



# Methodik zur Berechnung von korrigierten bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten (KobS) für kleinräumige Routinganalysen im Gesundheitswesen am Beispiel von Postleitzahlgebieten

Sebastian Völker<sup>1</sup> • Janina Kempchen<sup>1,2</sup> • Ramona Hering<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Kassenärztliche Vereinigung Westfalen-Lippe, Stabsbereich Unternehmensentwicklung

<sup>2</sup> Ruhr-Universität Bochum, Geographisches Institut

<sup>3</sup> Zentralinstitut für die kassenärztliche Versorgung in Deutschland

DOI: 10.20364/VA-21.02

## Abstract

Um die Gesundheitsversorgung der gesamten Bevölkerung flächendeckend gewährleisten zu können, muss die Erreichbarkeit von medizinischen Einrichtungen möglichst genau bemessen werden. Als Ausgangspunkt für Analysen zur raumzeitlichen Erreichbarkeit in der medizinischen Versorgung spielt der Wohnort der Bevölkerung eine zentrale Rolle. Bisher verfasste Arbeiten zu Erreichbarkeitsanalysen verwenden daher bevölkerungsgewichtete anstatt geometrische Schwerpunkte. In der praktischen Gesundheitsplanung können jedoch auch bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte an für Routinganalysen ungeeigneten Orten, wie z. B. unbewohnten Orten, lokalisiert sein. Deshalb zielt die vorliegende Arbeit auf die Entwicklung einer Methodik zur Berechnung klar definierter Ausgangspunkte für Routinganalysen an wohnortrepräsentativen, zentralen und bewohnten Orten für den praktischen Einsatz.

Als Ergebnis werden korrigierte bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte (KobS) berechnet, die die Anforderungen an einen repräsentativen Ausgangspunkt für Routinganalysen im Gesundheitswesen erfüllen. Am Beispiel der Postleitzahlgebiete (PLZ-Gebiete) in Westfalen-Lippe wird ersichtlich, dass der durchschnittliche Fahrtzeitunterschied bezogen auf die drei Arztgruppen Hausärzte, fachärztliche Internisten und Orthopäden zwischen dem geometrischen Schwerpunkt und dem KobS 1,2 bis 1,5 Minuten beträgt, zwischen dem bevölkerungsgewichteten Schwerpunkt und dem KobS 0,2 bis 0,3 Minuten. Bei Betrachtung einzelner PLZ-Gebiete können Fahrtzeitunterschiede zwischen bevölkerungsgewichtetem Schwerpunkt und KobS von  $\min = -13$  Minuten (nächste Orthopädiepraxis, PLZ 32825, Kreis Lippe) und  $\max = 9$  Minuten (nächste Hausarztpraxis, PLZ 48432, Kreis Steinfurt) detektiert werden. Obwohl im Vergleich sowohl längere als auch kürzere Fahrtzeiten für die KobS zu Praxisstandorten verschiedener Arztgruppen detektiert werden können, bilden KobS die wohnortbezogene Realität der zu versorgenden Bevölkerung in Routinganalysen besser ab als geometrische oder bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte.

Korrespondierender Autor: Dr. Sebastian Völker

Kassenärztliche Vereinigung Westfalen-Lippe

Robert-Schimrigk-Str. 4–6 – 44141 Dortmund – Tel. 0231 9432 3501 – E-Mail: [Sebastian.Voelker@kvwl.de](mailto:Sebastian.Voelker@kvwl.de)



Aus Gründen der besseren Lesbarkeit verwenden wir in dieser Publikation zumeist die Sprachform des generischen Maskulinums. Wir weisen ausdrücklich darauf hin, dass die Verwendung der männlichen Form geschlechterunabhängig verstanden werden soll.

## Schlagwörter

Bevölkerungsschwerpunkt, Erreichbarkeitsanalyse, korrigierter bevölkerungsgewichteter Schwerpunkt, räumliche Analyse, Routing-Startpunkt, Versorgungsplanung

## Zitierweise

Völker S, Kempchen J, Hering R. Methodik zur Berechnung von korrigierten bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten (KobS) für kleinräumige Routinganalysen im Gesundheitswesen am Beispiel von Postleitzahlgebieten. Zentralinstitut für die kassenärztliche Versorgung in Deutschland (Zi). Versorgungsatlas-Bericht Nr. 21/02. Berlin 2021. URL: <https://doi.org/10.20364/va-21.02>

## Abstract (English)

### **Methodology for calculating corrected population-weighted centroids (KobS) for small-scale routing analyses in health care using the example of postal code areas**

In order to provide comprehensive health care for the entire population, the accessibility of healthcare facilities must be calculated as precisely as possible. As a starting point for analyses of the spatiotemporal accessibility of healthcare, the population's place of residence plays a central role. Therefore, previous studies on accessibility analyses use population-weighted instead of geometric centroids. However, in practical health planning, population-weighted centroids may also be located in places unsuitable for routing analyses, such as uninhabited places. Therefore, the present work aims at developing a methodology to compute well-defined starting points for routing analyses at residential-representative, central, and populated locations for practical use.

As a result, corrected population-weighted centroids (German: *korrigierte bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte, KobS*) are calculated, which meet the requirements for a representative starting point for routing analyses in healthcare. Using the example of the zip code areas in Westphalia-Lippe, it can be seen that the average travel time difference for 3 physician groups between the geometric centroid and the KobS is 1.2–1.5 minutes, between the population-weighted centroid and the KobS 0.2–0.3 minutes. Looking at individual zip code areas, travel time differences between population-weighted centroid and KobS of min = -13 minutes (nearest orthopedist's office, zip code 32825, district of Lippe) and max = 9 minutes (nearest family doctor's office, zip code 48432, district of Steinfurt) can be detected. Although in comparison both longer and shorter travel times can be detected for KobS to practice locations of different physician groups, KobS represent the residential reality of the population to be served in routing analyses better than geometric or population-weighted centroids.

## Kernaussagen

- Es wurden korrigierte bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte (KobS) berechnet, die den Anforderungen an einen repräsentativen Ausgangspunkt für Routinganalysen im Gesundheitswesen entsprechen.
- Bei Betrachtung einzelner Postleitzahlgebiete können zwischen bevölkerungsgewichtetem Schwerpunkt und KobS sowohl geringere als auch höhere Fahrtzeitunterschiede detektiert werden.
- KobS bilden die wohnortbezogene Realität der zu versorgenden Bevölkerung in Routinganalysen besser ab als geometrische oder bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte.

## Hintergrund

Um (Fahr-)Distanzen zu gesundheitlichen Einrichtungen zu berechnen, wird für eine Netzwerkanalyse ein räumlicher Startpunkt benötigt. Zumeist müssen jedoch die Wohnorte von Patienten in Raumeinheiten (Polygonen) wie z. B. Kreise, Gemeinden, Postleitzahlgebiete (PLZ-Gebiete) etc. aggregiert werden, da diese entweder nicht flächendeckend zur Verfügung stehen oder eine enorme Rechenleistung bei Netzwerk- bzw. Routinganalysen beanspruchen würden. Für eine patientenfokussierte Gesundheitsplanung ist ein Startpunkt zu wählen, der die betroffene Bevölkerung in einer Raumeinheit widerspiegelt. Diese Aufgabe ist häufig mit der Frage verbunden, welcher Punkt als Startpunkt definiert werden kann.

Hierzu wurden bereits unterschiedliche Methoden entwickelt. Bisher werden z. B. geographische Mittelpunkte bzw. geometrische Schwerpunkte der gewählten räumlichen Einheiten berechnet. Der Vorteil geometrischer Schwerpunkte ist, dass diese die kürzeste (Luftlinien-) Distanz zu allen anderen Punkten im beobachteten Raum darstellen. Damit ist die Wahrscheinlichkeit eines räumlichen Fehlers kleiner als an jeder anderen räumlichen Position [1].

Für ein Routing wirft dieser Punkt jedoch Probleme auf, da er fernab von Straßen liegen und somit die berechnete Fahrtdauer verlängern kann. Der geometrische Schwerpunkt der Schweiz liegt beispielsweise in den Alpen in Luzern, fernab von Straßen und Population [2]. Bei Raumeinheiten in C- oder L-Form würde der geometrische Schwerpunkt außerhalb der entsprechenden Raumeinheit liegen und damit die Fahrtdauer bzw. Fahrdistanz ungenau abbilden [2]. Der in dieser Vorgehensweise errechnete Punkt berücksichtigt ausschließlich räumlich-geodätische Informationen. Andere Informationen, wie z. B. die Verteilung der Bevölkerung

innerhalb der Raumeinheit oder Bevölkerungszahlen werden bei dieser Methodik nicht berücksichtigt [3].

Um diesen Limitationen zu begegnen, wurde die Methodik der Ermittlung bevölkerungsgewichteter Schwerpunkte entwickelt. Die geometrischen Schwerpunkte werden hierbei durch ein möglichst kleinräumiges Bevölkerungsraster gewichtet und repräsentieren folglich den Bevölkerungsschwerpunkt der Raumeinheit [1]. Es können auch andere Variablen zur Gewichtung verwendet werden [4].

Durch die Gewichtung des Schwerpunktes mit der Bevölkerung wird diese realitätsnäher abgebildet als beim geometrischen Schwerpunkt [1]. Das ist vor allem bei Geoanalysen oder Distanzberechnungen, z. B. für Raumgewichtungsmatrizen, ein Vorteil [5].

Luo und Wang [6] lokalisierten z. B. mithilfe von bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten Gebiete mit Ärzteknappeit in Illinois. Yang et al. [7] nutzten bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte von Wohnblöcken, um den Zugang zu Dialysestandorten in Chicago zu analysieren. Bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte waren für die Autoren die bessere Option, da im Studiengebiet zahlreiche, große und nicht bewohnte Gebiete wie Flughäfen oder Parks vorhanden waren.

Die Bevölkerung, gemessen an ihren Wohnorten, wird durch die bevölkerungsgewichteten Schwerpunkte repräsentativer abgebildet, vor allem in peripheren Regionen, wo sich die Bevölkerung oft auf einen kleinen Gebietsanteil konzentriert [6]. Der bevölkerungsgewichtete Schwerpunkt kann trotzdem weit entfernt von Siedlungen oder angemessenen Straßen liegen. Er muss auch nicht zwingend innerhalb der Grenzen liegen. Betrachtet man das Beispiel einer C-förmigen Raumeinheit, wo die Bevölkerungsschwerpunkte an den beiden Enden liegen, so befindet sich der bevölkerungsgewichtete Schwerpunkt außerhalb der Raumeinheit.

Der Gemeinsame Bundesausschuss beschloss aufgrund der genannten Limitationen der unterschiedlichen Schwerpunkte am 18.06.2020, dass bei der Regelung für die Vereinbarung von Sicherstellungszuschlägen für Krankenhäuser gemäß § 136c Absatz 3 SGB V die PKW-Fahrzeiten an zentralen, bewohnten, klar definierten Ausgangspunkten, also am Punkt mit der größten Besiedlungsdichte der Marktzellen beginnen müssen [8].

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, eine Methodik zur Berechnung klar definierter Ausgangspunkte für Routinganalysen an wohnortrepräsentativen, zentralen und bewohnten Orten für den Einsatz in Praxis und Forschung im Gesundheitswesen zu entwickeln. Dabei soll gewährleistet sein, dass der Verteilung der Bevölkerung in einem definierten Raumabschnitt entsprochen werden kann, indem ein Punkt in einem dicht besiedelten Gebiet gewählt und die Methodik nachvollziehbar unter klaren Definitionen repliziert wird. Mit dieser Vorgehensweise sollen lebensweltbezogene Routinganalysen im Gesundheitswesen ermöglicht werden.

## Methodik

### Daten- und Berechnungsgrundlagen

Als Untersuchungsgebiet wurde die Region der Kassenärztlichen Vereinigung (KV) Westfalen-Lippe ausgewählt. Als räumliche Einheiten für die korrigierten bevölkerungsgewichteten Schwerpunkte wurden fünfstellige PLZ-Gebiete festgelegt. Es wurde das Programm ArcMap 10.4.1 von Esri verwendet. Bevölkerungsdaten wurden in Form eines 100m\*100m-Rasters der Firma AZ Direkt GmbH aus dem Jahr 2019 genutzt. Sie beruhen auf einer Fortschreibung der im Jahr 2011 ermittelten Zensusdaten. Diese Geodaten waren nach der INSPIRE-Richtlinie 2007/2/EC des Europäischen Parlaments verfügbar. An dieser Stelle wäre es auch möglich, eine abweichende Rastergröße zu verwenden wie z. B. ein 1km\*1km-Raster. Dieser Ansatz weist jedoch die Limitation auf, dass die Fehlerwahrscheinlichkeit vergrößert wird.

Außerdem wurde ein Datensatz mit den PLZ-Gebieten der Region Westfalen-Lippe der Deutschen Post von 2019 und für die Evaluation der Schwerpunkte ein Straßennetz von TomTom Multinet Release 03/2020 sowie Standorte nach Bedarfsplanung zugelassener niedergelassener Ärzte in den Arztgruppen Hausarzt,

fachärztliche Internisten und Orthopäden aus dem Data Warehouse der KV Westfalen-Lippe, Stand 16.09.2020, verwendet.

### Bestimmung der korrigierten bevölkerungsgewichteten Schwerpunkte

Im ersten Schritt erfolgte die Berechnung der geometrischen Schwerpunkte der PLZ-Polygone mit der ArcGIS Funktion „Mittelwert für Mittelpunkt“. Hierbei wurde keine Gewichtung vorgenommen. Um die bevölkerungsgewichteten Schwerpunkte zu erstellen, wurde ebenfalls die Funktion „Mittelwert für Mittelpunkt“ verwendet. Dazu wurden die Rasterzellen des Bevölkerungsdatensatzes nach PLZ-Gebieten gruppiert. Eine Rasterzelle wurde einem spezifischen PLZ-Polygon zugeordnet, wenn sich ihr Mittelpunkt innerhalb des PLZ-Polygons befand. Pro PLZ-Polygon wurde aus den X- und Y-Werten der geometrischen Schwerpunkte der Rasterzellen, gewichtet nach deren Einwohnerzahl, das arithmetische Mittel berechnet [9]. Die Ergebnisse entsprechen den bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten der PLZ-Polygone.

Die mathematische Formel für die Berechnung der bevölkerungsgewichteten Schwerpunkte lautet [10]:

$$\bar{X}_\omega = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i x_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}, \bar{Y}_\omega = \frac{\sum_{i=1}^n \omega_i y_i}{\sum_{i=1}^n \omega_i}$$

$\bar{X}_\omega$  und  $\bar{Y}_\omega$  stellen dabei die gewichteten X- und Y-Koordinaten des PLZ-Gebiets,  $n$  die Anzahl der Rasterzellen innerhalb des PLZ-Gebiets,  $x_i$  und  $y_i$  die X- und Y-Koordinaten des geometrischen Schwerpunktes der betreffenden Rasterzelle und  $\omega_i$  die Bevölkerungszahl der Rasterzelle dar.

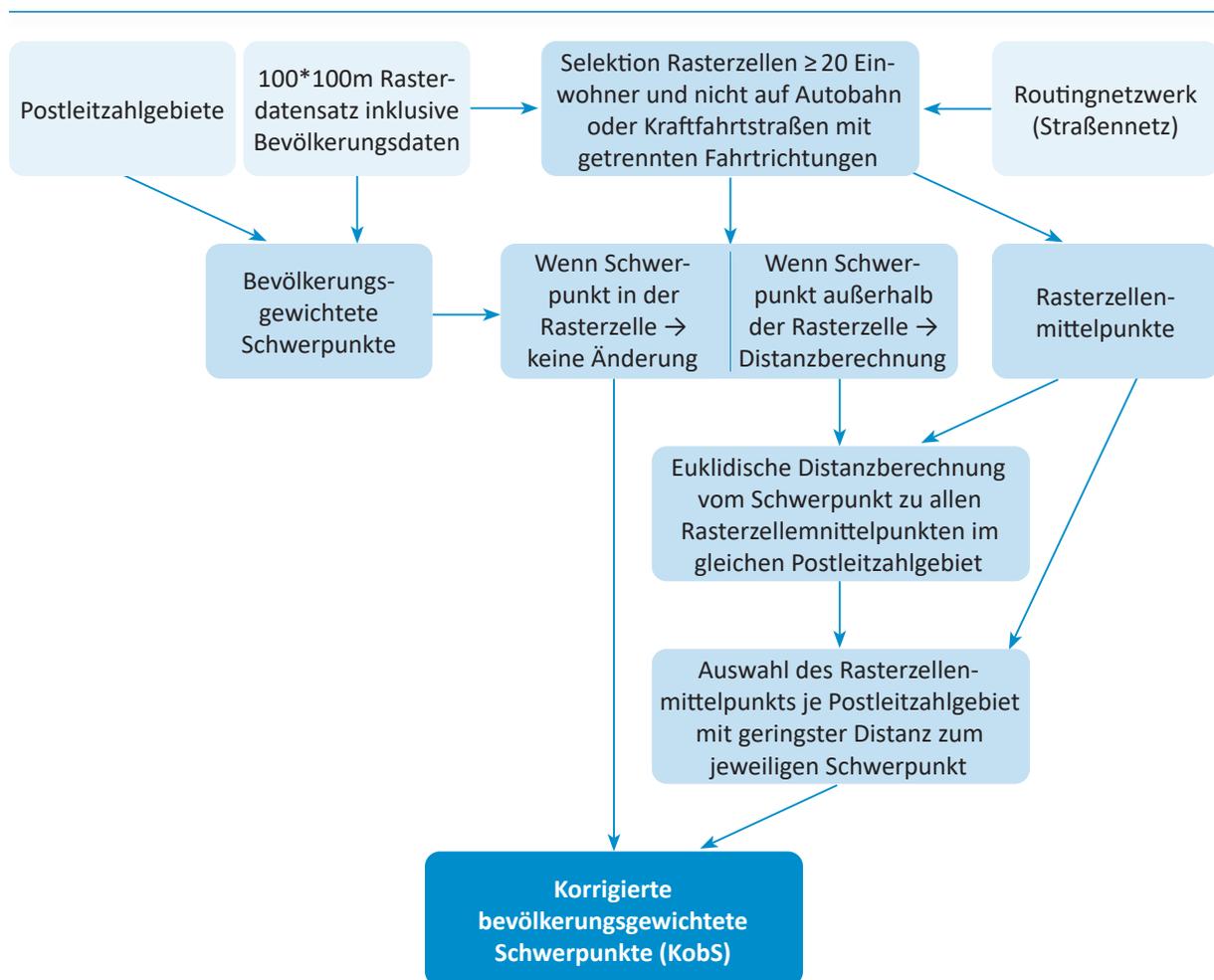
Im nächsten Schritt wurden die bevölkerungsgewichteten Schwerpunkte korrigiert. Die Europäische Union (EU) definiert hohe Bevölkerungsdichte als Gruppen oder Cluster von Rasterzellen mit einer Bevölkerungsdichte von mindestens 1.500 Einwohnern/km<sup>2</sup> und einer Gesamtbevölkerung von mindestens 50.000 Einwohnern, mittlere Bevölkerungsdichte als städtische Cluster (Cluster mit mäßiger Dichte) zusammenhängender Rasterzellen von 1 km<sup>2</sup> (einschließlich Diagonalen) mit einer Bevölkerungsdichte von mindestens 300 Einwohnern/km<sup>2</sup> und einer Mindestbevölkerung von 5.000 Einwohnern, niedrige Bevölkerungsdichte als ländliche Rasterzellen, die nicht als städtische Zentren oder als städtische Cluster identifiziert werden [11].

Nimmt man die Definition einer hohen Bevölkerungsdichte an, entsprechen 1.500 Einwohner/km<sup>2</sup> 15 Einwohnern in einer 100m\*100m-Rasterzelle. Um der dichteren Besiedlung in Westfalen-Lippe (ca. 380 Einwohner/km<sup>2</sup>) gegenüber dem EU-Durchschnitt (118,2 Einwohner/km<sup>2</sup>) [12] Rechnung zu tragen, wurden in der vorliegenden Methodik 20 Einwohner je 100m\*100m-Rasterzelle angenommen. Darüber hinaus hatte dieser Grenzwert den Vorteil, dass in jedem PLZ-Gebiet im Studiengebiet eine Rasterzelle mit mindestens 20 Einwohnern vorlag. Alle Rasterzellen mit mindestens 20 Einwohnern wurden ausgewählt. Um Schwerpunkte auf Autobahnen zu vermeiden, wurden mithilfe des Straßennetzes alle Rasterzellen ausgeschlossen, die durch eine Autobahn geschnitten wurden. Circa 38,5 % aller Rasterzellen in Westfalen-Lippe wiesen 20 oder mehr Einwohner auf und lagen nicht auf einer Autobahn.

Anschließend wurden die euklidischen Distanzen zwischen den geometrischen Schwerpunkten der ausgewählten Rasterzellen und den bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten der PLZ-Polygone ermittelt. Je PLZ wurde nun die ausgewählte Rasterzelle mit der geringsten euklidischen Distanz zum bevölkerungsgewichteten Schwerpunkt bestimmt. Der Mittelpunkt dieser Rasterzelle stellt den korrigierten bevölkerungsgewichteten Schwerpunkt des PLZ-Polygons dar (**Abbildung 1**).

### Evaluierung der korrigierten bevölkerungsgewichteten Schwerpunkte

Evaluert wurden die KobS mittels einer Erreichbarkeitsanalyse von drei verschiedenen Arztgruppen: Hausärzten, fachärztlichen Internisten und Orthopäden. Dabei wurde die schnellste Route optimiert nach Fahrtzeit in Minuten zum nächsten Standort der Arztgruppe berechnet. Die Strecke wurde anhand der Fahrtzeit berechnet, wobei private Straßen, *Roads for Authorities*



**Abbildung 1:** Flussdiagramm zur Berechnung der korrigierten bevölkerungsgewichteten Schwerpunkte (KobS)

und *Service Roads* sowie Fußgängerzonen aus der Netzwerkanalyse ausgeschlossen wurden. Die Minuten wurden auf Basis von hierarchischen Geschwindigkeitsprofilen berechnet, welche abhängig von der Lage der Straße (inner-/außerorts) entsprechend der *Build-up Area* und der Straßenklasse des TomTom Datensatzes eine Durchschnittsgeschwindigkeit zwischen 10 km/h und 100 km/h aufwiesen.

## Ergebnisse

Von 410 PLZ-Gebieten in Westfalen-Lippe wurde für 282 (68,8 %) der bevölkerungsgewichtete Schwerpunkt korrigiert. Bei 128 PLZ-Gebieten (31,2 %) lag der bevölkerungsgewichtete Schwerpunkt bereits in Rasterzellen ohne Autobahn, wobei die Einwohnerzahl mindestens 20 betrug. Die geometrischen Schwerpunkte unterschieden sich von den bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten im Durchschnitt um 906,8 m euklidische Distanz und von den KobS um 970,8 m. Die durchschnittliche Distanz zwischen den bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten und den KobS lag bei 208,6 m euklidische Distanz, wobei die höchste Distanz mit 2.520,3 m in der Gemeinde Unna gemessen wurde.

In **Abbildung 2A** ist zu erkennen, dass die geometrischen Schwerpunkte häufig fernab von Siedlungen verortet sind. Der in der Abbildung erkennbare geometrische Schwerpunkt des PLZ-Gebietes liegt in der Möhnetalsperre.

Einige der bevölkerungsgewichteten Schwerpunkte liegen außerhalb ihrer PLZ-Gebiete, zum Teil sogar außerhalb der Grenzen Westfalens im Bundesland Niedersachsen, wie im Beispiel Lotte in **Abbildung 2B** sichtbar wird.

Andere bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte, vor allem im ländlichen Raum liegen weit entfernt von Straßen und bewohntem Gebiet (**Abbildung 2C**). Ein Routing von diesem, im Süden Hagens gelegenen Schwerpunkt, würde an einem Waldweg beginnen und es werden ca. 4 Minuten (bzw. 1,8 km) benötigt, bevor man die nächste größere Straße erreicht.

Weitere Verzerrungen können auftreten, wenn ein bevölkerungsgewichteter Schwerpunkt, wie in **Abbildung 2D** im Norden Lüdenscheids, auf einer Autobahn liegt. Die Zeiten können so zum einen deutlich kürzer werden. Zum anderen könnten sie sich aber auch verlängern, wenn der

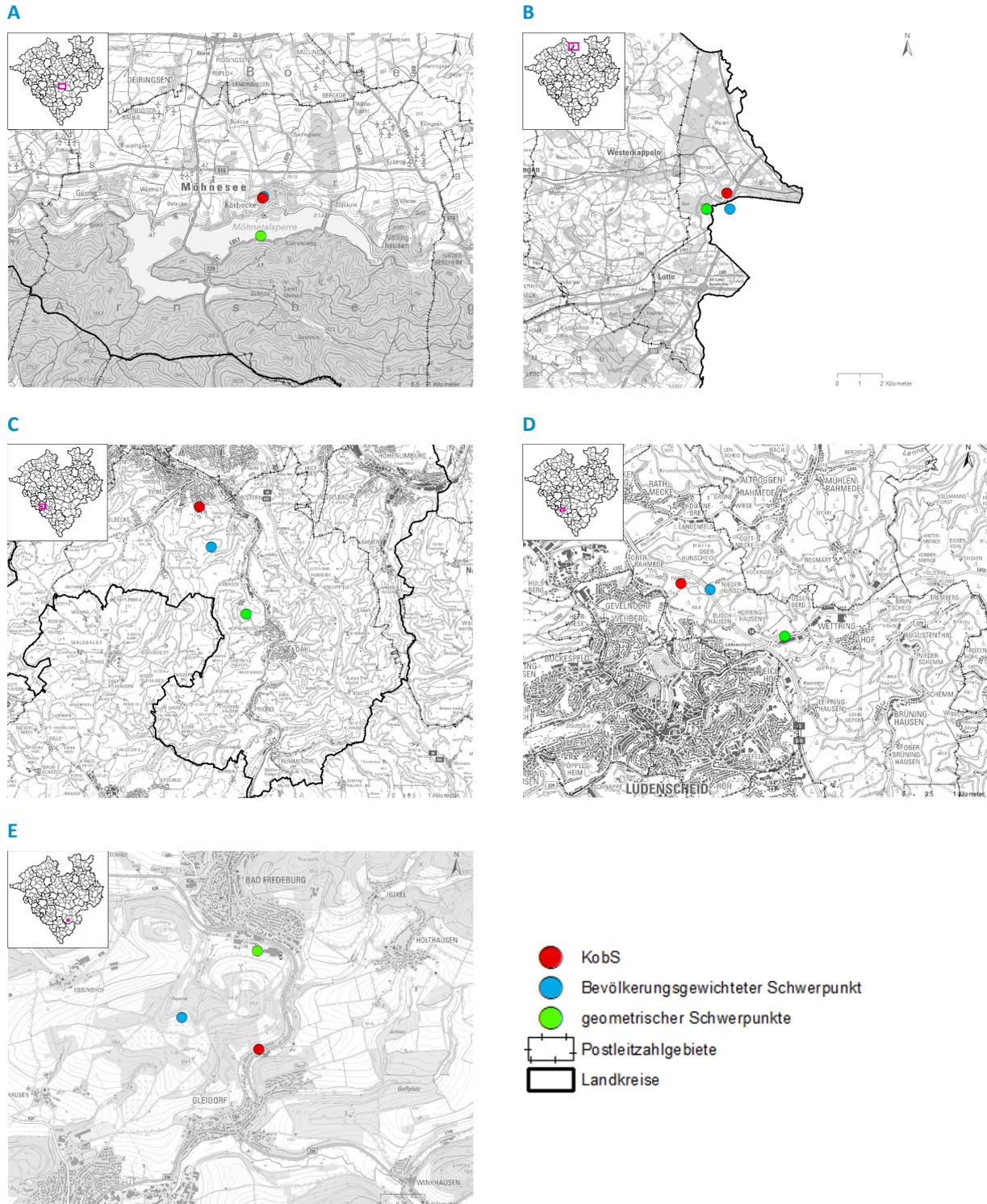
Punkt auf der falschen Autobahnspur liegt und beim Routing an der nächstgelegenen Abfahrt erst die Richtung gewechselt werden muss.

**Abbildung 2E** zeigt, dass die KobS gegenüber den bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten beim Routing im Vorteil sind. Beispielsweise liegt der bevölkerungsgewichtete Schwerpunkt in Schmallenberg auf einem Berg, während der KobS an einer größeren Straße gelegen ist. Auch in anderen PLZ-Gebieten ist zu erkennen, dass sich die KobS unmittelbar an Straßen befinden. Dadurch ist gewährleistet, dass ein Routingverfahren repräsentativere Routingwege nutzt als die geometrischen oder bevölkerungsgewichteten Schwerpunkte.

Um die Auswirkungen der KobS auf die Fahrtzeit zu überprüfen, wurden Netzwerkanalysen von den unterschiedlichen Schwerpunkten zu den drei Arztgruppen Hausärzte, fachärztliche Internisten und Orthopäden durchgeführt. In **Tabelle 1** sind die Ergebnisse im Durchschnitt aller PLZ-Gebiete dargestellt. Bei allen untersuchten Arztgruppen war die durchschnittliche Fahrtzeit zum nächsten Praxisstandort vom geometrischen Schwerpunkt aus am längsten und die vom KobS am kürzesten. Der Unterschied zwischen dem geometrischen und dem bevölkerungsgewichteten Schwerpunkt lag bei allen drei Arztgruppen bei 1,0 bis 1,2 Minuten. Der Unterschied zwischen dem bevölkerungsgewichteten Schwerpunkt und dem KobS lag bei 0,2 bis 0,3 Minuten. Demnach konnte eine Reduktion der Fahrtzeit von KobS gegenüber den bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten bei Hausärzten um 10,3 %, bei fachärztlichen Internisten um 2,4 % und bei Orthopäden um 2,6 % festgestellt werden.

**Abbildung 3** beschreibt die Differenz der Fahrtzeit zwischen bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten und KobS. In den blau gekennzeichneten PLZ-Gebieten konnten im Vergleich zu bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten höhere, in den grün gekennzeichneten PLZ-Gebieten geringere Fahrtzeiten detektiert werden. Aus der räumlichen Verteilung zeichnete sich kein Muster ab und die Fahrtzeitdifferenzen in den einzelnen PLZ-Gebieten waren in jeder der untersuchten Arztgruppen räumlich zufallsverteilt (Moran's  $I_p > 0,05$ ).

Bei Betrachtung einzelner PLZ-Gebiete konnten Fahrtzeitunterschiede zwischen bevölkerungsgewichtetem Schwerpunkt und KobS von  $\min = -11$  Minuten (PLZ 32825, Kreis Lippe) und  $\max = 9$  Minuten (PLZ 48432, Kreis Steinfurt)



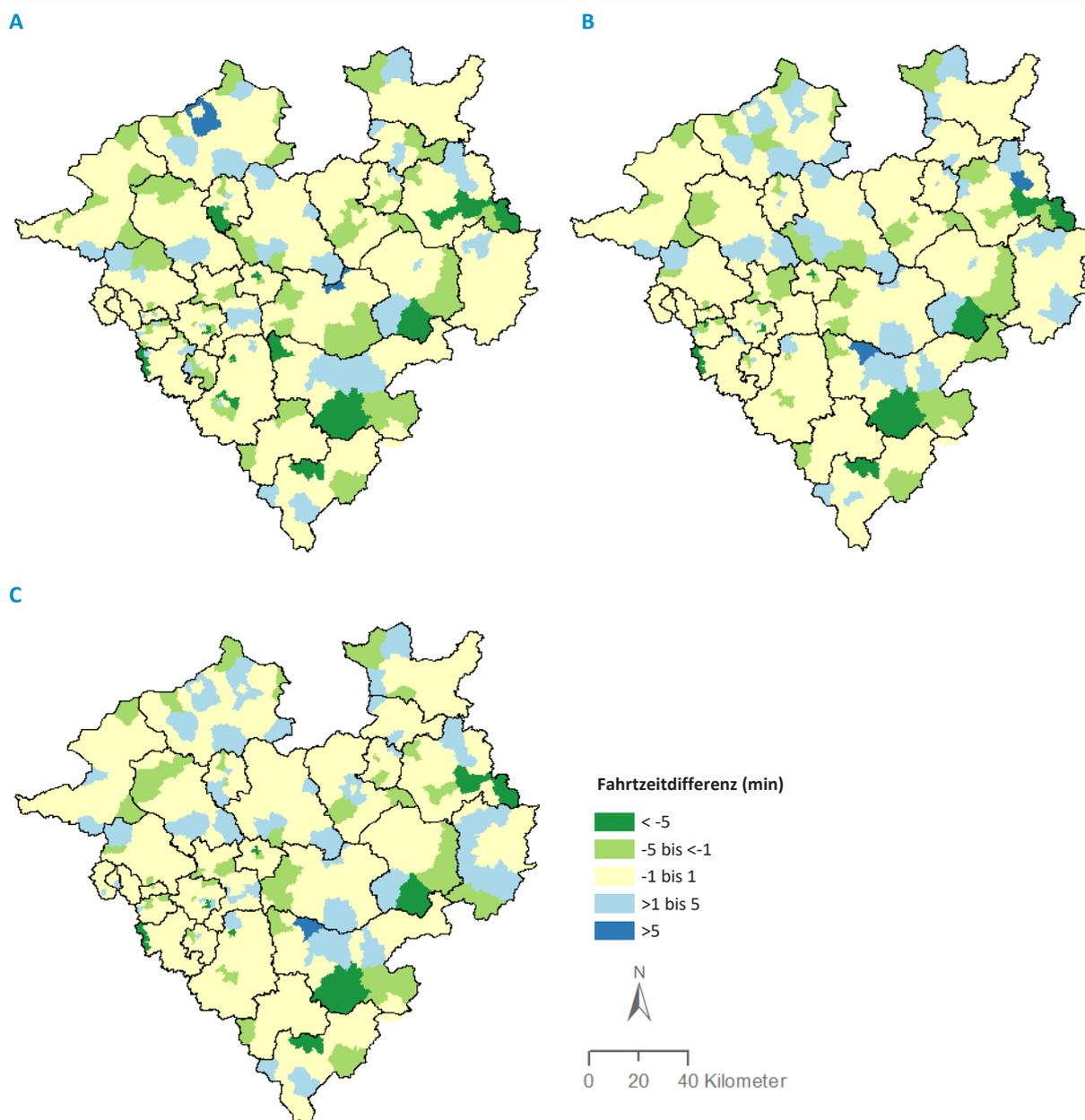
**Abbildung 2:** Vergleich zwischen bevölkerungsgewichtetem Schwerpunkt und korrigiertem bevölkerungsgewichtetem Schwerpunkt (KobS); geometrischer Schwerpunkt außerhalb von bewohntem Gebiet, hier: in einem See (A), bevölkerungsgewichteter Schwerpunkt in einem anderen Bundesland (B), bevölkerungsgewichteter Schwerpunkt außerhalb von bewohntem Gebiet, hier: auf einem Berg mit Feldwegen (C, E), bevölkerungsgewichteter Schwerpunkt auf einer Autobahn (D)

Kartengrundlage: [https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms\\_nw\\_dtk?](https://www.wms.nrw.de/geobasis/wms_nw_dtk?) [09.12.2020]

**Tabelle 1:** Durchschnittliche Fahrtzeiten zum nächsten Praxisstandort bei verschiedenen Arztgruppen in Westfalen-Lippe nach unterschiedlichen Startpunkten

	Fahrtzeit zum nächsten Praxisstandort		
	Hausarzt	Internist	Orthopäde
Geometrischer Schwerpunkt	4,4 min	9,7 min	9,0 min
Bevölkerungsgewichteter Schwerpunkt	3,2 min	8,7 min	7,8 min
KobS	2,9 min	8,5 min	7,6 min

KobS, korrigierter bevölkerungsgewichteter Schwerpunkt



**Abbildung 3:** Differenz in der Fahrtzeit zwischen korrigierten bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten (KobS) und bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten in Minuten (min) zum nächsten Hausarzt (A), zum nächsten fachärztlichen Internisten (B), zum nächsten Orthopäden (C)

zum nächsten Hausarzt, min = -10 Minuten (PLZ 32825, Kreis Lippe) und max = 7 Minuten (PLZ 59823, Hochsauerlandkreis) zum nächsten fachärztlichen Internisten sowie min = -13 Minuten (PLZ 32825, Kreis Lippe) und max = 7 Minuten (PLZ 59823, Hochsauerlandkreis) zum nächsten Orthopäden detektiert werden.

**Tabelle 2** zeigt die Fahrdistanzunterschiede, die sich ergeben, wenn man als Startpunkte bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte und KobS

gegenüberstellt. Die Angaben sind als Mittelwerte nach Kreisen dargestellt. Die Kreise mit der niedrigsten Bevölkerungsdichte (Höxter, Hochsauerlandkreis und Olpe) zeigen die größten Fahrtzeitunterschiede in Minuten zum nächsten Hausarzt. Mittels Korrelation der Bevölkerungsdichte und der Fahrtzeitdifferenz bzw. der absoluten Fahrtzeitdifferenz wurde diese Assoziation überprüft. Es zeigten sich jedoch für keine der untersuchten Arztgruppen signifikante Ergebnisse.

**Tabelle 2:** Distanzen und Fahrdistanzunterschiede zwischen bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten und korrigierten bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten (KobS) sowie Einwohner und Bevölkerungsdichte nach Kreisen

Kreis	Distanz (in m)	Differenz Weg zum			Einwohner	Bevölkerungs- dichte (Einwohner/km <sup>2</sup> )
		Hausarzt (in min)	Internisten (in min)	Orthopäden (in min)		
Bielefeld	99,1	-0,2	0,2	0,1	333.451	1.289,4
Bochum	101,6	-0,5	-0,5	-0,4	364.920	2.506,0
Borken	249,6	-0,4	-0,2	-0,1	369.226	259,9
Bottrop	82,4	0,0	0,0	0,3	117.409	1.167,1
Coesfeld	191,8	-0,7	-0,2	-0,1	219.019	197,1
Dortmund	74,1	-0,3	-0,2	-0,1	585.813	2.088,2
Ennepe-Ruhr-Kreis	172,6	-0,2	-0,4	-0,4	325.374	794,8
Gelsenkirchen	58,1	0,0	-0,1	-0,1	262.528	2.502,0
Gütersloh	193,1	0,2	0,1	0,2	361.828	373,6
Hagen	230	0,2	-0,1	-0,2	188.266	1.173,7
Hamm	114,2	-0,7	-0,7	-0,5	179.571	793,5
Herford	242,7	0,1	0,1	0,0	251.074	557,9
Herne	57,4	-0,3	-0,6	-0,6	156.774	3.049,9
Hochsauerlandkreis	549,4	-1,0	-0,4	-0,5	262.269	133,9
Höxter	450	-1,1	-0,9	-0,5	141.855	118,2
Lippe	364,2	-0,9	-0,7	-0,7	348.933	280,2
Märkischer Kreis	130,3	-0,6	-0,4	-0,5	414.886	391,2
Minden-Lübbecke	253,3	0,1	0,2	0,1	311.866	270,8
Münster	111,4	-0,3	0,5	0,3	311.846	1.028,7
Olpe	354	-1,1	-1,2	-0,7	134.983	189,7
Paderborn	240,5	-0,6	-0,3	-0,3	305.198	245,0
Recklinghausen	142,5	-0,2	-0,2	-0,1	617.195	811,0
Siegen-Wittgenstein	306,2	-0,6	-0,9	-0,4	277.933	245,5
Soest	274,5	0,1	0,3	0,3	301.655	210,6
Steinfurt	337,5	-0,1	0,1	0,0	444.409	247,6
Unna	253,5	0,1	-0,1	0,1	393.869	725,5
Warendorf	265,4	0,0	0,4	0,4	277.744	227,2

## Diskussion

Wichtig für eine Netzwerkanalyse ist ein geeigneter Start- und Zielort. Der Startort stellt in den meisten Fällen einen repräsentativen Punkt einer Bevölkerungsgruppe für eine bestimmte Raumeinheit dar. Im vorliegenden Beispiel wurden PLZ-Gebiete als Raumeinheit gewählt, da sie für zahlreiche gesundheitsplanerische Prozesse und Bewertungen in der Praxis von hoher Bedeutung sind [13]. Die möglichst repräsentative Verortung eines Startpunktes als Versorgungsstandort ist für eine patientenorientierte Gesundheitsplanung unerlässlich. Die Verwendung von geometrischen oder bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten als Startpunkte in Raumeinheiten, wie z. B. Kreisen, Gemeinden oder PLZ-Gebieten, haben zum Teil gravierende Schwächen. Ein Schwerpunkt unmittelbar auf einem Schenkel des Routingnetzwerks, das hohe Fahrgeschwindigkeiten ermöglicht, wie ein Schwerpunkt auf einer Autobahn (**Abbildung 2D**), verkürzt die Fahrtzeiten deutlich und kann die reale Wohnsituation der Bevölkerung in einem PLZ-Gebiet nicht darstellen. Eine verlängerte Fahrtzeit hat zur Konsequenz, dass das Gebiet schlechter bewertet wird, als es tatsächlich ist.

Im umgekehrten Fall verringert ein Schwerpunkt auf einem nur mit niedrigen Geschwindigkeiten befahrbaren Schenkel des Routingnetzwerks, wie z. B. ein Schwerpunkt auf einem Feldweg, der serpentinartig einen Berg hinaufführt (**Abbildung 2C**), die Erreichbarkeit von anderen Standorten zum Teil deutlich, kann jedoch ebenfalls nicht als repräsentativ für einen Wohnstandort der Bevölkerung im entsprechenden PLZ-Gebiet angesehen werden. Sollte, wie in diesem zuletzt genannten Beispiel, ein Startpunkt für eine Routinganalyse an einem Feldweg (Maximalgeschwindigkeit 10 km/h und 3,5 km bzw. 11,2 min. zwischen dem bevölkerungsgewichteten Schwerpunkt und dem ersten Netzwerkschenkel mit einer Maximalgeschwindigkeit von >10 km/h) starten, so wird die Versorgungssituation der Menschen vor Ort falsch eingeschätzt. Im ungünstigsten Fall werden Maßnahmen getroffen, die dem gesundheitsplanerischen Bedarf nicht entsprechen. KobS stellen aus diesem Grund eine sinnvolle Alternative dar. Mit ihnen kann eine genauere, flächendeckend bevölkerungsspezifische Gesundheitsplanung betrieben werden.

Es hat sich gezeigt, dass die Fahrtzeitdifferenzen bei der Verwendung von KobS gegenüber bevölkerungsgewichteten Schwerpunkten in den Kreisen mit der niedrigsten Bevölkerungsdichte am

höchsten waren. Jedoch lag keine signifikante Korrelation über alle Kreise vor. Zwei der Kreise mit niedrigster Bevölkerungsdichte werden laut siedlungsstruktureller Kreistypisierung des Bundesamtes für Bauwesen und Raumordnung (BBSR) als ländliche Kreise mit Verdichtungsansätzen eingestuft. Alle anderen Kreise im Untersuchungsgebiet Westfalen-Lippe gehören den kreisfreien Großstädten oder den städtischen Kreisen an. Der siedlungsstrukturelle Kreistyp des dünn besiedelten ländlichen Kreises kommt in Westfalen-Lippe nicht vor. Es ist denkbar, dass die Verwendung von KobS in Untersuchungsgebieten mit niedrigerer Bevölkerungsdichte zu noch stärkeren Korrekturen führt. Dies könnte in weiteren Studien überprüft werden. In einigen städtischen Regionen des Untersuchungsgebiets ergab sich durch die Bestimmung des KobS keine Korrektur des bevölkerungsgewichteten Schwerpunktes. In anderen erfolgte hingegen eine deutliche Korrektur. Hintergrund waren z. B. bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte auf Autobahnen, außerhalb des Untersuchungsgebietes oder in nicht besiedelten Regionen. Um solche Fälle abzufangen, lohnt sich die Bestimmung und Nutzung von KobS unabhängig von der Bevölkerungsdichte.

In vorhergehenden Studien werden auch kleinräumigere Einheiten zur Analyse von Erreichbarkeiten verwendet. Mueller et al. [14] bzw. Völker [15] verwendeten Rasterzellen, um Erreichbarkeiten von Apotheken bzw. in einer Location-Allocation-Analyse die optimalen Standorte von Corona-Versorgungszentren zu berechnen. Pearce et al. [16] nutzten Blockdaten, um die Erreichbarkeit von Gesundheitseinrichtungen zu analysieren. KobS können auch für kleinräumigere Einheiten berechnet werden, jedoch ist zu bedenken, dass diese häufig stärkeren Restriktionen bezüglich Verfügbarkeit und Datenschutz unterliegen [17].

Anstatt der in der vorliegenden Methodik verwendeten Bevölkerungsraster könnten beispielsweise auch Siedlungsflächen oder Satellitenbilder als Gewichtsfeatures verwendet werden. Diese wurden ausgeschlossen, da Siedlungsflächen auf unterschiedlichen Definitionen beruhen können. Beispielsweise unterscheidet das Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung zwischen baulich geprägten Siedlungsflächen und Siedlungsfreiflächen, zu denen Wohnen, Industrie, Gewerbe, gemischte Nutzung, funktional geprägte Siedlungsflächen ebenso wie Parks, Grünanlagen, Friedhöfe, Kleingärten, Camping sowie Sport- und Freizeitanlagen zählen [18]. Die EU hingegen definiert

Siedlungsflächen als künstlich angelegte Flächen, die Wohnen, Industrie, Gewerbe, Infrastrukturflächen für Gesundheit, Bildung und Betreuung sowie Straßen, Schienen und Erholungsflächen beinhalten [19]. Dies wären alle Flächen, die nicht landwirtschaftlich genutzt, naturnah bzw. Wald oder Gewässer sind. Während Verkehr vom Leibniz-Institut als eigene Kategorie definiert wird, behandelt ihn die EU-Planung als Teil der Siedlungsflächen. Außerdem existieren sowohl für Siedlungsflächen als auch für Satellitenbilder keine Bevölkerungszahlen. Diese müssten z. B. auf Basis von Rasterdaten oder mittels Modellierung hinzugefügt werden. Eine konkrete Verteilung der Bevölkerung, die mit Gesundheitsmaßnahmen erreicht werden soll, wäre daher schwierig abzubilden.

Der Schwellenwert, der eine hohe Bevölkerungsdichte definiert und als Einschlusskriterium von Rasterzellen bei der Auswahl für KobS dient, sollte sorgfältig gewählt werden. Amtliche Definitionen wie von Eurostat [11] sind eine Möglichkeit. Es bietet sich jedoch an, die lokalen Gegebenheiten, wie z. B. Bevölkerungsdichte, Einwohnerzahl und -verteilung mit der Grundlage für die amtliche Definition zu vergleichen. Bei stärkeren Abweichungen kann eine Anpassung des Schwellenwertes angemessen sein. So führt eine Anhebung des Schwellenwertes wie im vorliegenden Beispiel bei einer Region mit tendenziell höherer Bevölkerungsdichte zu einer Betonung der im Untersuchungsgebiet verhältnismäßig dichter besiedelten Regionen. In Untersuchungsgebieten mit insgesamt unterdurchschnittlicher Bevölkerungsdichte könnte eine Absenkung des Schwellenwertes hilfreich sein, um zu vermeiden, dass gar keine oder nur sehr wenige Rasterzellen als Auswahl zur Verfügung stehen und dadurch die Bevölkerungsverteilung schlecht repräsentiert wird.

KobS können nicht nur in der Gesundheitsplanung zu exakteren und repräsentativeren Ergebnissen führen, sondern auch in der Gesundheitsforschung. Abzugrenzen wären die KobS jedoch von Analysen, die keine Netzwerkanalyse beinhalten. Diese Analysen, wie z. B. Clusteranalysen oder räumlich gewichtete Regressionen, benötigen häufig keinen repräsentativen Startpunkt für ihre Analyse, sondern einen möglichst exakten theoretischen Bevölkerungsschwerpunkt einer Raumeinheit, unabhängig von Routingnetzwerken [20–22]. Hierfür sind bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte besser geeignet.

## Limitationen

Die KobS sollten nur für Routinganalysen verwendet werden. Dieser Fokus ist wichtig, da die Korrektur die Ergebnisse in anderen Anwendungen verfälschen würde. Bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte sind geeignet, um die Entwicklung des Bevölkerungsschwerpunktes im Zeitverlauf aufzuzeigen [23]. In dieser Analyse wird kein Routing angewendet, eine weitere Korrektur der Schwerpunkte würde die Qualität der Ergebnisse verringern. Holt et al. benutzten bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte für die Modellierung eines Responseystems des öffentlichen Gesundheitswesens auf Naturkatastrophen, wie z. B. auf einen Hurrikan im Gebiet des Golfs von Mexiko [24]. Auch hier wurden keine Fahrdistanzberechnungen durchgeführt und eine weitere Korrektur der Schwerpunkte würde die Ergebnisse verzerren.

Die Bestimmung des Schwellenwertes, ab welcher Bevölkerungsdichte Rasterzellen in die Auswahl für KobS aufgenommen werden, ist von der Siedlungsstruktur im Untersuchungsgebiet abhängig. Unterschiedliche Schwellenwerte können unterschiedliche Ergebnisse erzielen. Eine grundsätzliche Anlehnung an amtliche Vorgaben kann hier Abhilfe schaffen. Sinnvoll erscheint jedoch auch die Berücksichtigung lokaler Besonderheiten des Untersuchungsgebietes. Weiterführende Studien könnten diesen Aspekt analysieren.

Die Auswahl einer einzelnen Rasterzelle mit einer bestimmten Bevölkerungsdichte als KobS kann dazu führen, dass der KobS in einem sehr kleinen Ort liegt, während sich in der Nähe eine größere Siedlung befindet, die ggf. repräsentativer als Startpunkt für Routinganalysen wäre. Ein Beispiel ist in **Abbildung 2D** zu sehen. Um solche Fälle zu vermeiden ist ein Ansatz denkbar, der nicht nur einzelne Zellen, sondern Gruppen direkt benachbarter Zellen ab einer bestimmten Bevölkerungsdichte als potenzielle KobS berücksichtigt. Zusätzlich könnte eine Mindestbevölkerungszahl in der Siedlung definiert werden. Beschrieben ist dieser Ansatz z. B. bei Eurostat zur Definition verschiedener Siedlungsclustertypen [11]. Die Bestimmung von KobS würde dadurch deutlich aufwändiger. Inwieweit hier Aufwand und Nutzen im Verhältnis stehen, sollte näher untersucht werden.

## Schlussfolgerungen

Obwohl im Vergleich sowohl längere als auch kürzere Fahrtzeiten für die KobS zu Praxisstandorten verschiedener Arztgruppen detektiert werden können, bilden KobS die wohnortbezogene Realität der zu versorgenden Bevölkerung in Routinganalysen besser ab als geometrische oder bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte. KobS eignen sich vor allem dann, wenn durch rechtliche Vorgaben oder durch den Mangel an verfügbaren Daten keine kleinräumigeren Analysen möglich sind und auf PLZ-Gebiete oder gar größere Raumeinheiten zurückgegriffen werden muss.

Gerade in der Gesundheitsplanung ist die Genauigkeit von Routinganalysen von besonderer Bedeutung, da andernfalls die Erreichbarkeit von Gesundheitseinrichtungen über- oder unterschätzt werden kann und somit eine falsche Planungsgrundlage bestünde. Insbesondere in ländlichen Gebieten zeigten sich große Distanzen zwischen dem bevölkerungsgewichteten Schwerpunkt und dem KobS. Aber auch in städtisch geprägten Regionen fanden Korrekturen statt. Die mit dieser Methode berechneten KobS eignen sich besser für die Verwendung in Routinganalysen als geometrische oder bevölkerungsgewichtete Schwerpunkte, da sie die Lebenswirklichkeit der zu versorgenden Bevölkerung besser abbilden.

## Literaturverzeichnis

1. Goldberg D, Jacquez GM, Mullan N. Geocoding and health. In: Boscoe FP (Hg.). Geographic health data. Fundamental techniques for analysis. Wallingford, Oxfordshire: CAB International 2013; ISBN 9781780640891. 51–71.
2. Boscoe FP (Hg.). Geographic health data. Fundamental techniques for analysis. Wallingford, Oxfordshire: CAB International 2013; ISBN 9781780640891.
3. Goldberg DW. A geocoding best practices guide. Los Angeles, USA: University of Southern California 2008.
4. Comber A, Zeng W. Spatial interpolation using areal features: A review of methods and opportunities using new forms of data with coded illustrations. Geogr Compass 2019; 13: e12465.
5. Hwang H-L, Rollow J. Data processing procedures and methodology for estimating trip distances for the 1995 American Travel Survey (ATS). Oak Ridge National Lab., TN (US) 2000. Report No.: ORNL/TM-2000/141.
6. Luo W, Wang F. Measures of spatial accessibility to health care in a GIS environment: synthesis and a case study in the Chicago region. Environ Plann B Plann Des 2003; 30(6): 865–84.
7. Yang D-H, Goerge R, Mullner R. Comparing GIS-based methods of measuring spatial accessibility to health services. J Med Syst 2006; 30: 23–32.
8. Gemeinsamer Bundesausschuss. Tragende Gründe zum Beschluss des Gemeinsamen Bundesausschusses über die Korrektur der Regelungen für die Vereinbarung von Sicherstellungszuschlägen gemäß § 136c Absatz 3 des Fünften Buches Sozialgesetzbuch (SGB V): Ermittlung der PKW-Fahrtzeiten. Vom 18.06.2020. URL: [https://www.g-ba.de/downloads/40-268-6672/2020-06-18\\_SiZuR\\_PKW-Fahrtzeiten\\_TrG.pdf](https://www.g-ba.de/downloads/40-268-6672/2020-06-18_SiZuR_PKW-Fahrtzeiten_TrG.pdf) [letzter Zugriff: 17.02.2021].

9. Esri. Funktionsweise des Werkzeugs „Arithmetischer Mittelpunkt“—ArcMap | Dokumentation. URL: <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/h-how-mean-center-spatial-statistics-works.htm> [letzter Zugriff: 10.02.2021].
10. Esri. Mittelwert für Mittelpunkt (Spatial Statistics)—ArcMap | Dokumentation. URL: <https://desktop.arcgis.com/de/arcmap/latest/tools/spatial-statistics-toolbox/mean-center.htm> [letzter Zugriff: 10.02.2021].
11. Eurostat. Methodological manual on territorial typologies – 2018 edition. Luxemburg 2019.
12. Statista. EU – Bevölkerungsdichte in den Mitgliedsstaaten 2018. URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/74693/umfrage/bevoelkerungsdichte-in-den-laendern-der-eu> [letzter Zugriff: 10.02.2021].
13. Wilkins R. Use of postal codes and addresses in the analysis of health data. *Health Rep* 1993; 5(2): 157–77.
14. Mueller C, Beyel S, Klein U. Barrierefreie Erreichbarkeit von Einrichtungen der lokalen Daseinsvorsorge und Raumattraktivität für Senioren: GIS-basierte demographische Betroffenheitsanalyse und kartographische Darstellungen zur Erkenntnisgewinnung. *KN J Cartogr Geogr Inf* 2017; 67: 202–9.
15. Völker S. Stellen geographische Methoden eine gerechte und effiziente Gesundheitsversorgung während einer Pandemie sicher? COVID-19 als Zäsur? Arbeitskreis Medizinische Geographie und Geographische Gesundheitsforschung in der Deutschen Gesellschaft für Geographie (Hg.). Dortmund 2020. URL: [https://wp.med-geo.de/wp-content/uploads/2020/10/COVID19-Zaesur\\_Beitrag\\_Voelker.pdf](https://wp.med-geo.de/wp-content/uploads/2020/10/COVID19-Zaesur_Beitrag_Voelker.pdf) [letzter Zugriff: 10.02.2021].
16. Pearce J, Witten K, Bartie P. Neighbourhoods and health: a GIS approach to measuring community resource accessibility. *J Epidemiol Community Health* 2006; 60(5): 389–95.
17. Hodgson S, Fecht D, Gulliver J, et al. Availability, access, analysis and dissemination of small-area data. *Int J Epidemiol* 2020; 49: i4–14.
18. Leibniz-Institut für ökologische Raumentwicklung. Monitor der Siedlungs- und Freiraumentwicklung (IÖR-Monitor). Siedlungsfläche. Dresden 2021. URL: <https://www.ioer-monitor.de/methodik/glossar/s/siedlungsflaeche> [letzter Zugriff: 10.02.2021].
19. Europäische Kommission. Leitlinien für bewährte Praktiken zur Begrenzung, Milderung und Kompensierung der Bodenversiegelung. Arbeitsunterlage der Kommissionsdienststellen. Luxemburg: Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Union 2012. URL: [https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil\\_de.pdf](https://ec.europa.eu/environment/soil/pdf/guidelines/pub/soil_de.pdf) [letzter Zugriff: 17.02.2021].
20. Tsai P-J, Lin M-L, Chu C-M, Perng C-H. Spatial autocorrelation analysis of health care hot-spots in Taiwan in 2006. *BMC Public Health* 2009; 9: 464.
21. Völker S. Die Inanspruchnahme der ambulanten Notfallversorgung in Westfalen-Lippe: eine medizingeographische Studie. *Gesundheitswesen* 2019; 81(6): 471–7.
22. Völker S. Geografische Cluster der Unterimmunisierung gegen Influenza bei über 60-Jährigen am Beispiel Westfalen-Lippe. *Gesundheitswesen* 2020; 82(5): 413–21.
23. Yu S, Zhang Z, Liu F. Monitoring population evolution in China using time-series DMSP/OLS nightlight imagery. *Remote Sens* 2018; 10(2): 194.
24. Holt JB, Mokdad AH, Ford ES, Simoes EJ, Mensah GA, Bartoli WP. Use of BRFSS data and GIS technology for rapid public health response during natural disasters. *Prev Chronic Dis* 2008; 5(3): A97.