

### Stadt und Verkehr: Neue Verkehrsanalysen mit Mobilfunkdaten - ein Zwischenbericht

Bachmann, Günther

Veröffentlichungsversion / Published Version

Zeitschriftenartikel / journal article

**Empfohlene Zitierung / Suggested Citation:**

Bachmann, G. (2020). Stadt und Verkehr: Neue Verkehrsanalysen mit Mobilfunkdaten - ein Zwischenbericht. *Stadtforschung und Statistik : Zeitschrift des Verbandes Deutscher Städtestatistiker*, 33(1), 52-60. <https://nbn-resolving.org/urn:nbn:de:0168-ssoar-67126-2>

**Nutzungsbedingungen:**

Dieser Text wird unter einer CC BY-NC-ND Lizenz (Namensnennung-Nicht-kommerziell-Keine Bearbeitung) zur Verfügung gestellt. Nähere Auskünfte zu den CC-Lizenzen finden Sie hier:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.de>

**Terms of use:**

This document is made available under a CC BY-NC-ND Licence (Attribution-Non Commercial-NoDerivatives). For more information see:

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>

Günther Bachmann

# Stadt und Verkehr

## Neue Verkehrsanalysen mit Mobilfunkdaten – Ein Zwischenbericht

*Neue Möglichkeiten für Mobilitäts- und Pendleranalysen ergeben sich aus der Auswertung kleinräumiger Mobilfunkdaten. Mit dem Erringen des ersten Platzes beim bitkom-Wettbewerb „Digitalstadt Deutschland“ im Juni 2017 war auch die kostenlose Überlassung von Mobilfunkdaten der Telekom-Tochter Motionlogic verbunden. Die anonymisierten zeitlich und räumlich verfügbaren Mobilfunkdaten erlauben eine wesentlich differenziertere Analyse der Pendlerbewegungen in die Stadt und innerhalb der Stadt. Die Analyse von Pendlerbewegungen mittels Mobilfunkdaten bietet vollkommen neue Möglichkeiten und Perspektiven für die amtliche Statistik (z.B. regionale Pendleranalysen, Frequentierung öffentlicher Räume, etc.), wenn es noch besser gelingt, eine Verifizierung der Daten mit Quellen der amtlichen Statistik und lokalen Verkehrsmodellen zu erreichen.*

### Günther Bachmann

Studium der Sozialwissenschaften, Geschichte, Mathematik und Physik an der Albert-Ludwigs-Universität in Freiburg im Breisgau mit dem Abschluss Magister Artium, Assistent von Prof. Heinrich Popitz am Freiburger Institut für Soziologie, Mitarbeiter am Öko-Institut Freiburg und Darmstadt. In den letzten 21 Jahren bis Oktober 2019 Leiter der Abteilung Statistik und Stadtforschung im Amt für Wirtschaft und Stadtentwicklung in der Wissenschaftsstadt Darmstadt, jetzt in passiver Altersteilzeit.

✉ gbachmann@gmx.info

### Schlüsselwörter:

Pendleranalyse – Mobilfunkdaten – neue Datenquellen der amtlichen Statistik – kleinräumige Verkehrsdaten – Stadtentwicklung – Stadtplanung – Verkehrsplanung

## 1 Einführung

Mobilität zu ermöglichen ist eine der wesentlichen Herausforderung von Städten. Mobilität umfasst viele räumliche und soziale Dimensionen. Im 21. Jahrhundert zeichnet sich jedoch eine Wende bei der bislang vorherrschenden Art der Mobilität ab, da der motorisierte Individualverkehr in den Städten zunehmend zu erheblichen Problemen in den Städten beiträgt. So war die PKW-Nutzung seit Mitte des letzten Jahrhunderts das große Versprechen der Mobilität für alle, die Stadtentwicklung setzte in Bezug auf die Erreichbarkeit aller Orte – zum Leben, zum Arbeiten und zum Einkaufen – auf den individualisierten Autoverkehr.

Dieses Modell der Stadt ist – nicht erst in den letzten Jahren – an seine Grenzen gekommen, da mit der zunehmenden Verkehrsbelastung Konflikte zwischen Verkehrsteilnehmern, die drastische Erhöhung der Luftschadstoffe, der verkehrsbedingte Lärm und die zeitraubende Parkplatzsuche zugenommen haben. Neue Strategien für eine angemessene Mobilitätsinfrastruktur sind deshalb in vielen deutschen Städten „Top 1“ auf der politischen und gesellschaftlichen Tagesordnung.

Differenzierte und detaillierte Untersuchungen des Mobilitätsverhaltens in deutschen Städten sind mit hohen Kosten und aufwändigen Erhebungen verbunden, die eine häufige und zeitnahe Erfassung erschweren. Vor allem kleinräumige Mobilität, die sich zudem dynamisch nach dem Neubau von Straßen oder Radwegen in kurzen Zeiträumen verändert, ist mit den vorhandenen Mobilitätshebungen nicht oder nur begrenzt abbildbar. So wurde z. B. die umfangreiche Untersuchung zur Mobilität in Deutschland nur in 2002, 2008 und 2017 durchgeführt (BMVI 2018).

Vor diesem Hintergrund ist die Möglichkeit, vorhandenes und verändertes Mobilitätsverhalten in deutschen Städten mittels der Auswertung von Mobilfunkdaten zeitnah zu analysieren, ein im 21. Jahrhundert attraktives Mittel für Stadtentwicklung, Stadtplanung und Verkehrsplanung. Auf Basis erster Analysen zum Mobilitätsverhalten in einer Stadt soll der folgende Beitrag eine Übersicht über Möglichkeiten und Grenzen bieten.

## 2 Mobilitätsanalysen am Beispiel der Wissenschaftsstadt Darmstadt

### 2.1 Kurzinfo zu Darmstädter Situation

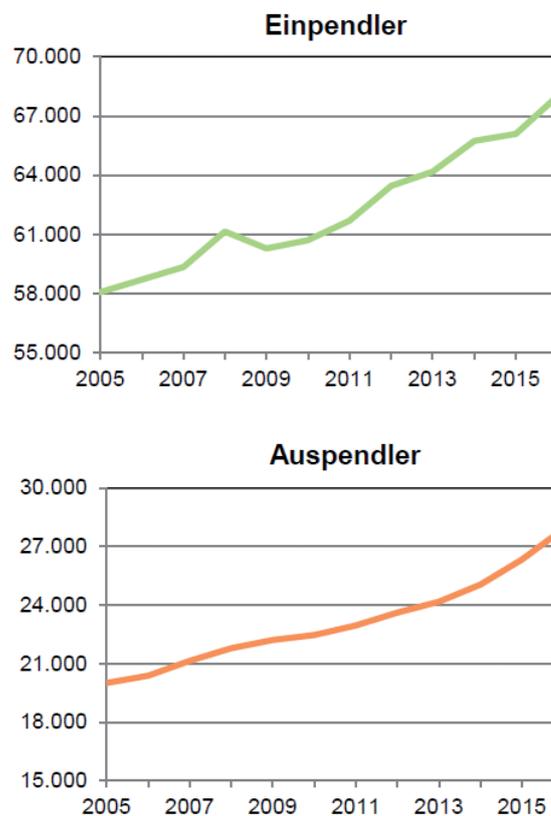
Darmstadt ist eine mittelgroße Großstadt und liegt südlich der Metropolregion Frankfurt/Rhein-Main. Seit 1998 ist die Einwohnerzahl von 135.315 Einwohnern auf 161.843 Personen (31.12.2018) angewachsen. Der Zuwachs um Einwohner mit einer Quote von rund 20 Prozent hat seine Gründe vor allem in der hohen Zahl moderner Arbeitsplätze und der stark gewachsenen Anzahl Studierender und junger Beschäftigter. So liegt die Zahl der Erwerbstätigen in 2016 bei über 131.000 Personen, in 1998 bei 115.800, und die Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten ist von rund 85.000 in 1998 auf 103.242 Personen in 2017 gewachsen, die Zahl der Studierenden hat auf rund 45.000 zugenommen. Besonders auffällig ist die hohe Zahl der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten mit (mindestens) Hochschulabschluss, die ein Drittel aller Beschäftigten ausmacht und damit neben Jena und Erlangen den höchsten Wert in Deutschland darstellt.

Grundlage für diese hohe Zahl der Beschäftigten mit hoher Qualifikation sind die modernen Dienstleistungsbereiche, aber auch der industrielle Kern der Firmen, die weltweit aktive Cluster im Bereich Chemie, Pharmazie und mechatronische Unternehmen bilden. Ferner trägt der exzellente Cluster von IT- und Software-Unternehmen und der große Cluster wissenschaftlicher Institutionen mit Weltraummissionen (ESA/ESOC), Wettersatelliten (EUMETSAT), Hochenergiephysik (Gesellschaft für Schwerionenforschung GSI), mit IT u. a. zu diesem Profil der Wissenschaftsstadt Darmstadt bei. Im Bereich der Forschung sind die Fraunhofer-Institute ebenso bedeutsam wie die drei Universitäten mit Technischer Universität, Hochschule und Evangelischer Hochschule.

### 2.2 Folgekosten des Beschäftigtenwachstums

Diese außerordentliche Erfolgsgeschichte Darmstadts in den letzten 20 Jahren hat jedoch ihren Preis: eine – im Vergleich zu anderen bundesdeutschen Städten – sehr hohe Anzahl von

Abbildung 1: Zahl der Ein- und Auspendler in Darmstadt

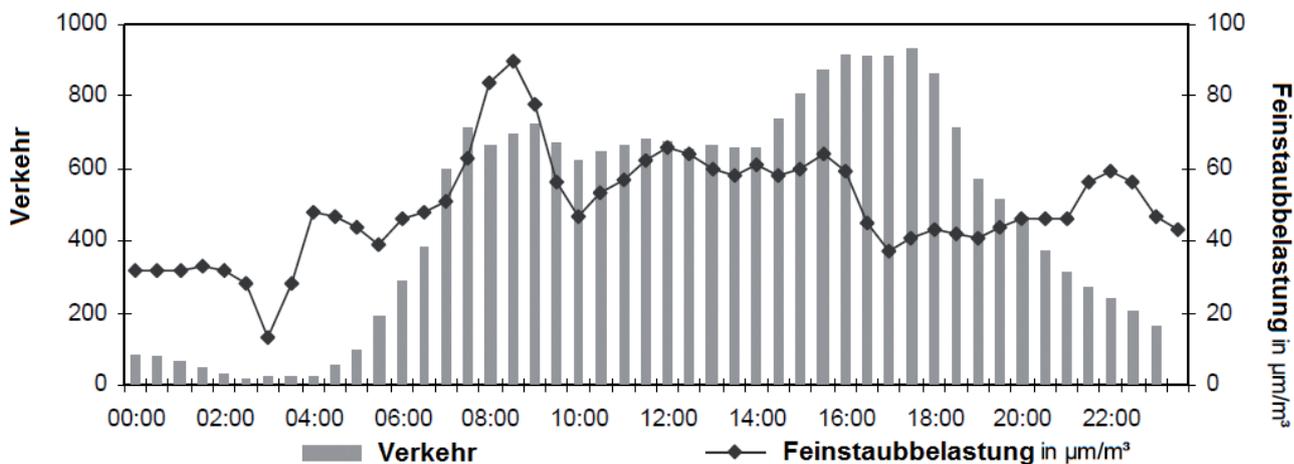


Quelle: Bundesagentur für Arbeit

Pendlern, wie Abbildung 1 belegt, fährt jeden Tag in die Stadt zum Arbeitsplatz oder zur Ausbildungsstätte und am Abend wieder zurück in die umliegenden Städte und Gemeinden und trägt damit zu einer hohen Verkehrsbelastung bei.

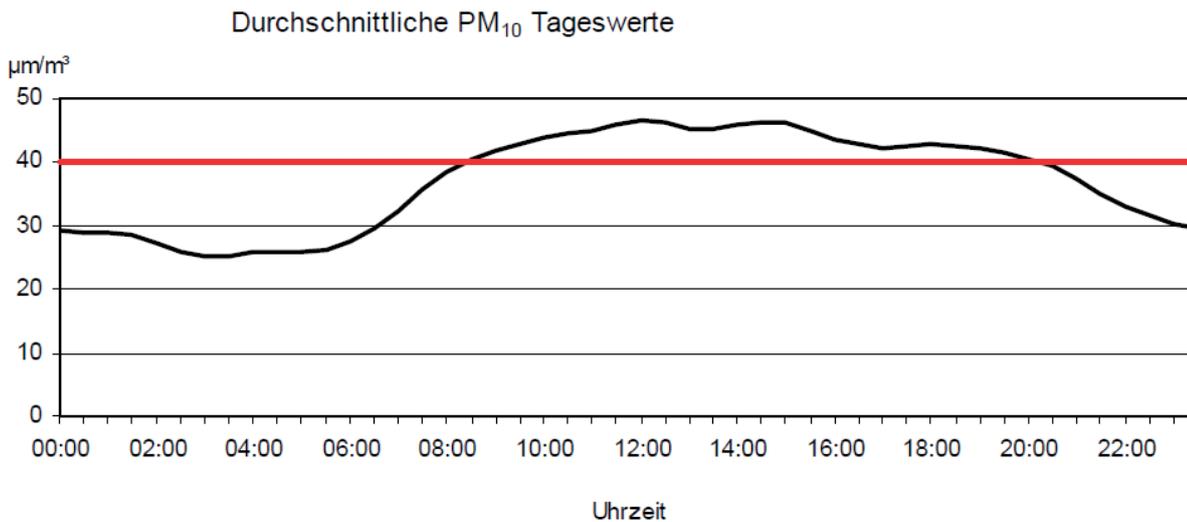
So beträgt die Zahl der Einpendlerinnen und Einpendler, die sozialversicherungspflichtig beschäftigt sind, derzeit knapp 70.000 Personen, die Zahl der Auspendler knapp 30.000.

Abbildung 2: durchschnittliche Feinstaubbelastung in Darmstadt in einem typischen Tagesverlauf



Verkehr- und Feinstaubbelastung in der Hugelstrae in Darmstadt

Abbildung 3: Belastung durch Verkehr und Feinstaub



Zur Zahl der beschäftigten Einpendler kommt noch die Zahl der Studierenden mit rund 20.000 Personen, sowie die Selbständigen, Beamte, mithelfende Angehörige, Schülerinnen und Schüler, Auszubildende, Einkaufende und Touristen. Ferner trägt die Zahl der PKW und LKW im Rahmen des Lieferverkehrs in die und innerhalb der Stadt weiter zu den hohen Verkehrsbelastungen bei.

Darmstadt zählt zu den zehn mit Feinstaub am stärksten belasteten Städten in Deutschland und der EU-Grenzwert von 40 Mikrometern pro Kubikmeter Luft, zum Beispiel in der Hängelstraße, wird regelmäßig überschritten (EU-Richtlinie 99/30/EG von 1999, gültig seit 1. Januar 2005). Dies zeigt Abbildung 2. Mit diesen Belastungen sehen sich viele Städte in Deutschland und Europa konfrontiert.

Die hohen Mobilitätslasten zeigen sich zum Beispiel in der hohen Feinstaubbelastung in der Stadtmitte (siehe Abbildung 3), im mobilitätsverursachten Lärm und durch anderen Folgekosten. In der Abbildung ist auffällig, dass es - anders als am Vormittag - keine lineare Korrelation zwischen Verkehrsaufkommen und Feinstaubmessung am Nachmittag wegen dem Wind nach Osten gibt.

All dies bringt die Mobilitätsinfrastruktur täglich an ihre Grenzen, die sich in unerwünschten Staus im und am Rande des Stadtgebietes und in Konflikten der Verkehrsteilnehmer untereinander zeigen.

Deshalb ist eine moderne Mobilitätsanalyse, die hohe räumliche und zeitliche Auflösung über die Verkehrsströme in der Stadt und in die Stadt bietet, eine wichtige Grundlage der Stadtentwicklung, der Stadt- und Verkehrsplanung – nicht nur in Darmstadt. Erst die Auswertung der Mobilfunkdaten ermöglicht es der kommunalen Statistik überhaupt, kleinräumig Verkehrsströme abzubilden. Das ist bislang nicht möglich, da kleinräumig in der Regel nur Bevölkerungsdaten und die Daten der Beschäftigten sowie Sozialdaten verfügbar sind. Mit den Auswertungen der Mobilfunkdaten liegen erstmals

kleinräumige Daten über die Mobilität in der Stadt, z. B. zu Unternehmensstandorten, Universitäten etc. sowie Daten über Pendlerströme innerhalb der Stadt und in bzw. aus der Stadt in definierte Verkehrszellen vor.

### 3 Grundlagen der Mobilitätsanalyse mittels Mobilfunkdaten

#### 3.1 Mobilfunkdaten der Telekom-Tochter Motionlogic

Mit dem Erringen des ersten Platzes beim bitkom-Wettbewerb „Digitalstadt Deutschland“ im Juni 2017 war auch die kostenlose Überlassung von Mobilfunkdaten der Telekom-Tochter Motionlogic verbunden. Bislang war dies die erste Übermittlung von Mobilfunkdaten der Telekom-Tochter an eine Statistikabteilung; es handelte sich hierbei um einen Prototyp für eine Datenanalyse.

In zwei Tranchen erfolgte die Überlassung der Daten zur Auswertung in der abgeschotteten Statistikstelle der Wissenschaftsstadt, im Januar 2019 und eine verbesserte Version im Juni 2019. Im Folgenden wird nur auf die Daten und Analysen der zweiten, deutlich verbesserten Lieferung Bezug genommen, da die Firma Motionlogic erhebliche Anstrengungen unternommen hat, die Auswertung der Mobilfunkdaten zu optimieren. Dem voraus gegangen war eine kritische Bestandsaufnahme der gelieferten Daten vom Januar 2019 und Hinweise zu Inkonsistenzen durch den Autor.

Die gelieferten Daten weisen eine extrem hohe zeitliche und räumliche Auflösung auf, die neue Möglichkeiten der Mobilitätsanalyse für Darmstadt zulassen. Die Daten sind ausschließlich auf den Start- und Zielort der SIM-Karte, wie nachfolgend detaillierter erläutert wird, bezogen und eine Übermittlung der Route wird nicht vorgenommen. Selbstverständlich wurde von Motionlogic die Datenlieferung so aggregiert, dass ein Rückschluss auf individuelles Mobilitätsverhalten absolut ausgeschlossen ist und die Anonymität der Nutzer strikt gewahrt bleibt. Die Datenlieferung wurde

nach vorgegebenen Standards vom bundesdeutschen Datenschutzbeauftragten der Firma Motionlogic genehmigt und ist damit für alle Städte mit abgeschotteter Statistikstelle ohne weitere Genehmigung möglich.

Die gelieferten Daten haben folgende Struktur:

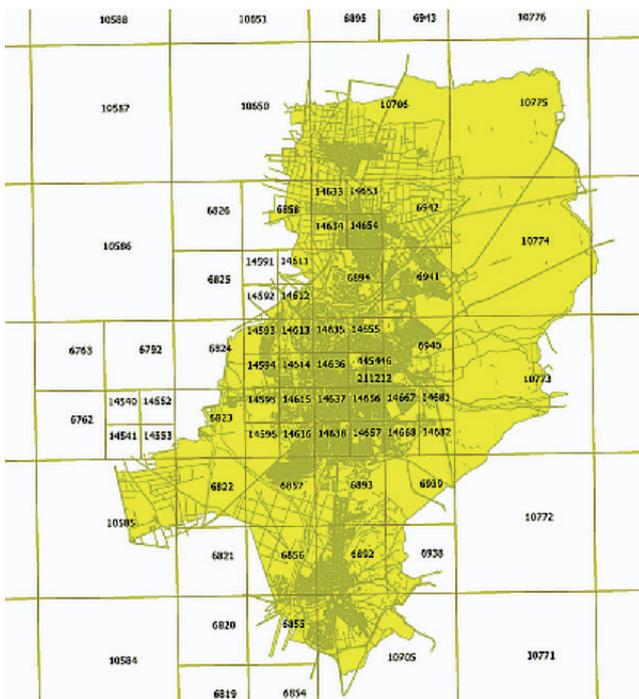
#### Verkehrszellen

Die Daten wurden als CSV-Datei zur Verfügung gestellt, ferner wurden die Motionlogic-Verkehrszellen als Shape-Datei geliefert. Zu bemerken ist, dass die Motionlogic-Verkehrszellen nicht den Telekom-Funkzellen entsprechen, sondern auf einem höheren Niveau aggregiert sind. Die Verkehrszellen sind in ländlichen Räumen, zum Beispiel im Landkreis Darmstadt-Dieburg deutlich größer als in der Innenstadt von Darmstadt. Für das Stadtgebiet Darmstadt sind 49 Verkehrszellen definiert, diese Zahl ist damit höher als die der Statistischen Bezirke (kleinräumige Einheit mit 37 Statistischen Bezirken).

Für Darmstadt standen für die Analyse u. a. folgende Ziele im Vordergrund:

- Mobilitätsanalyse von Einpendlern aus speziellen umliegenden Gemeinden und Städten in kleinräumige Bereiche in Darmstadt mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung
- Mobilitätsanalyse von innerstädtischen Pendlern und Einpendlern aus umliegenden Gemeinden und Städten an wichtige Firmen- und Hochschulstandorte in Darmstadt mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung
- Mobilitätsanalyse von Besuchern und Touristen auf der Mathildenhöhe anlässlich der vorliegenden Bewerbung des Jugendstilensembles Mathildenhöhe als Weltkulturerbe

**Abbildung 4:** Motionlogic-Verkehrszellen mit Darmstadt und umliegenden Gebieten – die Bebauungsstruktur Darmstadts ist grau gefärbt



Die Motivation zur Analyse der Pendlerbewegungen in Bereiche von Darmstadt besteht vor allem darin, die Verkehrsplanung mit aussagekräftigen Daten zu wichtigen kleinräumigen Standorten mit stark verkehrsbelasteten Zielen zu unterstützen. Zwar sind derzeit ausreichend Daten über Einpendler nach Darmstadt im Rahmen der sozialversicherungspflichtigen Einpendler von der Bundesagentur für Arbeit vorhanden; diese decken jedoch nur rund 70 Prozent der berufsbedingten Einpendler ab (Magistrat der Wissenschaftsstadt Darmstadt 2015) und sind, da nur jährlich verfügbar, für die Verkehrsanalyse in kleinräumige Bereiche mit hoher räumlicher und zeitlicher Auflösung nur begrenzt nutzbar.

Für das Stadtgebiet Darmstadts wurden die per Shape-File gelieferten Verkehrszellen mittels der Software QGIS analysiert und mit den Grenzen der Statistischen Bezirke abgeglichen. Die folgende Abbildung 4 zeigt das Stadtgebiet mit der grau gehaltenen Bebauung und die Motionlogic-Verkehrszellen. Für die weitere Analyse konnten die Grenzen des Landkreises Darmstadt-Dieburg sowie weiterer Gebietskörperschaften mittels der Shape-Dateien des Bundesamtes für Kartografie und Geodäsie mit den Motionlogic-Verkehrszellen in QGIS kombiniert werden: damit war eine meist eindeutige Zuordnung der Verkehrszellen zu den Gebietskörperschaften möglich.

Zwar sind die Statistischen Bezirke in Darmstadt vorläufig nicht kompatibel mit den Motionlogic-Verkehrszellen, die Unternehmensstandorte sind jedoch in den Verkehrszellen eindeutig identifizierbar. Ferner sind durch Befragungen der Unternehmen und Auswertung von Geschäftsberichten sowie durch das „klassische“ Unternehmensregister, das das Hessische Statistische Landesamt jährlich zur Verfügung stellt, die zur Plausibilisierung der Beschäftigtendaten an den Unternehmensstandorten notwendigen Angaben verfügbar. Damit ist eine drastische Verbesserung der amtlichen Statistik durch neue, volatile Mobilfunkdaten zur Verkehrsanalyse möglich, die bislang undenkbar war.

Eine Analyse der Einpendler aus Darmstadts Osten, vor allem den Gemeinden Roßdorf und Groß-Zimmern, könnte die Debatte zum Bau einer Straßenbahn in diese Gemeinden mit wichtigen Grunddaten bereichern. Auch dies wäre eine wichtige neue Erkenntnis über Verkehrsströme in die Stadt, die bisher in dieser Art nur unvollkommen vorliegt.

Jedoch sind nicht alle Verkehrszellen einer Gemeinde oder Stadt eindeutig zuordenbar: hier ist eine genaue Analyse der Überschneidung der Flächen notwendig; Patrick Vollmer vom Hessischen Statistischen Landesamt hat in einer Arbeitsgruppensitzung in Wiesbaden deshalb eine möglichst bundesweit gültige Vereinbarung über die Zuordnungskriterien empfohlen (z. B. die Zentroid-Analyse). Für bundesdeutsche Städte ist der Ansatz von Kollegin Sandra Hadam vom Statistischen Bundesamt methodisch interessant: sie hat erfolgreich mittels der Methode der Small Area Estimation die Mobilfunkdaten auf andere, statistisch interessante räumliche Einheiten umgerechnet und entsprechende Fehlerquoten angegeben (Hadam 2019).

### CSV-Datei mit Verkehrsdaten

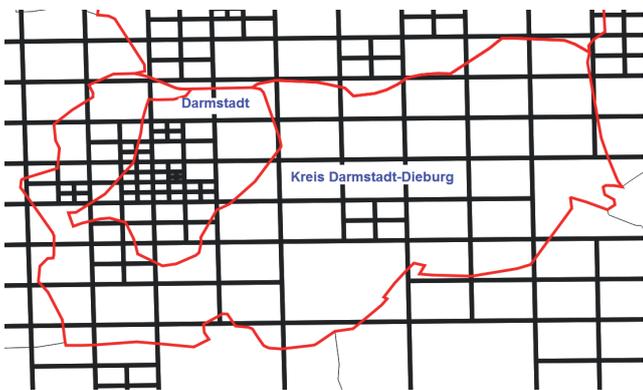
Neben den gelieferten Shape-Files sind die eigentlichen Mobilfunkdaten in einer CSV-Datei gespeichert. Schnell zeigt sich, dass diese Datei angesichts ihrer 146.282 Datensätze mit sechs Angaben pro Datensatz eine „Big Data-Herausforderung“ für die Analyse darstellt.

Zur Datenanalyse empfiehlt sich prinzipiell jede Statistiksoftware wie z. B. SPSS oder R; für Darmstadt wurde die Programmiersprache Java zur Auswertung genutzt. Java hat, neben dem einfachen Import von CSV-Dateien zur Verarbeitung, den Vorteil, dass sehr schnell viele Varianten der Datenanalyse erstellt werden können, die wiederum als CSV-Dateien abgespeichert und ausgewertet werden können. Für andere Städte hingegen, die ebenfalls diese Mobilfunkdaten beziehen, empfiehlt sich die Verwendung „klassischer“ Statistiksoftware mit Algorithmen, die hier vorgestellt werden.

### 3.2 Auswertung von Mobilfunkdaten für die Verkehrsanalyse

Entscheidend für die Auswertung der Mobilfunkdaten für die Verkehrsanalyse ist vorab die Definition der Ziele: welche Erkenntnisse sollen gewonnen werden und welche Daten sollen ausgewertet werden? Angesichts der enormen Vielfalt der Daten und der Auswertungsmöglichkeiten ist nur durch eine klare Zieldefinition gewährleistet, die Daten für Aussagen zur Verkehrsanalyse sinnvoll zu verwenden.

Abbildung 5: Motionlogic-Verkehrszellen für das Stadtgebiet Darmstadt sowie den umgebenden Landkreis Darmstadt-Dieburg (rote Begrenzungslinien)



## 4 Datengrundlagen und Analysealgorithmen

Der Datenlieferung von Motionlogic inklusive der Verkehrszellen (als Shape-File), die eine Kombination von Verkehrszellen und GIS-Daten ermöglichen, liegt die sogenannte ODM-Matrix zugrunde. ODM-Matrix bedeutet, dass der Ursprungsort („origin“) sowie der Zielort („destination“) angegeben werden: diese Orte sind per Verkehrszelle, zeitliche Auflösung (stündliche Werte und Wochentag, Samstag oder Sonntag) und die Zahl der SIM-Karten (entspricht Personen bzw. Handys) verfügbar.

Am Beispiel der Auswertung der Einpendlerdaten aus den benachbarten Kreisgemeinden Roßdorf und Groß-Zimmern in die kleinräumig definierten Verkehrszellen, insbesondere Unternehmens- und Ausbildungsstandorte, soll hier der Analysealgorithmus für diese spezielle Fragestellung vorgestellt werden.

Das Java-Analyseprogramm zur Auswertung der ODM-Matrix hat folgende Grundlagen:

- öffne die CSV-Datei
- lese die Daten zu den Werktagen ein (Wochentagstyp „workday“ = Werktag)
- definiere die besonders interessanten Verkehrszellen im Stadtgebiet Darmstadt („destination“)
- definiere die Verkehrszellen der zu untersuchenden Einpendlerorte („origin“)
- definiere die Ankunftszeit am Zielort („time-destination“)
- bilde die Summe(n) der Anzahl der Mobilfunkteilnehmer („count“) über Analyse-Zeit und Ziel-Verkehrszelle
- schreibe Ergebnisse in eine CSV-Datei.

Selbstverständlich lassen sich Datenauswertungen auch mit „klassischen“ Statistikprogrammen wie SPSS oder R vornehmen; der Algorithmus ist leicht übertragbar.

Neben den vorgestellten Ergebnissen wurden die Pendler aus allen Darmstädter Verkehrszellen an die Unternehmensstandorte analysiert; dies ist eine Analyse, die die innerstädtischen Pendler berücksichtigt oder z. B. auch getrennt analysiert.

## 5 Ergebnisse der Pendleranalyse mittels Mobilfunkdaten

### 5.1 Grundlagen

Bei der Analyse der Pendlerdaten ist es von Vorteil, andere statistische Daten zur Kalibrierung und Plausibilisierung der gewonnenen Erkenntnisse zu haben. Prinzipiell unterscheiden die gegebenen Mobilfunkdaten nicht zwischen sozialversicherungspflichtig Beschäftigten, Studierenden, Selbständigen, Beamten, Schüler/innen und in die Stadt kommenden Einkaufenden oder Touristen. Ferner wird auch der Lieferverkehr an die Unternehmensstandorte mit abgebildet, sei er innerstädtisch oder von außerhalb des Stadtgebietes. Unter der Fragestellung des innerstädtischen Verkehrsaufkommens sind diese wünschenswerten Differenzierungen mit den gelieferten Mobilfunkdaten derzeit nicht abbildbar. An einem Beispiel sollen die Ergebnisse einer Auswertung der Mobilfunkdaten vorgestellt werden.

### 5.2 Auswertungsbeispiel

Für die geplante Straßenbahn in die im Osten der Stadt gelegenen Städte des Landkreises Darmstadt-Dieburg, Roßdorf und Groß-Zimmern, soll eine Pendleranalyse durchgeführt werden. Dabei soll eine möglichst hochdifferenzierte Auswertung in räumlicher und zeitlicher Auflösung erfolgen. Die Fragestellung ist insbesondere, wie viele Einpendler aus den beiden Nachbarstädten in welche kleinräumigen Verkehrszellen Darmstadts an Werktagen kommen und welche Unternehmensstandorte ein Ziel sind.

Somit sind die Grundlagen für die Abfrage bekannt:

**Quelle:** die Städte Roßdorf und Groß-Zimmern, Verkehrszellen 10836,10893,10956

**Ziel:** alle Verkehrszellen Darmstadts, besonders interessant sind u. a. die Firmenstandorte Fa. Merck (Pharma- und Chemiefirma mit rund 9.000 Beschäftigten), Darmstadts Innenstadt, die High Tech-Standorte Europaviertel und Verlegerviortel. Die zur Analyse vorgesehenen Zielorte sind alle Verkehrszellen im Darmstädter Stadtgebiet:

- Ankunftszeit:** von 0 Uhr bis 24 Uhr
- Anzahl:** Summen der Einpendler, bezogen auf die Ankunftszeit werktags
- Tage:**

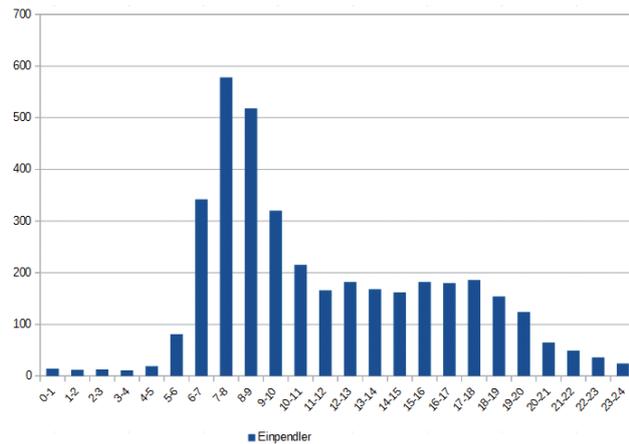
Aus Abbildung 6 ergibt sich die Stundenverteilung von 0 Uhr bis 24 Uhr bezüglich der gesamten Zahl der Einpendlerinnen und Einpendler aus den beiden Gemeinden Roßdorf und Groß-Zimmern nach Darmstadt. Insgesamt pendeln 3.801

Personen im genannten Zeitraum ein, davon in der Spitze 578 Personen zwischen 7 und 8 Uhr. Deutlich zu erkennen ist die Abnahme der Pendlerzahlen nach 10 Uhr.

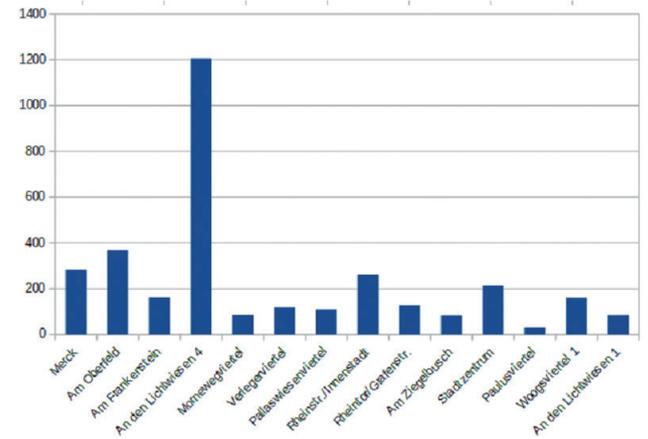
Bei der Gesamtbetrachtung der Einpendler aus den beiden Gemeinden in die verschiedenen Verkehrszellen Darmstadts, die aus obiger Abbildung ersichtlich sind, ist der TU-Campus Lichtwiese am auffälligsten, gefolgt vom Oberfeld, der Fa. Merck, der Rheinstraße/Innenstadt und dem Stadtzentrum. Hier zeigen sich bereits Grenzen der Pendleranalyse mit Mobilfunkdaten, da die Verkehrszelle Oberfeld nur den morgendlichen Stau an PKW und LKW in Richtung Innenstadt wiedergibt, die sich an der Einfallstraße (B26) länger aufhalten. Die anderen Einpendlerdaten sind jedoch recht plausibel.

Die Einpendler zur Firma Merck an einem Werktag werden durch obige Abbildung 8 gut abgebildet; die Spitzen zwischen 6 und 10 Uhr deuten klar auf die Beschäftigten hin, die zu ihrem Arbeitsplatz fahren.

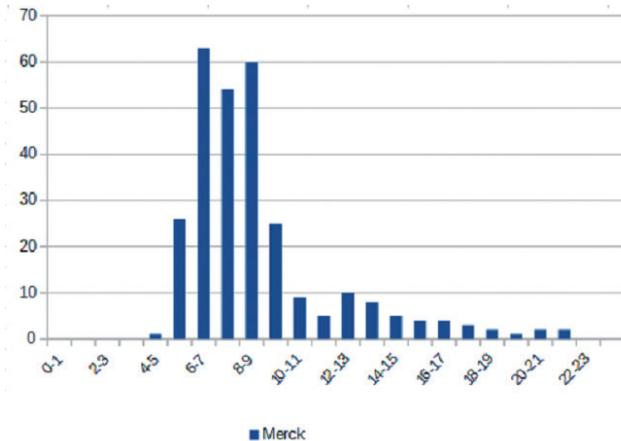
**Abbildung 6:** Pendlerbewegungen insgesamt aus dem Ostkreis (Roßdorf und Groß-Zimmern) in alle Verkehrszellen der Wissenschaftsstadt Darmstadt an einem Werktag (0–24 Uhr)



**Abbildung 7:** Einpendler aus Roßdorf und Groß-Zimmern in besonders hoch frequentierte Verkehrszellen



**Abbildung 8:** Einpendler aus Roßdorf und Groß-Zimmern zur Verkehrszelle der Firma Merck



**Abbildung 9:** Einpendler aus Roßdorf und Groß-Zimmern an der Verkehrszelle Lichtwiese 4

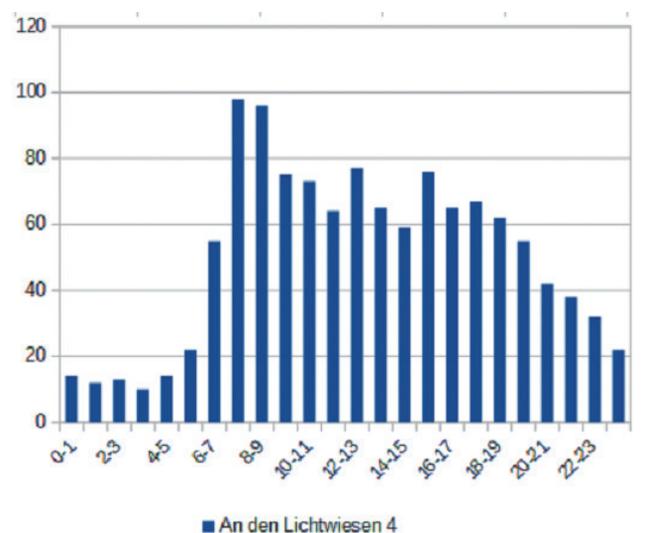
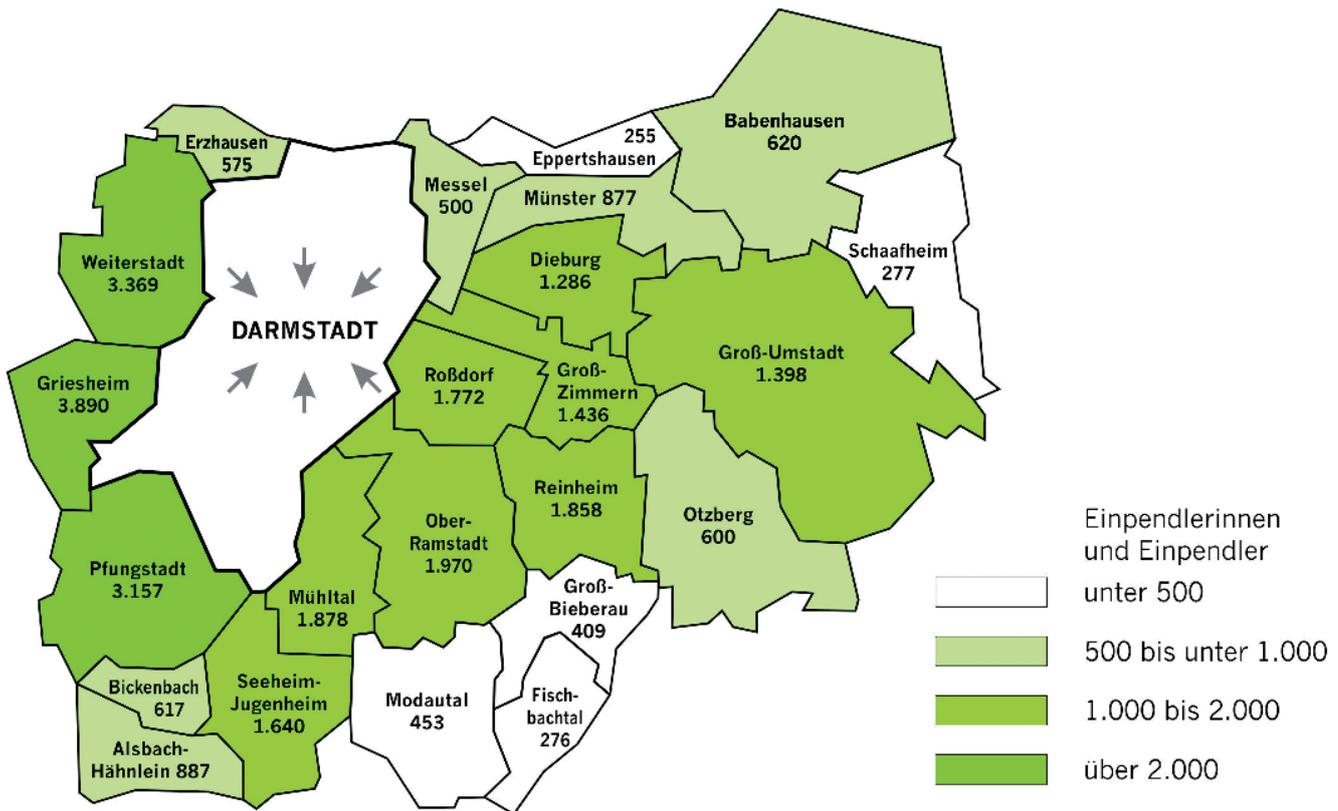


Abbildung 10: Sozialversicherungspflichtig beschäftigte Einpendler nach Darmstadt aus den Umlandgemeinden



Ein ganz anderes Profil zeigen die Daten, die sich für die Verkehrszelle an der Lichtwiese 4 ergeben, wie die Abbildung (Abbildung 9) zeigt. Die Spitze der hier Einpendelnden liegt in den Zeiten zwischen 7 und 10 Uhr, jedoch sinkt die Zahl der Einpendelnden auch nach 10 Uhr nicht so deutlich ab wie an anderen Standorten. Erst die genaue Ortskenntnis ergibt, dass es sich bei den hohen Zahlen in dieser Verkehrszelle um die PKW- und LKW-Fahrer handelt, die hier länger „am Tor zur Stadt Darmstadt“ auf der Bundesstrasse im Stau stehen!

Diese Beispiele zeigen, dass es möglich ist, die Zahl der Einpendler aus dem Ostkreis (Roßdorf und Groß-Zimmern) in die Wissenschaftsstadt in zeitlicher Auflösung nach Stunden in verschiedene kleinräumige Verkehrszellen darzustellen.

Als eine Möglichkeit zur Plausibilisierung der Ergebnisse sollen die ermittelten Zahlen mit den beschäftigten Einpendlern verglichen werden. Die Zahl der sozialversicherungspflichtig beschäftigten Einpendler aus den beiden Gemeinden nach Darmstadt beträgt 3.208 Personen (Abbildung 10), die obige Analyse hat mit den Daten von Motionlogic die Zahl von 3.801 Einpendlern ergeben.

Bekanntlich umfasst die Zahl der sozialversicherungspflichtigen Einpendler nur die von der Bundesagentur für Arbeit erfassten Zahlen der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten, nicht jedoch die Studierenden, die einpendelnden

Selbständige und Beamten u. a. wie die Schüler/innen oder Einkaufenden. Insofern sind die etwas höheren Daten der Motionlogic-Auswertung eine gute Annäherung an die Realität der Einpendlerströme, wenn auch verständlicherweise kein exaktes Abbild.

Grundsätzlich stellen sich bei diesem Vergleich zwei Fragen, die in weiteren Gesprächen mit dem Datenlieferanten Motionlogic geklärt werden müssen:

- derzeit sind nur die Daten von Motionlogic verfügbar. Damit wird ca. ein Drittel aller Mobilfunkteilnehmer abgedeckt; von den beiden anderen in Deutschland aktiven Mobilfunkanbietern Vodafone und Telefonica sind aktuell noch keine kleinräumigen auswertbaren Daten vorhanden.
- die geradezu überraschende Übereinstimmung der ausgewerteten Motionlogic-Daten mit den Einpendler-Daten der sozialversicherungspflichtig beschäftigten Einpendler beruht auf einer nicht offen gelegten „Hochrechnung“ auf Einwohnerdaten von Motionlogic. Auch dieser Fakt muss in weiteren Diskussionen mit dem Datenlieferanten abgeklärt werden, um die Validität der gelieferten Daten absichern zu können.

Auffällig ist, dass die Darmstädter Firmenstandorte, die von Pendlern aus den genannten Orten angefahren werden, gut abgebildet werden. Zum ersten Mal können mithilfe der Mobilitätsdaten Pendlerbewegungen in die kleinräumigen

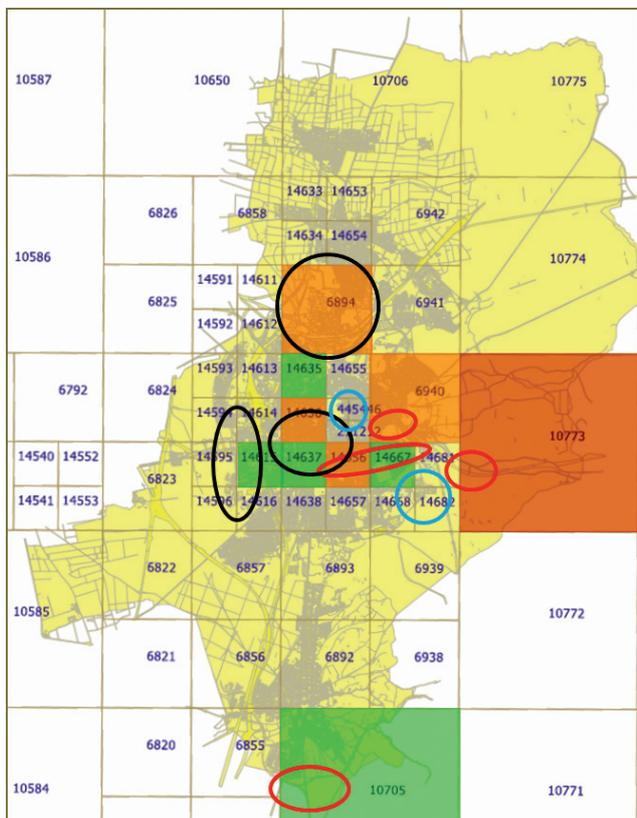
Bereiche bzw. Verkehrszellen Darmstadts abgebildet werden. Mit den neuen Daten sind kleinräumige Start- und Zielorte sowie stündliche Intervalle für spezielle Auswertungen möglich. Jedoch erst eine gründliche Fehleranalyse führt zu einer Validierung der ermittelten Ergebnisse.

## 6 Methodische Grundlagen und Fehleranalyse

Das Beispiel zeigt die Möglichkeiten, die sich aus der Analyse der Mobilfunkdaten für die Pendlerbewegungen in deutschen Städten ergeben. Die Herausforderung bleibt jedoch, die Mobilfunkdaten genau zu analysieren – so sind in wenigen bestimmten Verkehrszellen die Pendler entlang der Autobahn oder der nach Darmstadt führenden Bundesstraße aus dem Osten mit erfasst. Nur eine gute Kenntnis der örtlichen Gegebenheiten sowie eine geschickte Auswahl der Verkehrszellen vermeidet Fehlinterpretationen, z. B. falsche, zu hohe Gesamtsummen der Pendler etc. ...

Abbildung 11 zeigt einige der möglichen Fehleinschätzungen, die sich aus der Auswertung der Mobilfunkdaten ergeben können, wenn nicht eine genaue Analyse der erhobenen Ergebnisse vorgenommen wird. Hierbei zeigt sich eine starke Überschneidung der Mobilfunkdaten mit Arbeitsschwerpunkten und der übergeordneten Verkehrsinfrastruktur. Zwar zeigen die Zentren der Beschäftigung wie die Firma Merck oder die Quartiere (Verkehrszellen) Rheintor/Innenstadt und das

**Abbildung 11:** Überschneidung der Mobilfunkdaten mit Arbeitsschwerpunkten und der übergeordneten Verkehrsinfrastruktur



Stadtzentrum hohe Pendlerzahlen aus den östlich gelegenen Gemeinden, die Anzahl an dokumentierten Bewegungen mit ca. einem Drittel hat jedoch Staus an der im Osten gelegenen Stadtgrenze als Ursache (Zielort der Bewegung), wie man an dem roten Feld in der rechten Mitte erkennen kann. Damit wird die Aussagekraft der Daten eingeschränkt.

Wesentliche Ursachen genereller Art für eine Einschränkung der Aussagekraft der Daten sind:

- die Gleichsetzung von Stau und Zielort aufgrund von der Aufenthaltsdauer (mehr als 12 Minuten), erzeugt durch die Mobilfunkdaten
- die derzeit relativ grobe Verkehrszellenstruktur mit im Stadtgebiet nicht immer scharf trennbaren Quartieren, die derzeit keine Unterscheidung ermöglichen, ob der Zielort ein Arbeitsplatz, ein Zwischenziel (z.B. Bahnhof) oder der morgendliche Berufsverkehr ist. Die relativ grobkörnige Verkehrszellenstruktur lässt auch feingliedrigere Untersuchungen bislang nicht zu (z. B. Touristenziel Mathildenhöhe oder Einkaufsbesuch auf dem Marktplatz).

Auch liegen derzeit nur unvollständige Daten der Pendlerbewegungen vor, da aktuell nur ein Anbieter die Daten zur Verfügung stellt. Zudem ist die Hochrechnung zu den Mobilfunkteilnehmern, die der Anbieter vornimmt, nicht unabhängig überprüfbar. Eine Überprüfung auf Repräsentativität und Selektivitäten ist derzeit nur möglich, wenn die Analyse der Mobilfunkdaten in Kombination mit z. B. dem kommunalem Verkehrsmodell vorgenommen wird, um eine „Kalibrierung“ und Plausibilisierung der Daten zu ermöglichen. Weitere Verbesserungen der Aussagekraft der Mobilfunkdaten und deren Kalibrierung müssen mit neuen Algorithmen, z. B. der Analyse der Tages- und Nachtbevölkerung in einer Stadt oder mit anderen, verfügbaren amtlichen Statistiken (Studierendendaten, Beschäftigte an Firmenstandorten durch Auswertung des Unternehmensregisters u. a.) vorgenommen werden. Entscheidend ist die gute Ortskenntnis der Statistikämter, die die Fehleinschätzung der Daten begrenzen kann.

## 7 Ausblick

Ein wichtiges Ziel der Wissenschaftsstadt Darmstadt ist die Verbesserung der Lebensqualität durch die Reduktion von Feinstaub- und NOx-Belastung, die überwiegend durch den individualisierten Autoverkehr erzeugt wird. Ferner sind Ziele wie die Verminderung des Lärmeintrages in städtischen Bezirken nur durch eine bessere und „smartere“ Mobilität in die Stadt und in der Stadt möglich. Durch die Auswertung der Mobilfunkdaten durch die Firma Motionlogic ist es möglich neuartige Pendleranalysen vorzunehmen, die die Verkehrsströme in die Stadt und in der Stadt abbilden.

Dies stellt jedoch deutliche Herausforderungen für die Stadtentwicklung und Statistik dar, da „Big Data“-Analysen erforderlich sind. Durch neue Mobilfunkdaten über Pendlerbewegungen ist prinzipiell eine Verbesserung der amtlichen Statistik durch neue, volatile Daten möglich, die die Stadtentwicklung, die Stadt- und Verkehrsplanung unterstützt und ein besseres

Verständnis der Verkehrsströme ermöglicht. Hier wurde nur ein Beispiel der Auswertung der übermittelten Mobilfunkdaten von Motionlogic vorgestellt. Weitere Auswertungen zu innerstädtischen Verkehrsströmen, zu Pendlerbewegungen mit Wiesbaden und Frankfurt am Main mit entsprechenden Plausibilisierungen konnten bereits ebenfalls vorgenommen werden.

Weiterhin sind methodische und analytische Anstrengungen zum besseren Verständnis der Mobilfunkdaten und ihrer Aussagefähigkeit notwendig, die eine enge Zusammenarbeit mit den Statistikabteilungen anderer Städte und Forschungseinrichtungen erfordert. Der Workshop in Nürnberg im Januar 2020 war ein wichtiger Schritt in die Richtung, durch koordinierte Anstrengungen die neuen Möglichkeiten der Mobilfunkanalysen für die Statistikämter nutzbar zu machen.

Denn „Ideen können nur nützen, wenn sie in vielen Köpfen lebendig werden.“ – Alexander von Humboldt

## 8 Danksagung

Mein Dank gilt dem Hessischen Statistischen Landesamt für den Erfahrungsaustausch „Daten aus Mobilfunknetzwerken“ am Dienstag, den 23. Juli 2019 im Hessisches Statistisches Landesamt, Wiesbaden, insbesondere den Kollegen Tobias Gramlich und Patrick Vollmer. Ferner danke ich den Kolleginnen Sandra Hadam und Natalie Rosenski vom Statistischen Bundesamt für die fruchtbaren Diskussionen und den anderen, am Workshop teilnehmenden Kolleginnen und Kollegen. Mein Dank gilt auch Herrn Norbert Weber und seinen Kolleginnen und Kollegen von der Firma Motionlogic für die Bereitstellung der Daten und die anregenden Diskussionen bei der Datenanalyse. Mein besonderer Dank gilt dem Leiter der Abteilung Statistik und Stadtforschung im Darmstädter Amt für Wirtschaft und Stadtentwicklung, Herrn Dr. Jan Dohnke, der mir mit vielen Hinweisen zur Verbesserung dieses Beitrages geholfen hat.

## Literatur

Günther Bachmann, Umweltqualität und Umweltgerechtigkeit – Zur Kombination von Internetdaten und Statistikinformationen am Beispiel der Wissenschaftsstadt Darmstadt, Stadtforschung und Statistik, Heft 1/2016, Stuttgart 2016

BMVI 2018: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Mobilität in Deutschland (MiD), letzte Aktualisierung: 26. August 2019, siehe <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/mobilitaet-in-deutschland.html>, abgerufen am 02.10.2019

Bundesamt für Kartografie und Geodäsie, Regionalkarten, unter <https://www.bkg.bund.de/DE/Produkte-und-Services/Shop-und-Downloads/Landkarten/>

Karten-Downloads/Regionalkarten/regional-karten.html

### Viele der verwendete Abbildungen und Karten sind in folgenden Publikationen zu finden:

Magistrat der Wissenschaftsstadt Darmstadt, Studierende in der Wissenschaftsstadt Darmstadt, Statistische Berichte 1. Halbjahr 2014, Darmstadt 2014

Magistrat der Wissenschaftsstadt Darmstadt, Geringfügig Beschäftigte in der Wissenschaftsstadt Darmstadt, Statistische Berichte 1. Halbjahr 2015, Darmstadt 2015

Magistrat der Wissenschaftsstadt Darmstadt, Darmstadts Ein- und Auspendler, Statistische Berichte 2. Halbjahr 2017, Darmstadt 2017

Magistrat der Wissenschaftsstadt Darmstadt, Demografiebericht 3, Darmstadt 2017

Magistrat der Wissenschaftsstadt Darmstadt, Datenreport 2018, Darmstadt 2018 (fortlaufend)

Magistrat der Wissenschaftsstadt Darmstadt, Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte in Darmstadt, Statistische Berichte 1. Halbjahr 2018, Darmstadt 2018

**Aktuelle Daten, auf die Bezug genommen wurde, finden sich insbesondere im jährlich erscheinenden Datenreport der Wissenschaftsstadt Darmstadt.**