geographically Weighted Regression & Associated Statistics, University of Wisconsin, Milwaukee.