

Zivile Sicherheit in urbanen Räumen – Adaption des KDE-Verfahrens zur optimierten Hotspot-Analyse für Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben

Julia Gonschorek

Institut für Geographie, Universität Potsdam · julia.gonschorek@uni-potsdam.de

Zusammenfassung: Dieser Beitrag gibt Einblicke in ein laufendes Dissertationsprojekt. Den thematischen Schwerpunkt bildet die Adaption des Kerndichteschätz-Verfahrens zur Optimierung der Hotspotanalyse von Big Geodata im Kontext ziviler Sicherheitsforschung im urbanen Raum. In der Vergangenheit wurden die Parameter dieser Methode entweder streng-mathematisch oder mit Faustformeln festgesetzt. Der Raumbezug der zu untersuchenden Ereignisse bleibt damit vollkommen unberücksichtigt. Dies birgt bei der Ergebnisvisualisierung in Form von Hotspot-Karten enorme Risiken. So werden einerseits Georäume zum Polizei- oder Notarzt-Einsatz-Hotspot deklariert, obwohl nur eine geringe und oftmals nicht signifikante Stichprobe an Einsatzdaten vorliegt. Andererseits besteht die Möglichkeit, dass aufgrund eines zu eng- oder grobmaschigen Rasters, Hotspots visuell verschwinden oder überbetont werden. Die Interpretation dieser visuellen Erzeugnisse können dann zu einer fehlerhaften taktischen, strategischen sowie operationellen Planung führen. Die hier vorgestellte, neue Verfahrenskette löst das Problem auf relativ einfache, teilautomatisierbare Weise.

Schlüsselwörter: Zivile Sicherheit, Kerndichteschätzung (KDE), Hotspot-Analyse, Big Data

Abstract: *This article gives insight into a running PhD-project. The focus lies on the adaption of kernel density estimation to optimize hotspot analysis for big geodata in the context of civil security research in urban areas. The parameters of kernel density estimation are mostly set in an exclusive mathematic way or using rules of thumb. The elements spatial component is left disregarded in practice. This causes an enormous risk concerning the geovisualization in the form of hotspot maps. Urban areas may be declared as police or emergency hotspots although the use of a small or even not significant random sample of events. Furthermore there is the risk of over- or under-smoothing of real existing hotspots in the visual output, because of a too close- or coarse-meshed cell size for the maps grid. That may lead to incorrect tactical, strategic and operational planning for agencies and organizations with civil security tasks. The presented linked methods show a relative simple and semi-automatized solution in terms of this challenge.*

Keywords: *Civil security, kernel density estimation (KDE), hotspot analysis, big data*

1 Zivile Sicherheit – ein öffentliches Schutzgut

In der gegenwärtig angespannten Flüchtlingspolitik spielt zivile Sicherheit in all ihren Facetten eine zunehmend wichtigere Rolle. Das breite Themenspektrum reicht von Katastrophenschutz über Reduktion und Vermeidung von Straftaten bis hin zum Löschen von Bränden. Zivile Sicherheit ist ein zu schützendes öffentliches Gut und steht seit etwa zehn Jahren im Fokus diverser Förderstrecken – u. a. der BMBF-Förderung *Forschung für die zivile Sicherheit* (vgl. BMBF 2012, BMBF 2014). Erst im August 2015 wurde ein neuer Call eröffnet, der es Behörden leichter ermöglicht, am FuE-Konsortium beteiligt zu werden. Es sind u. a. diese Entwicklungen, die deutlich zeigen, wie groß der Forschungs- und Entwicklungsbedarf ist.

Konkret wird zivile Sicherheit als „Basis eines freien Lebens und [als] ein wichtiger Faktor des wirtschaftlichen Wohlstandes in Deutschland“ (BMBF 2012, 2) beschrieben. Im Zentrum der Bundesförderung stehen Lösungen für den Schutz öffentlicher Güter, Infrastrukturen und der Wirtschaft, die Zivilbevölkerung, z. B. Anwendungen und Planungsinstrumente zum Schutz und zur Rettung von Menschen, die zur Praxis der zuständigen *Behörden und Organisationen mit Sicherheitsaufgaben* (BOS) passen.

Im Rahmen des Dissertationsprojekts besteht ein solider Austausch mit den Berufsfeuerwehren in Köln und Berlin. Beide Organisationseinheiten verfügen über Analytik-Teams, die sich ausschließlich mit der finanziellen, materiellen sowie personellen Bedarfsplanung befassen. Gegenwärtig existieren Analytik-Tools und Softwareprodukte, die die Einsatzplanung der Polizei und Feuerwehr unterstützen (z. B. GeoVISTA, RIGEL Analyst und CompStat). Dagegen gerät die Anpassung von Analysemethoden für die nutzerspezifischen Bedarfe, die mathematisch gesicherte Einblicke in vergangene und laufende Einsätze geben können, etwas kurz. So verstehen die BOS unter raumzeitlichen Analysen noch immer digitalisierte Pinmaps und Choroplethenkarten der massenhaft vorrätigen Einsatzdaten. Zu erkennen ist meist nichts auf diesen schlecht modellierten und häufig falsch klassifizierten Karten außer: die Einsätze sind so zahlreich, dass durch die Einzelpunktdarstellung (Pinmap) nicht einmal mehr die Stadtfläche oder Infrastrukturen auf der Karte erkennbar sind. Der wissenschaftlich fundierte Informationsgehalt solcher visuellen Erzeugnisse geht damit gegen Null.

Zur Erprobung und Adaption bekannter, wissenschaftlicher Analyseverfahren hat die Berufsfeuerwehr Köln Archivdatenbanken aller vom 01.01.2007 bis 20.04.2015 durchgeführten Einsätze zur Verfügung gestellt. In Zahlen ausgedrückt umfassen diese mehr als 1,04 Millionen Notrufe, bei denen die Einsatzkräfte der Feuerwehr und des Rettungsdiensts im Kölner Stadtgebiet ausgerückt sind. Auf einen Einsatz kommen durchschnittlich etwa zwei bis vier Einsatzmittel: Rettungswagen, Lösch-, Drehleiter-, Notarzteeinsatz- bzw. Krankentransportfahrzeuge etc.

Die Primärdaten beinhalten u. a. Angaben zur Einsatzart (etwa 140 Arten werden differenziert, z. B. Unfall, Brand, verletzte Personen), Zeitpunkt der Anlegung des Einsatzes und Geo-Koordinaten. Die Aufnahme der Notfälle in die Datenbank erfolgt gemäß dem Gesetz über den Brandschutz, die Hilfeleistung und den Katastrophenschutz (vgl. BHKG, § 28, 2015) der Landesregierung Nordrhein-Westfalen in der Leitstelle für Feuerschutz und Rettungsdienst. Diese muss ständig besetzt sein und hier werden alle Einsätze der Feuerwehren gemeldet werden (freiwillige, Pflicht-, Werks- und Berufsfeuerwehren). Geht der telefonische Notruf in der Leitstelle ein, wird die Alarmierung der Einsatzkräfte gewährleistet. Ein Disponent nimmt hierfür den Notruf in der Einsatzleitstelle an und gibt in das Einsatzleitsystem Informationen zur Art des Notfalls, Ort, betroffene Personen etc. ein. Die Adressinformation wird im System geocodiert. Über die Art des Notfalls ist definiert, welche Einsatzkräfte und Einsatzmittel alarmiert werden müssen. Entsprechend der vordefinierten Ausrückfolge wird die zuständige Wache samt einsatzbereitem Team alarmiert. Das Einsatzteam rückt aus und betätigt das BOS-Bedienfeld/Meldesystem im Fahrzeug (z. B. „Auftrag übernommen“, „Einsatzort erreicht“, „Krankentransport“). In die Datenbanken wird automatisch diese Meldekette samt Zeitinformationen aufgenommen.

„Mit Zahlen argumentieren garantiert, dass datenmäßig messbare Sachverhalte jederzeit und beliebig oft rechnerisch nachzuweisen sind [...] [und sie spiegeln] allgemeine rettungsdienstliche Strukturen und Leistungen und deren langfristige Entwicklungen gesichert [wieder]“ (BEHRENDT 2008, 9). Unter anderem werden mit statistischen und grafischen Analysen unterstützt:

- Einsatzdisposition und -ablaufplanung,
- Bedarfsanforderung,
- Gefahrenabschätzung und
- Identifikation von Risikopotenzialen.

Dies geschieht vor allem vor dem Hintergrund, das Schutzziel dauerhaft und über den kompletten Einsatzbereich zu gewährleisten. Darunter wird die Eintreffzeit bzw. Hilfsfrist verstanden, die i. d. R. den Zeitabschnitt zwischen Eingang der Notrufmeldung bis zur Ankunft am, an einer Straße gelegenen, Notfallort umfasst. In Nordrhein-Westfalen sind das fünf bis acht Minuten, in Berlin „bedarfsgerecht“ (vgl. BEHRENDT 2008, 25 f.).

Im Rahmen des Dissertationsprojekts werden ausgewählte Methoden an den zu untersuchenden Sachverhalt sowie die Nutzergruppe BOS und die Ergebnisse visuell aufbereitet. „Ziele der Datenvisualisierungen sind:

1. ein vertieftes Verständnis für die in den Daten enthaltenen Informationen,
2. eine Basis für statistische Analysen zur Hotspot-Identifikation (Clusterverfahren und Kerndichteschätzung),
3. die Identifikation von räumlichen und zeitlichen Bewegungsmustern sowie Zusammenhängen

zu schaffen“ (GONSCHOREK et. al. 2015b, 552).

2 KDE-Verfahren für die Hotspot-Analyse

Vorreiter für die Anwendung des Verfahrens *Kerndichteschätzung* (engl.: kernel density estimation; KDE) im nicht-mathematische Umfeld ist das Geoinformatik-Forschungsgebiet *Crime-Analysis*. Für die Datenanalyse von Kriminalität werden Hotspots recht schwammig definiert als „[a]reas of concentrated crime“ (SMITH & BRUCE 2008, 2). Dieser Ansatz begründet sich in der Annahme, dass die Häufung von Einzelereignissen in nächster Nachbarschaft nicht zufällig vorkommen und ein Zusammenhang vermutet werden kann – es also wahrscheinlich ist, dass in eben diesem Umfeld wieder Ereignisse dieser Art auftreten werden. Den Analysen liegen vorab definierte Grenzwerte zugrunde (Signifikanzniveaus). Somit kann auf zufällige oder nicht zufällige Verteilungen geschlossen werden. Visuell lässt sich dies mithilfe von Gridmaps bzw. sogenannten Hotspot-Karten aufbereiten. Hierfür wird über den Raumausschnitt ein Raster gelegt, das mehr oder minder grobmaschig ist, und in dessen Zellen die Dichtewerte abgetragen werden. Es entsteht ein Gesamtbild bestehend aus „Tälern“ und „Bergen“ entsprechend der gewählten Klassenzahl, -grenzen und -intervallgrößen.

Die der KDE zugrunde liegenden Ereignisse haben nicht nur einen Raum-, sondern auch einen Zeitbezug. Wird die eingangs genannte Definition von Hotspots um diese Komponente erweitert, lässt sich festhalten, dass Hotspots räumlich und zeitlich signifikante Aggregationen von Ereignissen – hier Einsätzen – zeigen. Der Nachweis dieses nicht-trivialen Zusammenhangs kann ebenfalls über die KDE erfolgen, indem verschiedene Zeitschnitte mit den

dazugehörigen Rauminformationen kombiniert werden. Auf diese Weise lassen sich Aussagen treffen über das Verhalten von Hotspots hinsichtlich der

- Permanenz oder Periodizität,
- Beweglichkeit bzw. Bewegungsmuster und
- Aggregation oder Dissimilation.

Die KDE lässt sich mit der Funktion beschreiben (nach LANG 2004, 21):

Sind x_1, x_2, \dots, x_n reelle Elemente einer Stichprobe vom Umfang n ,

so wird ein Kerndichteschätzer f mit einer

Bandbreite $\lambda > 0$ und dem Kern K definiert mit

$$f_\lambda(x) = \frac{1}{n\lambda} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{\lambda}\right).$$

Die entscheidenden Parameter dieses Verfahrens bilden folglich:

1. Die Elemente der Stichprobe. I. d. R. werden alle Elemente der Stichprobe in das Verfahren gegeben.
2. Die Zellgröße. Von der Wahl der Zellgröße hängen die Dichtewerte ab. Vergleicht man bei gleichbleibender Datengrundlage unterschiedliche Zellgrößen, so unterscheiden sich die kartographischen Ergebnisse mitunter sehr stark. Kleinere Zellgrößen bedeuten eine kontinuierlich wirkende Oberfläche. Größere Zellenmaße erzeugen ein grobkörniges Gesamtbild, bei dem Hotspots verschwinden können. Für die Vergleichbarkeit zwischen Hotspots verschiedener Zeitfenster sollten grundsätzlich einheitliche Zellgrößen gewählt werden. Für die Wahl der richtigen oder optimalen Zellgröße schlägt HENGL (2005) geeignete Verfahren vor und behauptet, dass 20 m bis 200 m Kantenlänge in den meisten Anwendungsfällen repräsentativ sind.
3. Die Bandbreite. In der Literatur wird die Bandbreite auch häufig bandwidth, smoothing parameter oder Suchradius genannt. Sie beeinflusst das Aussehen der Dichteschätzung und ist der limitierende Bestandteil einer zu wählenden Kernfunktion. Bekannte Kernfunktionen sind beispielsweise: uniform, quartisch, triangular, negativ exponential, Gauß, quadratisch, Epanechnikov.
4. Die Kernfunktion lässt sich als kreisförmiges Fenster beschreiben, das über das Untersuchungsgebiet läuft. Dieses hat einen festen Radius: die Bandbreite. Sämtliche Ereignisse, die innerhalb dieses Fensters liegen, werden entsprechend ihres Abstands zum Mittelpunkt der Zelle gewichtet. Ereignisse, die näher am Mittelpunkt liegen, erhalten in der Folge ein größeres Gewicht als weiter entfernte. Die Kernfunktion beschreibt dann mathematisch die Gewichtungen der einzelnen Ereignisse innerhalb des Fensters. Abschließend wird der Zelle der Dichtewert zugeordnet. Die Wahl der Bandbreite ist essenziell. Das Methodenspektrum zur Definition ebendieser reicht von streng-mathematischen Verfahren (z. B. adaptiv, smoothed cross validation, biased cross validation, least squares cross validation, plug-in und Standardabweichung) über willkürliche Wertfestsetzung bis hin zu Trial-and-Error-Versuchen, bis das ästhetisch ansprechendste Ergebnis oder eben jenes, mit dem sich die eigenen Grundannahmen am besten belegen lassen, erzeugt ist. Allen gemein ist jedoch, dass als Bandbreite eine Zahl ohne realen Raumbezug genutzt wird.

Welche Auswirkungen die Wahl von Zellgröße und Bandbreite auf das kartographische Ergebnis hat, veranschaulicht Abbildung 1. Die Karten zeigen denselben Sachverhalt und dieselbe Datengrundlage unter Verwendung derselben Kernfunktion (Epanechnikov). Dennoch lässt jede dieser Geovisualisierungen andere Schlüsse zu: einige Hotspots scheinen ganze Stadtgebiete Kölns zu umfassen, andere können nahezu auf eine Straßenkreuzung genau bestimmt werden. Eine fundierte Entscheidungsunterstützung und Planungsgrundlage für BOS muss anders erfolgen, denn dieser Interpretationsspielraum ist wissenschaftlich nicht tragbar.

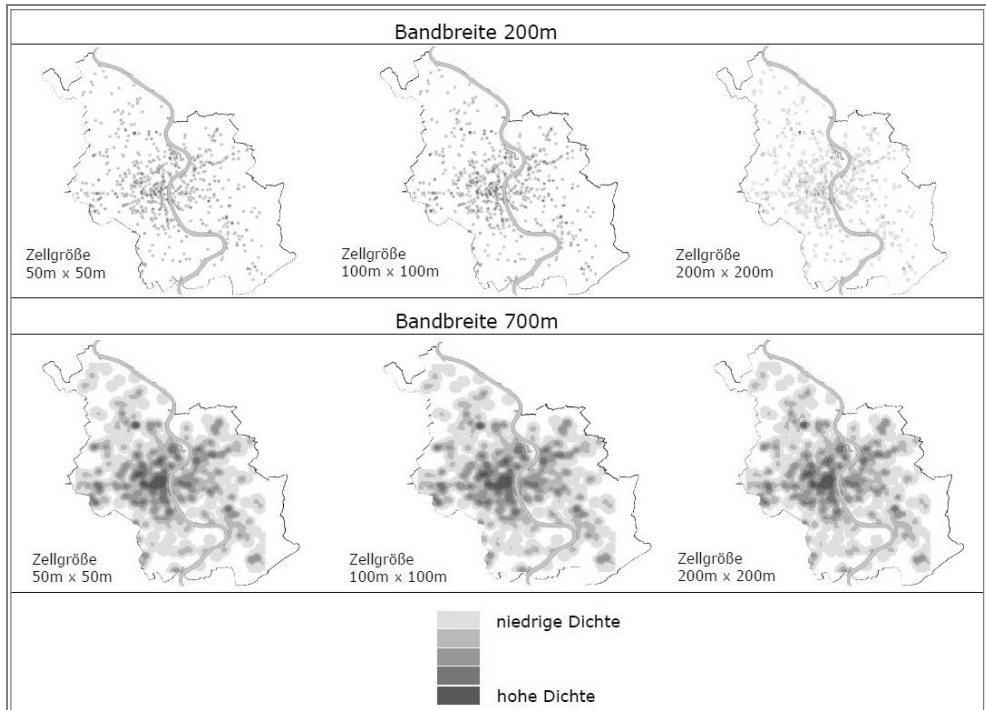


Abb. 1: Einheitliche Datengrundlage, aber unterschiedliche Parameterwahl für Hotspot-Karten ermöglichen höchst differenzierte Interpretationsspielräume (Quelle: eigener Entwurf)

3 Optimierung der Analysekette: Adaption der KDE für raumrelevante Fragestellungen

Es stellt sich also die Frage, wie ein Schätzverfahren, das ausschließlich aus Zahlen besteht, die überhaupt keinen Raumbezug haben, Ereignisse im Raum schätzen und somit repräsentieren können. Oder anders: wie kann eine räumliche KDE (geospatial KDE) sinnvoll beschrieben werden?

Beginnt man bereits bei der Präprozessierung der Daten, zeichnet sich ein logisch-konsistenter und mathematisch gesicherter Weg ab. Zunächst werden die Daten einer Strichprobe

(z. B. einer Einsatzart) nach zeitlichen Kategorien partitioniert. Diese Elemente, also jeder einzelne Feuerwehreinsatz, liegt in einem definierten Raumabschnitt: allgemein im Kölner Stadtgebiet, genauer in einem Stadtbezirk, Stadtteil oder einem Ausrückebereich mit zuständiger Wache. Die Kernfunktion arbeitet mit gewichteten Elementen. So ist es üblich, die Ereignisse, die an gleicher Stelle stattfanden, auszuzählen und diesen Wert als Gewicht zu setzen. Normalerweise geht die daraus resultierende Datenmatrix direkt in die KDE-Analyse ein. Fügt man an dieser Stelle jedoch lokale Statistiken (auch: LISA) wie Local Moran's I, Getis Ord G_i^* oder andere ein, können Hotspots identifiziert werden. Hotspots sind jene Ereignisse, die hinsichtlich ihrer nachbarschaftlichen Verhältnisse signifikant sind. Signifikanzstufen in der Mathematik sind bekanntlich

1. signifikant mit einer Konfidenz von 95 % (5 % Irrtumswahrscheinlichkeit),
2. hoch signifikant mit einer Konfidenz von 99 % (1 % Irrtumswahrscheinlichkeit) und
3. höchst signifikant mit einer Konfidenz von 99,9 % (0,1 % Irrtumswahrscheinlichkeit).

Es wird nun die Matrix aus den gewichteten Daten um alle nicht mindestens signifikanten Ereignisse bereinigt. In einem nächsten Schritt werden in jedem Raumabschnitt die Distanzen zwischen den Hotspots ermittelt. Die gemittelten Werte werden als Bandbreite in die KDE eingesetzt und die Berechnung erfolgt. Diese Prozesskette wird in Abbildung 2 zusammenfassend beschrieben.

Werden verschiedene Zeitschnitte (Jahre, Monate, Wochentage oder Tageszeiten) miteinander verschnitten, entsteht eine Karte, aus der sich Informationen zur Permanenz oder Periodizität, Beweglichkeit bzw. Bewegungsmuster und Aggregation oder Dissimilation ablesen lassen. Dabei ist die gesamte Verfahrenskette zunächst einzig abhängig von den Eingangsdaten und behält bis zur Ergebnisvisualisierung den Raumbezug bei.

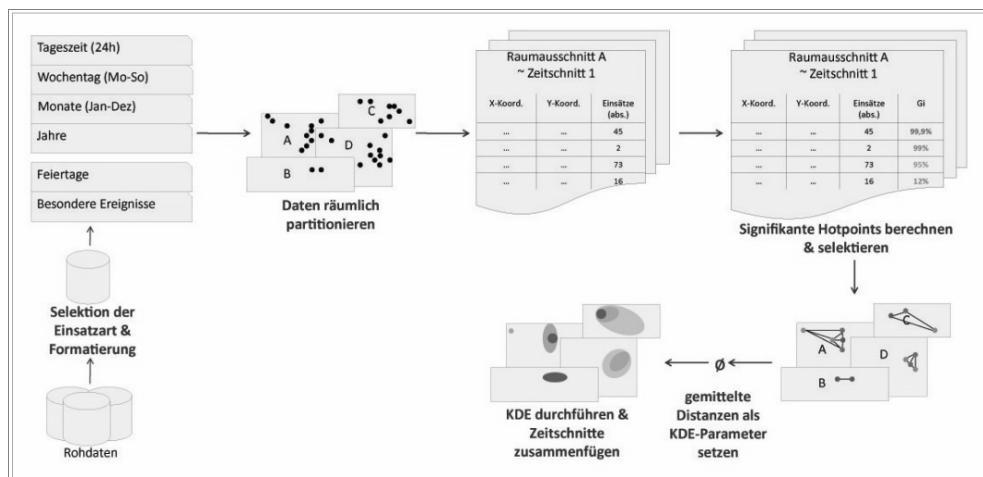


Abb. 2: Modifizierte KDE: die räumliche Partitionierung der Stichprobe und Präprozessierung mindestens signifikanter Ereignisse ermöglichen eine raumbezogene Parameterwahl und somit optimierte KDE (Quelle: eigener Entwurf)

4 Diskussion der Ergebnisse und Ausblick

Dichteschätzverfahren werden in der Geoinformatik oft eingesetzt. So sind Hotspot-Analysen keine Neuheiten – besonders in den USA und UK kommen diese Verfahren für Kriminalitätsanalysen zum Einsatz und befinden sich daher in stetiger Weiterentwicklung. (siehe auch SILVERMAN 1986, WILLIAMSON et. al. 2001, BOBA 2005, MCCULLAGH 2006, SMITH & BRUCE 2008).

Dennoch ist der Fachliteratur bis heute kein Ansatz zu entnehmen, der bereits während der Analyse besonders ereignisdichter Räume bzw. Hotspots tatsächlich auch den Faktor Raum berücksichtigt. So finden metrische Angaben (z. B. Entfernungen oder Flächen) bei ausgewählten Verfahren Berücksichtigung, jedoch nicht die Lage im Raum an sich.

Die hier vorgestellten Überlegungen samt der daraus resultierenden Verfahrenskette sind neu und befinden sich z. Zt. in Erprobung. Hierfür werden Einsatzarten partitioniert nach Zeitfenstern selektiert und durchlaufen den in Kapitel 3 beschriebenen Prozess. Neben den gewünschten Effekten, eine höhere, mathematisch gesicherte Dichteverteilung und wohldefinierte Wahrscheinlichkeitsräume zu erhalten, nimmt das Verfahren auch erheblich weniger Rechendauer und Arbeitsspeicher in Anspruch. Hinsichtlich Echtzeit-Analysen ist das ein großer Vorteil. Jedoch bedarf es einer umfassenderen Präprozessierung der Daten für die Durchführung der KDE. Da diese Schritte teilautomatisierbar sind, und damit auch menschliche Fehlerquellen reduziert werden, lässt sich der neu entstandene Aufwand für den Analytisten vergleichsweise gering halten. Leicht abweichende Ergebnisse sind abhängig von der Wahl der LISA-Statistik zur Bestimmung von Hotpoints möglich. Diese sind in den bislang durchgeführten Tests jedoch nicht so stark, dass es zur Verzerrung des Gesamtbildes kommt.

Wann ist ein Hotspot nicht mehr hot? Die Frage nach Abgrenzung der Räume mit hoher Einsatzdichte und -wahrscheinlichkeit von Räumen mit signifikant geringeren ist eine nicht unerhebliche. An dieser Stelle sei zusammengefasst: Aus Ereignispunkten werden Flächen geschätzt. Eine geschlossene Linie soll dann eben diese beiden Flächen voneinander trennen. Ein Ansatz der klassischen Kartographie kann hierbei Verwendung finden: Gebirge und Täler werden in Karten beispielsweise durch ihre Farbgebung und durch die Definition eines Grenzwertes grafisch konstruiert: Normallnull spielt hierbei die Hauptrolle. Die Herleitung eines solchen Wertes ist ebenfalls Gegenstand des Promotionsprojekts. Hierfür ist u. a. denkbar, klassische Clusterverfahren, die mit Signifikanzniveaus arbeiten, einzusetzen. Weniger optimal sind jedoch deren bekannte starre elliptischen Formen oder konvexen Hüllen, welche für die hier fokussierte Hotspot-Abgrenzung weniger geeignet sind.

Der Fachartikel thematisiert nicht, welche Methoden der Kartenmodellierung geeignet anzuwenden sind, wie beispielsweise die zielgruppenorientierte Farbgebung und Klassifikation. Auch diese Punkte bilden im Dissertationsprojekt Forschungsgegenstände.

Dank

An dieser Stelle danke ich meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. H. Asche (Universität Potsdam) für seine Geduld und ständige Gesprächsbereitschaft. Besonderer Dank gilt der Berufsfeuerwehr Köln (hier Herr H.-D. Richmann) für die langjährige Kooperation und Bereitstellung der Daten und Problemstellungen, ohne die diese Forschung nicht möglich wäre. Der

Berliner Berufsfeuerwehr (hier Herr S. Karas) sei für den konstruktiven Ideenaustausch gedankt, der zu neuen Ansätzen und Überlegungen anregt. Ein großes Dankeschön geht an Herrn B. Bernhardt und Frau C. Räßiger für die humorvolle wie fachlich gute redaktionelle Zuarbeit.

Literatur

- BEHRENDT, H. (2008), *Zahlenspiegel Rettungsdienst – Eine Übersicht über die wichtigsten Kennzahlen im Rettungsdienst*. Mendel Verlag, Witten.
- BHKG (2015), *GESETZ ZUR NEUREGELUNG DES BRANDSCHUTZES, DER HILFELEISTUNG UND DES KATASTROPHESCHUTZES (GV. NRW. 2015, 48, 886-918)*.
https://recht.nrw.de/lmi/owa/br_vbl_detail_text?anw_nr=6&vd_id=15416&vd_back=N886&sg=0&menu=1 (30.01.2016).
- BMBF – BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2014), *Forschung für die zivile Sicherheit in Deutschland – Ergebnisse und Perspektiven*.
https://www.bmbf.de/pub/erfolgsbroschuere_zivile_sicherheit_2014.pdf (30.01.2016)
- BMBF – BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG (2012), *Forschung für die zivile Sicherheit 2012-2017: Rahmenprogramm der Bundesregierung*.
http://www.bmbf.de/pub/Rahmenprogramm_Sicherheitsforschung_2012.pdf (30.01.2016).
- BOBA, R. (2005), *Crime analysis and crime mapping*. Sage Publications Inc., Thousand Oaks, California.
- GONSHOREK, J., ASCHE, H., LANGER, A., BERNHARDT, B. & RÄBIGER, C. (2016), *Big Data in the field of civil security research: Approaches for the visual preprocessing of fire brigade operations*. In: PAPAJOGEJI, P. & PINET, F. (Eds.), *International Journal of Agricultural and Environmental Information Systems (IJAEIS)*, 7. IGI Global (in Druck).
- GONSHOREK, J., ASCHE, H., SCHERNTHANNER, H., BERNHARDT, B., LANGER, A., HUMPERT, M. & RÄBIGER, C. (2015a), *Big Data in Civil Security Research: Methods to Visualize Data for the Geospatial Analysis of Fire Brigade Operations*. In: MURGANTE, B., GERVASI, O., MISRA, S., NEDJAH, N., ROCHA, A. M., TANIAR, D. & APDUHAN, B. (Eds.), *15th International Conference on Computational Science and Its Applications (ICCSA 2015)*, Banff/Alberta, 22-25 Jun 2015, Part III LNCS 9157. Springer-Verlag, Berlin/Heidelberg.
- GONSHOREK, J., ASCHE, H., SCHERNTHANNER, H., LANGER, A., RÄBIGER, C., BERNHARDT, B. & HUMPERT, M. (2015b), *Big Data in der zivilen Sicherheitsforschung – Methoden zur Datenvisualisierung für die explorative Analyse von Feuerwehreinsatzdaten*. *AGIT – Journal für Angewandte Geoinformatik*, 1-2015.
- GONSHOREK, J. & ASCHE, H. (2011), *Geovisuelle Analysen in Raum und Zeit: Methoden zur Unterstützung präventiver Maßnahmen und Einsatzplanung der Kölner Feuerwehr*. *gis.Business*, 2011 (4).
- HENGL, T. (2005), *Finding the right pixel size*.
http://www.researchgate.net/profile/Tomislav_Hengl/publication/222014409_Finding_the_right_pixel_size/links/53fb3ebf0cf20a4549705c55.pdf. (30.01.2016).
- HEY, B. (2011), *Präsentieren in Wissenschaft und Forschung*. Springer-Verlag, Heidelberg/Dordrecht.

- KEIM, D., ANDRIENKO, G. & FEKETE, J. D. et al. (2008), Visual Analytics: Definition, Process, and Challenges. In: KERREN, A. et al. (Eds.), *Information Visualization: Human-Centered Issues and Perspectives 2008*. Springer-Verlag, Heidelberg.
- LANG, S. (2004), Skript zur Vorlesung Computerintensive Verfahren in der Statistik. Universität Innsbruck.
http://www.uibk.ac.at/statistics/personal/lang/publications/compstat_aktuell.pdf
(31.01.2016).
- LERSCH, K. M. & HART, T. C. (2011), *Space, Time and Crime*. 3rd Ed. Carolina Academic Press, Durham.
- MCCULLAGH, M. J. (2006), *Detecting Hotspots in Time and Space*. ISG06,
<http://www.spatial.cs.umn.edu/Courses/Fall07/8715/papers/mccullagh.pdf> (30.01.2016).
- ROBERTS, J. C. (2008), Coordinated Multiple Views for Exploratory GeoVisualization. In: DODGE, M., MCDERBY, M. & TURNER, M. (Eds.), *Geographic Visualization: Concepts, Tools and Applications 2008*. John Wiley & Sons, Chichester.
- SCHMIEDEL, R., BEHRENDT, B. & BELTZLER, B. (2012), *Regelwerk zur Bedarfsplanung Rettungsdienst*. Mendel Verlag, Witten.
- SILVERMAN, B. W. (1986), *Density Estimation for Statistics and Data Analysis*. Chapman & Hall, New York.
- SMITH, S. C. & BRUCE, C. W. (2008), *CrimeStat III – User Workbook*. National Institute of Justice, Washington DC.
https://www.icpsr.umich.edu/CrimeStat/workbook/CrimeStat_Workbook.pdf
(31.01.2016).
- WILLIAMSON, D., MCLAFFERTY, S., MCGUIRE, P., ROSS, T., MOLLENKOPF, J., GOLDSMITH, V. & QUINN, S. (2001). Tools in the spatial analysis of crime. In: HIRSCHFIELD, A. & BOWERS, S. (Eds.), *Mapping and analysing crime data*. Taylor & Francis, London/New York.