



# Welches Potenzial haben Geoinformationssysteme für das bevölkerungsweite Gesundheitsmonitoring in Deutschland?

## Perspektiven und Herausforderungen für das Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut

### Einleitung

Bereits seit vielen Jahren werden in den Gesundheitswissenschaften geografische Methoden verwendet. Zu den berühmtesten Anwendungen gehört die Bestimmung des Cholera-Ausbruchsherdes bei der Londoner Epidemie von 1854 durch John Snow. Durch die Kartierung der durch Cholera verursachten Todesfälle in einem Stadtplan gelang es, diejenigen Wasserpumpen zu identifizieren, die verunreinigtes Wasser transportierten und durch die sich die Epidemie ausbreiten konnte [1]. Um 1900 wurde die kartografische Darstellung von Gesundheitsdaten zum Bestandteil der damaligen Gesundheitsberichterstattung in Deutschland (▣ **Abb. 1**), um beispielsweise die räumliche Verteilung der Tuberkulosesterblichkeit im Deutschen Reich darzustellen [2].

Seit den 1950er-Jahren begannen die ersten Entwicklungen, die das Zeitalter von computergestützten Geoinformationssystemen (GIS) einläuteten [3]. Seither haben sich die Möglichkeiten für Analysen und Visualisierungen räumlicher Daten erheblich weiterentwickelt [4]. Die traditionelle Methode, die Aus-

breitung von Krankheiten in Form von Karten darzustellen, wird seit Mitte der 1980er-Jahre durch neuere Anwendungen mithilfe von GIS ergänzt. Dabei stehen insbesondere die Analysemöglichkeiten von GIS im Mittelpunkt wissenschaftlicher Beiträge und einer zeitgemäßen Public-Health-Forschung [4, 5].

### Was sind Geoinformationssysteme?

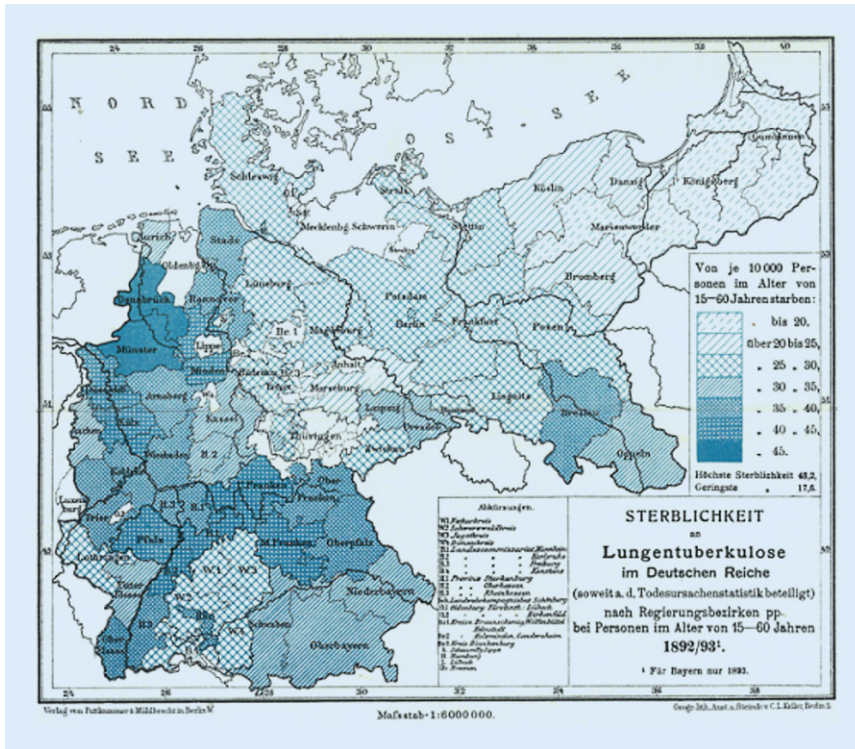
GIS sind rechnergestützte Managementsysteme zur Verarbeitung von Daten mit Raumbezug. Diese bestehen aus Geodaten (Geobasis- bzw. Geofachdaten) und aus Sachdaten, die diesen attributiv zugeordnet werden können. GIS ermöglichen das Erfassen, Verwalten, Integrieren, Verarbeiten, Analysieren und Visualisieren raumbezogener Informationen [3]. Grundsätzlich besteht ein GIS aus fünf Komponenten. Neben der Software und Hardware bilden Daten, Methoden und die Organisation (Prozesse, Ressourcen) die Grundpfeiler des digitalen Systems [6]. GIS stellen wertvolle Werkzeuge dar, um das Verständnis komplexer Zusammenhänge von Gesundheit und Einflussfaktoren zu steigern ([7]; ▣ **Tab. 1**).

Daten werden in einem GIS auf thematischen Schichten, so genannten Lay-

ern, hinterlegt, die miteinander in Beziehung gesetzt werden können. Bei den Geodaten lassen sich Vektor- und Rasterdaten unterscheiden.

Vektordaten (bzw. -layer) lassen sich wiederum in Punkt-, Linien- und Polygonlayer differenzieren. Punktlayer können beispielsweise geografische Koordinaten von Einrichtungen, wie Fast-Food-Restaurants, Arztpraxen oder Spielplätzen, aber auch regional auftretende Ereignisse wie Straftaten oder Krankheitsfälle umfassen. Linienlayer enthalten Informationen zu mehreren zusammenhängenden Punkten (z. B. Straßen oder Grenzen). Polygonlayer beschreiben Flächen, z. B. administrative Gebiete wie Stadtteile oder Postleitzahlengebiete. Beispiele für über Polygonlayer bereitstellende Informationen sind etwa regionale Versorgungsgrade mit Ärzten (sog. Arztdichte) zu regionalen Einheiten wie Stadtgebieten oder Versorgungsregionen. Vektorlayer können auch mit Daten zur Luftverschmutzung im Rasterformat verschnitten werden. Über statistische Analysen können Zusammenhänge hergestellt sowie Raummuster aufgezeigt und visualisiert werden [5, 6]. Ein Anwendungsbeispiel hierfür sind sogenannte „Heatmaps“, die komplexe Daten auch für Laien gut verständlich veranschaulichen (▣ **Abb. 2**).

M. Thißen und H. Niemann teilen sich die Erstautorenschaft.



**Abb. 1** ▲ Sterblichkeit an Lungentuberkulose im Deutschen Reich 1882/93. (Quelle: Kaiserliches Gesundheitsamt und Kaiserliches Statistisches Amt [Hrsg.;1907]; [2])

Dabei werden Karten erstellt, die neben der geografischen Komponente (z. B. Landkarte) die abhängigen Werte einer zweidimensionalen Definitionsmenge als Farben oder als Farbverlauf abbilden (z. B. Temperatur). Der Farbverlauf ist angelehnt an die Temperaturverteilung und verläuft von blau (z. B. kalt) über grün, gelb, orange zu rot (z. B. heiß). Die Darstellung dient dazu, in einer großen Datenmenge intuitiv besonders markante Werte zu erfassen [8].

Rasterdaten sind Geodaten, die auf einer Matrix, d. h. einem Gitter aus horizontalen Zeilen und vertikalen Spalten, als Menge von entweder Bildelementen (Pixel) oder unterschiedlichen Werten (z. B. modellierte Messwerte) in den Zellen gleicher Größe abgebildet werden. Den einzelnen Zellen werden jeweils Werte zugeordnet, durch die der in der Zelle abgebildete Raum beschrieben wird (z. B. die Staubbelastung in einem 1 × 1 km Raster).

## GIS in der Public-Health-Forschung

In den letzten Jahren wurde in der Public-Health-Forschung zunehmend der Ein-

fluss der Umwelt auf die menschliche Gesundheit diskutiert [9–12]. Das transdisziplinäre Fach der Gesundheitsgeografie definiert sich neben inhaltlichen Aspekten auch über die Anwendung von Werkzeugen zur Analyse und Visualisierung räumlicher Daten auf medizinische und gesundheitswissenschaftliche Fragestellungen [9, 11]. Diese Applikationen werden inzwischen als fester Methodenbestandteil in der Public-Health-Forschung verstanden [3, 4, 6, 13, 14].

Der Einsatz von GIS in der Public-Health-Forschung ist vielfältig [7, 12, 15]. Die Einsatzmöglichkeiten lassen sich in drei Bereiche unterteilen: (1) krankheitsökologische Untersuchungen, die sich mit den gesundheitlichen Einflüssen der Umwelt auf die Entstehung von Krankheiten und deren Verbreitung auseinandersetzen, (2) Disparitäten in der Gesundheitsversorgung, also räumliche und soziale Unterschiede, die über den Zugang zu medizinischer Versorgung bestimmen, sowie (3) Risikofaktoren und Ressourcen, zu denen auch Einflüsse der sozialen und physischen Umwelt sowie Lebensstilfaktoren (Gesundheitsverhalten) gehören.

Am längsten wird Gesundheit anhand krankheitsökologischer Ansätze GIS-gestützt untersucht. Dabei werden vorwiegend Studien zur körperlichen und psychischen Gesundheit durchgeführt, die die Beschreibung geografischer Verbreitungsmuster einzelner Erkrankungen unter Berücksichtigung von Mortalität und Einflussfaktoren vorsehen [13, 15]. Diese Art von Analysen liefert wichtige Hinweise zur Ätiologie und zur Epidemiologie von Infektionskrankheiten [16, 17] sowie seit Neuestem vermehrt auch zur Entwicklung altersassoziierter Krankheiten [18–20].

Als zweites Einsatzfeld von GIS in der Public-Health-Forschung gelten die räumlichen Analysen von Disparitäten in der Gesundheitsversorgung. Von besonderer Relevanz sind hierbei die geografischen Analysen [21, 22] des Zuganges zu präventiv ausgerichteten Gesundheitsdienstleistungen (z. B. Lokalisation und Entfernung von Beratungsstellen, Vorsorgezentren und Impfstellen). Des Weiteren gehören zu diesem Einsatzfeld räumliche Auswertungen zur wohnortnahen ambulanten oder stationären Versorgung [23, 24] sowie zur Versorgungsdichte im therapeutischen bzw. rehabilitativen Bereich [23, 25].

Als drittes Einsatzfeld von GIS gilt der Bereich der Risikofaktoren und Ressourcen. Hier wird untersucht, welchen Einfluss Umweltfaktoren auf Gesundheitsdeterminanten (z. B. Gesundheitsverhalten) und Gesundheit haben. Die Merkmale dieses Einsatzfeldes können sowohl in salutogenetischer Hinsicht als Gesundheitsressourcen [7, 26, 27] als auch als Risikofaktoren [17, 28, 29] betrachtet werden. Besonders häufig untersuchte Risikofaktoren sind soziale Disparitäten [30, 31] und Umweltexpositionen (wie z. B. Lärm- oder Feinstaubbelastung [32, 33]). In der Regel werden hierbei wohnortsbezogene Merkmale auf aggregierter Ebene (z. B. Gemeinde, Kreise oder Regionen) mit krankheitsspezifischen Inzidenzen und Prävalenzen sowie mit weiteren gesundheitsrelevanten Dimensionen (z. B. gesundheitsbezogene Lebensqualität) in Zusammenhang gestellt.

M. Thißen · H. Niemann · G. Varnaccia · A. Rommel · A. Teti · H. Butschalowsky · K. Manz · J. D. Finger · L. E. Kroll · T. Ziese

## Welches Potenzial haben Geoinformationssysteme für das bevölkerungsweite Gesundheitsmonitoring in Deutschland? Perspektiven und Herausforderungen für das Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut

### Zusammenfassung

Geoinformationssysteme (GIS) sind computergestützte Systeme, mit welchen geografische Daten erfasst, gespeichert, verwaltet, analysiert, visualisiert und bereitgestellt werden können. In den letzten Jahren sind sie fester Bestandteil der Public-Health-Forschung geworden. Durch vielfältige Analysewerkzeuge bieten sie die Möglichkeit, gesundheitsrelevante Fragestellungen innovativ zu beantworten. Die Untersuchung nationaler Studien, die Geoinformationssysteme in ihre Analysen einbezogen haben, unterstreicht das Potenzial für das Gesundheitsmonitoring in Deutschland. Neben modernen Kartierungs- und Visualisierungsoptionen eröffnet die

Nutzung von Geoinformationssystemen für das bundesweite Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut (RKI) die Möglichkeit, die Wohnumgebung objektiv als Einflussfaktor auf die Gesundheit und das Gesundheitsverhalten der Bevölkerung zu erfassen und mit den eigenen Surveydaten auf verschiedenen geografischen Ebenen zu verknüpfen. Neben physischen Faktoren wie Klima, Vegetation oder Landnutzung sowie Faktoren der bebauten Umwelt können zusätzlich sozioökonomische und soziodemografische Daten, Versorgungsaspekte und Umweltbelastungen an Erhebungsdaten angedockt und in Auswertekonzepte integriert werden. Somit bieten Geoinformationssysteme für

das Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut ein erweitertes Potenzial, bundesweite, repräsentative und aussagekräftige Ergebnisse präsentieren zu können. Dabei müssen datenschutzrechtliche Vorgaben stets eingehalten werden. Durch den Aufbau einer nationalen Geodateninfrastruktur und das Erschließen wichtiger Datenquellen könnte der Zugang zu qualitativ hochwertigen Datensätzen, die für das Gesundheitsmonitoring relevant sind, zukünftig verbessert werden.

### Schlüsselwörter

Geoinformationssysteme · Public Health · Gesundheitsmonitoring · Bebaute Umwelt · Datenverknüpfung

## What potential do geographic information systems have for population-wide health monitoring in Germany? Perspectives and challenges for the health monitoring of the Robert Koch Institute

### Abstract

Geographic information systems (GIS) are computer-based systems with which geographical data can be recorded, stored, managed, analyzed, visualized and provided. In recent years, they have become an integral part of public health research. They offer a broad range of analysis tools, which enable innovative solutions for health-related research questions. An analysis of nationwide studies that applied geographic information systems underlines the potential this instrument bears for health monitoring in Germany. Geographic information systems provide up-to-date mapping and visualization options to be used for national health

monitoring at the Robert Koch Institute (RKI). Furthermore, objective information on the residential environment as an influencing factor on population health and on health behavior can be gathered and linked to RKI survey data at different geographic scales. Besides using physical information, such as climate, vegetation or land use, as well as information on the built environment, the instrument can link socioeconomic and sociodemographic data as well as information on health care and environmental stress to the survey data and integrate them into concepts for analyses. Therefore, geographic information systems expand the potential of

the RKI to present nationwide, representative and meaningful health-monitoring results. In doing so, data protection regulations must always be followed. To conclude, the development of a national spatial data infrastructure and the identification of important data sources can prospectively improve access to high quality data sets that are relevant for the health monitoring.

### Keywords

Geographic information systems · Public health · Health monitoring · Built environment · Data linkage

### Zielstellung des Beitrages

Vor diesem Hintergrund soll in diesem Artikel folgenden Fragen nachgegangen werden: (1) Welche Studien, die gesundheitsbezogene und epidemiologische Fragestellungen mittels GIS beantworten, sind bereits in Deutschland durchgeführt worden? (2) Welches Potenzial haben GIS für das Gesundheitsmonitoring in Deutschland? (3) Welche Hindernisse und Herausforderungen gehen mit dem Gebrauch von GIS einher?

### Anwendungsbeispiele für GIS in Deutschland

Anwendungsbeispiele für GIS in der Public-Health-Forschung in Deutschland wurden durch ein narratives Review der deutschen Fachliteratur zum Thema GIS und Gesundheit identifiziert. Die Ergebnisse werden entlang der Themenbereiche der Gesundheitsberichterstattung (körperliche und psychische Gesundheit, Gesundheitsversorgung so-

wie Risikofaktoren und Ressourcen) dargestellt.

### Methodisches Vorgehen

Narrative Reviews unterscheiden sich von systematischen Übersichtsarbeiten, indem sie einen breiten, aber selektiven Überblick zu einem heterogenen Thema verschaffen [34]. Die Auswahl der berücksichtigten Publikationen erfolgt mit einem geringeren Anspruch an Systematik und zielt auf einen Über-



**Tab. 1** Wichtigste Analysetechniken von Geoinformationssystemen. (Quelle: eigene Darstellung nach [79])

Analysetechnik	Erläuterung
Datenbankabfrage	Identifikation von Objekten auf Grundlage von benutzerdefinierten Auswahlkriterien
Geometrische Berechnungen	Bestimmung von Abständen, Längen, Flächen, Höhenunterschieden etc.
Verschneiden, Ausschneiden, Verbinden von Geometriedaten	Generierung neuer Variablen, z. B. kann geprüft werden, welche Messpunkte in einer bestimmten Fläche liegen
Pufferbildung	Konstruktion von Zonen festgelegter Größe um Punkte, Linien oder Flächen
Dichteschätzung	Schätzung der räumlichen Dichte von geometrischen Objekten (Punkt-, Linien- und Kerndichteanalysen)
Interpolation	Schätzung fehlender Daten auf Grundlage raumbezogener Zusammenhänge und Verteilungen bekannter Daten
Glättung	Konstruktion generalisierter Muster von Attributdaten als Oberflächen
Analyse raumbezogener Verteilung	Prüfung raumbezogener Daten auf Korrelation und Cluster unter Verwendung von Visualisierungstechniken und geostatistischen Methoden (z. B. Korrelations-, Erreichbarkeits-, Mobilitäts-, Cluster- und Netzwerkanalysen)
Indexbildung	Berechnung von Indizes (z. B. über die Fußgängerfreundlichkeit („walkability“) der Wohnumgebung)
Modellierung und Simulation	Entwicklung von Modellen und Szenarien, insbesondere raum- und zeitbezogene Verbreitungs- und Ausbreitungsmodelle

blick, nicht auf eine ausschöpfende Darstellung der verfügbaren Evidenz zum Thema ab [34, 35]. Die Literatursuche wurde unter Verwendung der Suchbegriffe „geo“, „information“, „system“, „GIS“ [auf Deutsch: Geoinformationssysteme] und „health“ [oder Gesundheit] durchgeführt. Die Literatursuche wurde sowohl in wissenschaftlichen Datenbanken (PubMed, Scopus) durchgeführt als auch über die Suchmaschine Google Scholar ([www.scholar.google.com](http://www.scholar.google.com)) zur allgemeinen Recherche wissenschaftlicher Dokumente und um an Literatur zu gelangen, die nicht in wissenschaftlichen Datenbanken gelistet ist. Des Weiteren wurden die Publikationslisten von Instituten und Kommissionen durchsucht, die sich mit dem Thema Gesundheit und Georeferenzierung beschäftigen (z. B. Kommission Umweltmedizin und Environmental Public Health am Robert Koch-Institut, AG Health Geography der deutschen Gesellschaft für Epidemiologie). Abschließend wurden die Literaturverzeichnisse von bereits ausgewählten Artikeln nach weiteren Treffern überprüft.

Es ist ausdrücklich festzuhalten, dass eine sehr selektive Analyseverfahren an-

gewendet wurde und dadurch nur ein Teil der bestehenden Literatur zu diesem Themengebiet abgedeckt wird. Eine Vielzahl von Publikationen, die Gebrauch von GIS machen, diese aber nicht namentlich in Titel oder Abstract erwähnen, wird somit nicht erfasst.

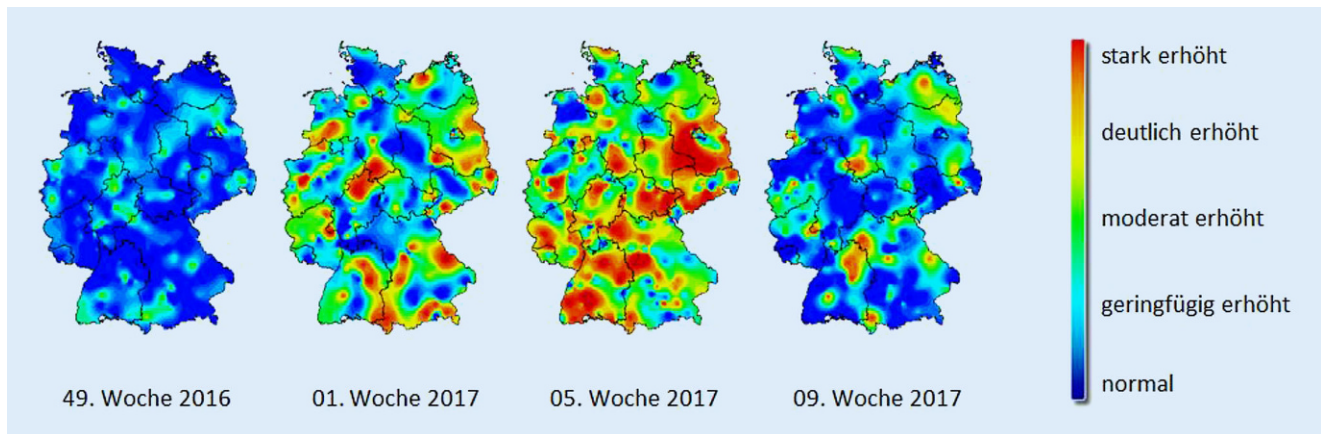
## Ergebnisse

Nach dem Screening von Titeln und Abstracts sind 30 Studien, die sich auf Deutschland beziehen, GIS nutzten und einen Bezug zu Gesundheitsdaten herstellen, ausgewählt worden. Die häufigsten Ausschlusskriterien waren der fehlende Bezug zur Anwendung in Deutschland sowie kein Bezug zur Gesundheit oder zu Gesundheitsdeterminanten. Entscheidend für die Auswahl war die Nutzung von GIS, z. B. für Analyse Zwecke oder kartografische Visualisierungen. Im Folgenden werden die ausgewählten Studien nach thematischer Ausrichtung, räumlichen Bezug, genutzter Datenquelle und mit GIS umgesetzten Visualisierungen und Analysen beschrieben (■ **Tab. 2**).

Die identifizierten Studien können den Themenbereichen der Gesundheits-

berichterstattung zugeordnet werden. Diese umfassen die körperliche und psychische Gesundheit, Risikofaktoren und Ressourcen sowie die gesundheitliche Versorgung. Acht der ausgewählten Studien wenden GIS an, um regionale Unterschiede in der Morbidität und Mortalität zu untersuchen. Zu den untersuchten Erkrankungen gehören Adipositas [29, 36], Asthma [13], Diabetes [18], Influenza [37] und Krebs [20, 38]. Die Studie von Hofmeister et al. [39] befasst sich mit regionalen Mortalitätsunterschieden.

Im Bereich Risikofaktoren und Ressourcen werden bei der Auswertung epidemiologischer Studien häufig im Rahmen eines sog. „aggregate level data linkage“ räumlich vorhandene Informationen (Aggregatdaten) mit Daten aus epidemiologischen Studien (Individualdaten) verknüpft. Risikofaktoren und Ressourcen wurden in 21 der identifizierten Studien beleuchtet. Dabei wurde der Zusammenhang zwischen Merkmalen der natürlichen und bebauten Umwelt, der physischen Umwelt sowie der sozialen Umwelt mit der Gesundheit und verschiedenen Gesundheitsdeterminanten untersucht. Die untersuchten Merkmale der natürlichen und bebauten Umwelt waren Grünflächen [26, 27, 29, 40], Wasserflächen [41], Waldflächen [42], Sportanlagen [43], Spielplätze [29, 40, 44], Verkaufsstellen (z. B. Fast-Food-Imbisse) [29, 40, 44], die Bewegungsfreundlichkeit der Wohnumgebung („walkability“) [40, 45], Straßennetze [46], der öffentliche Nahverkehr [47] sowie die allgemeine Landnutzung und Bodenbedeckung [42, 48]. Bei den untersuchten Merkmalen der physischen Umwelt standen die Luftverschmutzung [17, 32, 33, 48, 49] sowie die Lärm-[17, 28, 32, 48] und Hitzebelastung [42] im Fokus. Die Studien, die sich mit der sozialen Umwelt befassten, konzentrierten sich auf Merkmale der regionalen Deprivation (z. B. Arbeitslosigkeit) [18, 29, 36, 39, 40, 48, 50], wobei auch der „German Index of Multiple Deprivation“ nach Meier et al. 2014 [31, 39] verwendet wurde. Im Bereich der Gesundheitsversorgung wurden GIS genutzt, um die ambulante Versorgung (z. B. die Erreichbarkeit von Hausärzten)



**Abb. 2** ▲ Aktivität akuter respiratorischer Erkrankungen in Deutschland (ARE-Aktivität) auf Bevölkerungsebene, die über ca. 600 ehrenamtlich tätige Sentinelpraxen (allgemeinmedizinische, internistische und pädiatrische Praxen) erfasst wird. (Quelle: eigene Darstellung nach [37])

[51–54], die stationäre Versorgung (z. B. die Verfügbarkeit von Krankenhäusern) [55] sowie die Inanspruchnahme von Gesundheitschecks und Impfungen [36] zu erforschen.

Hinsichtlich des räumlichen Bezugs fällt auf, dass in den identifizierten Studien vorwiegend kleinere Regionen oder Städte mit einer guten georeferenzierten Datenlage adressiert werden. Von den 30 betrachteten Studien beziehen sich sechs auf die gesamte Bundesrepublik Deutschland [37, 39, 46, 49, 50, 55], dabei wurde auch auf Basis von Kreisen oder Gemeinden auf aggregierte Daten zurückgegriffen [43, 46]. Eine Auswertung oder Visualisierung auf der Ebene einzelner Bundesländer oder größerer Regionen wurde vier Mal durchgeführt [18, 20, 38, 52]. In zwei Studien wurden 35 Großstädte mit über 100.000 Einwohnern [27] oder 167 Untersuchungsorte in Deutschland [43] einbezogen. Meistens bezogen sich die räumlichen Auswertungen auf einzelne Städte oder städtische Teilbereiche, dabei waren Berlin [26, 29, 47, 51, 53, 54], München [13, 17, 28, 36] und Köln [41, 42, 44] am häufigsten vertreten. Daneben gab es Studien mit Bezug zu den Städten Augsburg [32], Bochum [33], Dortmund [48], Düsseldorf [41], Essen [33], Kiel [40], Mülheim [33] und Stuttgart [45].

Als Datenquellen wurden in den identifizierten Studien am häufigsten amtliche Statistiken genutzt. Diese umfassen neben Geodaten zur Landnutzung (z. B. Verkehrsfläche) und Bodenbedeckung

(z. B. Wasserflächen) zusätzlich Sachdaten in Form von Registerdaten (z. B. Einwohnerzahlen), Sozialdaten (z. B. Arbeitslosenquote), Umweltdaten (z. B. Lärmbelastung, Luftverschmutzung und Wetterdaten), Gesundheitsdaten (z. B. Mortalitätsdaten) sowie Daten aus amtlichen Untersuchungen (z. B. aus Schulinganguntersuchungen). Die Daten wurden unter anderem von kommunalen (z. B. Gesundheitsämter), regionalen (z. B. Landesämter für Statistik), nationalen (z. B. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie) und internationalen (z. B. European Environment Agency) Institutionen angefordert oder über online verfügbare Portale und Datenbanken wie die INKAR-Datenbank (Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung [56]) erschlossen. Weitere Datenquellen, die für Auswertungen mit GIS genutzt und von staatlichen Institutionen bereitgestellt werden, sind krankheitsbezogene Registerdaten (z. B. Krebsregister [20, 38]) und Sentinelerhebungen (z. B. Influenza-Sentinel [37]). Im Bereich der Gesundheitsversorgung wurden Daten der Krankenkassen [18, 52–54] und Routinedaten des Gesundheitswesens (z. B. Qualitätsbericht der Krankenhäuser [55]) genutzt, um die Adressen ambulanter und stationärer Versorgungseinrichtungen zu erfassen und somit die gesundheitliche Versorgung der Bevölkerung zu erforschen. Eine weitere Datenquelle, die in den identifizierten Artikeln für Auswertungen mit GIS verwendet wurde, sind epi-

demologische Studien. Diese umfassen Befragungs- und Untersuchungsdaten sowie teilweise auch die Georeferenzierung von Gegenden und Objekten [40, 44] oder die Messung von Umweltbelastungen (z. B. Lärmbelastung [32]). Zu den in Deutschland durchgeführten epidemiologischen Studien, die bisher für Auswertungen mit GIS genutzt wurden, gehören der telefonische Gesundheits-survey 2006 (GSTel06) [50], die MoMo-Studie [43], die Kieler Adipositas Präventions-Studie (KOPS) [40], das Sozio-ökonomische Panel (SOEP) [27, 55], das German Mobility Panel (MOP) [46], die Berlin Aging Study (BASE) [47], die Studie „Kooperative Gesundheitsforschung in der Region Augsburg“ (KORA) [32], die Heinz Nixdorf Recall Studie [33], die Studie „International Study of Asthma and Allergies in Childhood“ (ISAAC) [13] sowie die Studien GINIplus und LISAPlus [17, 28]. Auch Daten anderer Forschungsinstitute, die im Rahmen ihrer Aktivitäten relevante Informationen gewonnen haben, wurden in den identifizierten Publikationen berücksichtigt (z. B. die Ergebnisse des ESCAPE-Projekts [17, 32]). Eine weitere wichtige Datenquelle für Auswertungen mit GIS sind frei verfügbare Online-Kartendienste und kommerziell erhältliche digitale Karten (z. B. Navstreets [52] oder Geostreet+ [45]). In den identifizierten Studien wurden vor allem die Online-Karten- und Geokodierungsdienste von Open Street Map [47, 53] und Google Maps [43] in Anspruch genommen.

**Tab. 2** Beispiele für die Anwendung von Geoinformationssystemen (GIS) in der Public-Health-Forschung in Deutschland (nach Bereichen des Gesundheitsmonitorings)

Thema	Referenz	Räumlicher Bezug	Datenquellen	Visualisierung	Analysetechnik
<b>Körperliche und psychische Gesundheit</b>					
Adipositas	[29]	Kommunal	Amtliche Statistik Online-Kartendienst	✓	Dichteschätzung Geometrische Berechnungen (Distanzmessung) Analyse raumbezogener Verteilung (Netzwerkanalyse)
	[36]	Kommunal	Amtliche Statistik	✓	–
Asthma	[13]	Kommunal	Epidemiologische Studie	✓	Dichteschätzung Analyse raumbezogener Verteilung
Diabetes	[18]	Regional	Amtliche Statistik Krankenkassendaten Online-Kartendienst	✓	Dichteschätzung Analyse raumbezogener Verteilung
Influenza	[37]	National	Sentinelenerhebung	✓	–
Krebs	[20]	Regional	Amtliche Statistik Registerdaten	–	Datenbankabfrage
	[38]	Regional	Amtliche Statistik Registerdaten	✓	Glättung Modellierung und Simulation
Mortalität	[39]	National	Amtliche Statistik	✓	Indexbildung
<b>Risikofaktoren und Ressourcen</b>					
Natürliche und bebaute Umwelt	[26]	Kommunal	Amtliche Statistik	✓	Analyse raumbezogener Verteilung (Clusteranalyse)
	[27]	Kommunal	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik	–	Geometrische Berechnungen (Euklidische Distanzmessung) Verschneiden, Ausschneiden, Verbinden von Geometriedaten Pufferbildung
	[18]	Regional	Amtliche Statistik Krankenkassendaten Online-Kartendienst	✓	Dichteschätzung Analyse raumbezogener Verteilung
	[43]	Kommunal	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik Online-Kartendienst	–	Geometrische Berechnungen (Distanzmessung)
	[44]	Kommunal	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik	✓	Dichteschätzung Geometrische Berechnungen (Distanzmessung)
	[29]	Kommunal	Amtliche Statistik Online-Kartendienst	✓	Dichteschätzung Geometrische Berechnungen (Distanzmessung) Analyse raumbezogener Verteilung (Netzwerkanalyse)
	[40]	Kommunal	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik	–	Dichteschätzung Geometrische Berechnungen (Distanzmessung) Pufferbildung
	[46]	National	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik	✓	Verschneiden, Ausschneiden, Verbinden von Geometriedaten Modellierung und Simulation
	[45]	Kommunal	Amtliche Statistik Kommerzielle Daten	✓	Pufferbildung Dichteschätzung
	[47]	Kommunal	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik Online-Kartendienst	–	Geometrische Berechnungen (Distanzmessung) Pufferbildung
	[48]	Kommunal	Amtliche Statistik	✓	Analyse raumbezogener Verteilung (Korrelationsanalyse)
	[42]	Kommunal	Amtliche Statistik Daten anderer Institutionen	✓	Modellierung und Simulation
[41]	Kommunal	Epidemiologische Studie	–	Verschneiden, Ausschneiden, Verbinden von Geometriedaten	

**Tab. 2** Beispiele für die Anwendung von Geoinformationssystemen (GIS) in der Public-Health-Forschung in Deutschland (nach Bereichen des Gesundheitsmonitorings) (Fortsetzung)

Thema	Referenz	Räumlicher Bezug	Datenquellen	Visualisierung	Analysetechnik
Physische Umwelt	[49]	National	Amtliche Statistik	✓	–
	[47]	Kommunal	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik Online-Kartendienst	–	Geometrische Berechnungen (Distanzmessung) Pufferbildung
	[33]	Kommunal	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik	✓	Modellierung und Simulation
	[32]	Kommunal	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik Daten anderer Institutionen	–	Modellierung und Simulation
	[17]	Kommunal	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik Daten anderer Institutionen	–	Pufferbildung Modellierung und Simulation
	[48]	Kommunal	Amtliche Statistik	✓	Analyse raumbezogener Verteilung (Korrelationsanalyse)
	[28]	Kommunal	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik	–	Pufferbildung Modellierung und Simulation
	[42]	Kommunal	Amtliche Statistik Daten anderer Institutionen	✓	Geometrische Berechnungen (Distanzmessung) Pufferbildung Modellierung und Simulation
	Soziale Umwelt	[39]	National	Amtliche Statistik	✓
[31]		National	Epidemiologische Studie	–	Indexbildung
[47]		Kommunal	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik Online-Kartendienst	–	Geometrische Berechnungen (Distanzmessung) Pufferbildung
[38]		Regional	Amtliche Statistik Registerdaten	✓	Glättung Modellierung und Simulation
[44]		Kommunal	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik	✓	Dichteschätzung Geometrische Berechnungen (Distanzmessung)
[29]		Kommunal	Amtliche Statistik Online-Kartendienst	✓	Dichteschätzung Analyse raumbezogener Verteilung (Netzwerkanalyse)
[40]		Kommunal	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik	–	Dichteschätzung Geometrische Berechnungen (Distanzmessung) Pufferbildung
[18]		Regional	Amtliche Statistik Krankenkassendaten Online-Kartendienst	✓	Dichteschätzung Analyse raumbezogener Verteilung
[50]		National	Epidemiologische Studie Amtliche Statistik	✓	–
[36]		Kommunal	Amtliche Statistik	✓	Dichteschätzung
[48]		Kommunal	Amtliche Statistik	✓	Analyse raumbezogener Verteilung (Korrelationsanalyse)

**Tab. 2** Beispiele für die Anwendung von Geoinformationssystemen (GIS) in der Public-Health-Forschung in Deutschland (nach Bereichen des Gesundheitsmonitorings) (Fortsetzung)

Thema	Referenz	Räumlicher Bezug	Datenquellen	Visualisierung	Analysetechnik
<b>Gesundheitsversorgung</b>					
Ambulante Versorgung	[51]	Kommunal	Amtliche Statistik	✓	Geometrische Berechnungen (Distanzmessung) Dichteschätzung Analyse raumbezogener Verteilung
	[52]	Regional	Amtliche Statistik Krankenkassendaten Kommerzielle Daten	✓	Analyse raumbezogener Verteilung (Netzwerkanalyse)
	[53]	Kommunal	Amtliche Statistik Krankenkassendaten Online-Kartendienst	✓	Analyse raumbezogener Verteilung (Netzwerkanalyse)
	[54]	Kommunal	Amtliche Statistik Krankenkassendaten	✓	Analyse raumbezogener Verteilung (Netzwerkanalyse)
Stationäre Versorgung	[55]	National	Epidemiologische Studie Routinedaten	✓	Pufferbildung Dichteschätzung Analyse raumbezogener Verteilung (Clusteranalyse)
Inanspruchnahme	[36]	Kommunal	Amtliche Statistik	✓	–

Neben digitalen Karten sind für die Auswertungen mit GIS auch weitere Daten von kommerziellen Anbietern zu beziehen, die sowohl verfügbare Daten zusammenstellen und auswerten als auch eigene Daten erfassen.

Bei der kartografischen Visualisierung liegen die Schwerpunkte zum einen auf der angemessenen Abbildung der Geodaten und zum anderen auf den Informationen, die mit der Karte vermittelt werden. Eine bedeutende Grundlage bieten in diesem Kontext die Handlungsempfehlungen der Initiative für eine „Gute Kartographische Praxis im Gesundheitswesen (GKPiG)“ [57]. In 21 der identifizierten Studien wurden Daten mit GIS visualisiert. So wurden z. B. regionale Prävalenzen und Inzidenzen von Erkrankungen (z. B. Krebs [38]), Risikofaktoren (z. B. Luftverschmutzung [33]) und Ressourcen (z. B. Grünflächen [26]) sowie die gesundheitliche Versorgungssituation (z. B. Arztdichte [54]) in Form von Choroplethenkarten, auch Flächenkartogramme genannt, (Gebiete werden entsprechend ihrer Eigenschaften gekennzeichnet) abgebildet. Ein Beispiel für eine GIS-basierte Visualisierung von Erkrankungsdaten, die online verfügbar ist und regelmäßig aktualisiert wird, ist die Influenzasurveillance des RKI (Abb. 2).

Im Hinblick auf die Verwendung von GIS als Analysewerkzeug enthielten

25 der identifizierten Studien entsprechende Anwendungsbeispiele. Unter anderem wurden GIS verwendet, um die räumliche Dichte (z. B. von Fast-Food-Imbissen [29, 40, 44]) und die Erreichbarkeit (z. B. von Ärzten [51–55]) bestimmter Merkmale in einer Region zu ermitteln. Hierzu wurden teilweise auch grundlegende Techniken wie Datenbankabfragen, geometrische Berechnungen, das Verschneiden von Geometriedaten und Pufferbildungen (Konstruktion von Zonen festgelegter Größe um Punkte, Linien oder Flächen) angewendet. Außerdem wurden GIS genutzt, um Indizes zu berechnen, die z. B. Aussagen über die Bewegungsfreundlichkeit („walkability“) einer Wohnumgebung erlauben [29, 40, 45]. Im Bereich der physischen Umwelt wurden GIS verwendet, um z. B. die Lärmbelastung und Luftverschmutzung in bestimmten Regionen zu modellieren [17, 28, 32, 33].

### Erkenntnisse zu den Anwendungsbeispielen

Zusammengenommen zeigen die Ergebnisse der Literaturrecherche, dass in Deutschland bereits verschiedene gesundheitsbezogene Studien mithilfe von GIS durchgeführt wurden, was das Interesse für diese Methode in der Public-Health-Forschung verdeutlicht. Trotz-

dem ist hervorzuheben, dass sich die bislang GIS-gestützt durchgeführten Studien vorwiegend auf kleinere Regionen oder Städte beschränken. Analysen, die auf nationaler Ebene durchgeführt werden, kommen seltener vor. Die Verknüpfung von räumlich vorliegenden Wohnumgebungsdaten, wie z. B. Umwelt- und Sozialdaten oder Daten zur medizinischen Versorgung, mit bundesweiten repräsentativen Surveydaten (Primärdaten) aus dem Gesundheitsmonitoring am RKI würde einen vielversprechenden und innovativen Fortschritt darstellen. So würde eine Ergänzung durch GIS-gestützte Analysen zum nationalen Gesundheitsmonitoring die Qualität der Gesundheitsberichterstattung des Bundes am RKI mit zeitgemäßen Techniken vervollständigen.

### Potenziale von Geoinformationssystemen für das Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut

Ziel des Gesundheitsmonitorings am RKI ist es, im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit zuverlässige Informationen über den Gesundheitszustand, das Gesundheitsverhalten und die gesundheitliche Versorgung der Bevölkerung bereitzustellen [58]. Zum Gesundheitsmonitoring gehören die Studie „Gesundheit in Deutschland aktuell“



(GEDA) [58], die „Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland“ (KiGGS) [59] und die „Studie zur Gesundheit von Erwachsenen in Deutschland“ (DEGS) [60]. Letztere beinhalten – zusätzlich zur Befragung – körperliche Untersuchungen und Tests. Die Daten sind Grundlage für die Gesundheitsberichterstattung des Bundes und für die Forschung zu wichtigen Public-Health-Themen [61].

Bislang werden einfache kartografische Darstellungen sowie georeferenzierte Informationen auf unterschiedlichen Aggregationsniveaus (z. B. auf der Ebene von Kreisen oder Gemeindeverbänden) bereits themenspezifisch mit den Daten des Gesundheitsmonitorings verknüpft und im Rahmen multivariater Analysen ausgewertet [31, 43, 62] (s. a. Kroll et al. in diesem Heft). Zentral für die Weiterentwicklung der Auswertungsmöglichkeiten großer Gesundheitsstudien ist die Möglichkeit, verschiedenste georeferenzierte Daten miteinander zu verknüpfen („data linkage“). So können neben sozialen Kontextfaktoren zusätzlich bisher nicht zugängliche oder nicht berücksichtigte gesundheitsrelevante Einflussfaktoren aus dem geografischen Wohnumfeld der Studienteilnehmenden personenbezogen erfasst und auf verschiedenen räumlichen Ebenen mit den Surveydaten verknüpft werden [3, 6, 7, 63, 64].

Weiterhin eröffnen sich durch den Einsatz von Geoinformationssystemen innovative Visualisierungs- und Kartierungsoptionen für Gesundheitsdaten mit Raumbezug (sog. „Health Mapping“ [65]). So können komplexe Inhalte oder Beziehungen anschaulicher vermittelt werden als mit konventionellen Präsentationstechniken [7].

Für viele Aspekte der gesundheitlichen Lage sind die Surveys des RKI die einzige verfügbare bevölkerungsweit aussagekräftige Datenquelle. In Verbindung mit ebenfalls bundesweit vorliegenden georeferenzierten Informationen ergibt sich somit zum ersten Mal die Möglichkeit einer bevölkerungsweiten Verknüpfung von Survey- und Geodaten, deren Potenzial für das Gesundheitsmonitoring im Folgenden anhand einiger Beispiele verdeutlicht werden soll.

## Physische Umwelt

Auch Umweltexpositionen im Umfeld der Wohnung, die potenziell gesundheitliche Belastungen nach sich ziehen, könnten über die Koordinaten mit den epidemiologischen Gesundheitsdaten über die Wohnadresse in Bezug gesetzt werden (z. B. für Lärm [66], Luftschadstoffe [49], UV-Strahlung [67], Wasser- oder Luftqualität [68]). Es können somit Expositionsbelastungen der Bevölkerung, die räumlich variieren, entweder dargestellt oder als zusätzliche Risikofaktoren in die statistische Auswertung mit aufgenommen werden. Ein eindeutiger Expositions-Wirkungs-Zusammenhang sollte dann durch entsprechende Evidenz belegt werden. Dieser Expositions-Wirkungs-Zusammenhang lässt sich mit grob modellierten oder aggregierten Expositionsdaten im GIS nur schwer nachweisen. Im Bereich des Monitorings geht es daher um das Aufzeigen der Belastung und das Erfassen der Merkmale der physischen und bebauten Umwelt, um anhand dieser Faktoren Aussagen sowohl zur Verteilung gesundheitsrelevanter Umweltbelastungen als auch zu Mehrfachbelastungen oder zum Zugang zu salutogenetischen Ressourcen treffen zu können.

## Soziale Umwelt

Für die Analyse des Zusammenhangs von sozialer Ungleichheit und Gesundheit, die eine der Kernaufgaben der Public-Health-Forschung darstellt, bilden Geoinformationssysteme in mehrfacher Hinsicht Nutzungspotenziale. Einerseits können sie genutzt werden, um regional aggregiert vorliegende Datenquellen, wie beispielsweise die Daten der Todesursachenstatistik, mit der regionalen sozioökonomischen Lage der Bevölkerung zum Teil auch kleinräumig in Beziehung zu setzen [69, 70]. In Ermangelung von Individualdaten können so Hinweise auf das Ausmaß und die Entwicklung sozialer Unterschiede gewonnen werden. Zudem eröffnen die systematischen Auswertungs- und Aggregationsfunktionen der Geoinformationssysteme die Möglichkeit, Fragestellungen aus dem Bereich der Umweltgerechtigkeit zu un-

tersuchen. So kann aufgezeigt werden, welche Bevölkerungsgruppen den besten Zugang zu räumlich ungleich verteilten Ressourcen haben oder umgebungsbezogenen Belastungen in besonderem Maße ausgesetzt sind [71]. Bei entsprechenden Analysen muss einschränkend berücksichtigt werden, dass sich die Effekte räumlicher Belastungen und Ressourcen analytisch nur schwer von der sozioökonomischen Komposition der Bevölkerung trennen lassen: So können sozial bessergestellte Bevölkerungsteile aufgrund ihrer materiellen Ressourcen einerseits in Wohngebieten mit besserer Infrastruktur und Lebensqualität ziehen, andererseits können sie auch die Situation ihrer Quartiere beeinflussen und so aus vormals benachteiligten Wohnquartieren prosperierende „Szenebezirke“ machen [72].

## Gesundheitsverhalten

Im Bereich der körperlichen Aktivität kann untersucht werden, wie bewegungsfreundlich die Wohnumgebung der Surveyteilnehmenden ist und ob bestimmte Umgebungsfaktoren mit ihrem Bewegungsverhalten bzw. ihrer körperlichen Fitness in Verbindung stehen. Dabei sind sowohl die Verfügbarkeit und die Erreichbarkeit von Bewegungsmöglichkeiten (z. B. Grün- und Freiflächen [26, 27, 29, 40, 46], Spielplätzen [29, 40] und Sportanlagen [43]) als auch die Fußgänger- und Fahrradfreundlichkeit der Wohnumgebung von Interesse [29, 40, 45]. Im Bereich des Ernährungsverhaltens bieten sich ebenfalls interessante Forschungsfragen. So lässt sich z. B. untersuchen, welches Lebensmittelangebot im Wohnumfeld der Surveyteilnehmenden vorhanden ist und ob deren Ernährungsverhalten mit den verfügbaren Einkaufs- und Verpflegungsmöglichkeiten assoziiert ist [44, 73]. Relevant ist in diesem Zusammenhang unter anderem die Verfügbarkeit und Erreichbarkeit von Supermärkten, Discountern und Fast-Food-Imbissen [29, 40]. Durch den Einsatz von verschiedenen Analyserwerkzeugen (z. B. Distanzmessungen, Dichteschätzungen, Pufferbildung, Netzwerk- und Clusteranalysen) bieten GIS einen vielversprechenden Ansatz, um

die adipogene Umwelt – also Umweltfaktoren, welche die Entstehung von Adipositas begünstigen – zu erforschen [73]. So können Ansatzpunkte für Präventionsmaßnahmen, beispielsweise für eine gesundheitsförderliche Stadtplanung und -entwicklung in benachteiligten Gebieten, aufgezeigt werden [29, 44].

## Gesundheitsversorgung

Um Versorgungsrealitäten kleinräumig untersuchen zu können und dementsprechend Entscheidungsprozesse optimal begleiten und unterstützen zu können, gewinnen GIS auch in der Versorgungsforschung zunehmend an Bedeutung [74]. In den angeführten Studien haben sich in den Kategorien der ambulanten Versorgung Hausärzte [51–53], Fachärzte [51, 52, 54] und Apotheken [51] sowie in der stationären Versorgung Krankenhäuser [55] als gut messbare Merkmale erwiesen. Die Verknüpfung der georeferenzierten Wohnadresse mit Versorgungsdaten kann unter anderem durch eine Dichteschätzung der ausgewählten Versorgungseinrichtungen in der Umgebung um die Wohnadresse [51] oder durch eine Analyse raumbezogener Verteilungen in Form von Netzwerkanalysen [52–54] durchgeführt werden. Weiterhin stellen die Pufferbildung (z. B. 20 km Radius [55]) wie auch Clusteranalysen [55] etablierte Analysetechniken dar.

Daraus ergibt sich für das Gesundheitsmonitoring das Potenzial, Aussagen sowohl über die Verfügbarkeit als auch über die Erreichbarkeit von Versorgungseinrichtungen auf verschiedenen räumlichen Ebenen (kommunal, regional, national) treffen zu können [52]. So wäre es möglich, Versorgungsgrade (Über- und Unterversorgung) auf der Basis räumlicher Erreichbarkeit darzustellen und Disparitäten innerhalb einer Stadt oder zwischen urbanen und ländlichen Räumen herauszustellen [54]. Zudem könnte die benötigte Zeit zum Erreichen der Versorgungseinrichtungen mittels unterschiedlicher Mobilitätsformen (zu Fuß, Fahrrad, Auto, Öffentlicher Personennahverkehr) untersucht werden [51, 52]. In Verbindung mit Befragungsdaten zur Inan-

spruchnahme könnte außerdem der Einfluss regionaler Versorgungsstrukturen, beispielsweise in Distanzen ausgedrückt, auf deren tatsächliche Nutzung im Bedarfsfall analysiert werden [36].

## Hindernisse und Herausforderungen für den Einsatz von GIS im Gesundheitsmonitoring

Die Anwendung von GIS-Techniken im Rahmen von Primärerhebungen wie dem Gesundheitsmonitoring des RKIs geht mit zwei grundsätzlichen Herausforderungen einher: Erstens in Bezug auf die bundesweite Verfügbarkeit von räumlichen Daten und zweitens in der Anwendung datenschutzrechtlicher Regularien.

## Datenschutzrechtliche Aspekte für adressgenaues Zuspieren von Geodaten an Erhebungsdaten

Das Zuspieren von georeferenzierten Sekundärdaten zu Befragungsdaten erfolgt über die Geokoordinaten der Wohnadressen der Studienteilnehmenden, die über die georeferenzierten Adressdaten des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie (sog. GAB-Datei) ermittelt werden. Bei dem hier vorliegenden Adressbezug kann auch der Personenbezug durchgängig als gegeben angesehen werden, womit die gesamte Speicherung und Verarbeitung der Daten im Anwendungsbereich der Datenschutzgesetze liegt. Die Verarbeitungsgrundlage bildet die informierte schriftliche Einwilligung der Studienteilnehmenden [75, 76].

Bei der „Studie zur Gesundheit von Kindern und Jugendlichen in Deutschland“ (KiGGS Welle 2) wurde erstmals im Rahmen des Gesundheitsmonitorings am Robert Koch-Institut die zusätzliche Einwilligung zur Verwendung von aktuellen und vergangenen Wohnadressen zum Zweck der Verknüpfung von Befragungs- und Untersuchungsdaten mit gesundheitsrelevanten Daten zur Beschaffenheit des Wohnumfelds eingeholt.

Auch für die Bereitstellung der Datensätze zur statistischen und wissenschaftlichen Auswertung von besonders sensiblen Gesundheitsdaten ergeben sich spezielle Anforderungen an die praktische Umsetzung und Datenaufbereitung.

Hierbei muss sichergestellt werden, dass nur Studiendaten oberhalb empfohlener Auflösungsschwellen zur Auswertung freigegeben werden, die keine Identifizierung der Teilnehmenden zulassen [75]. Während das Risiko einer Reidentifikation durch Anreicherung von Daten höherer Aggregationsstufen (z. B. Gemeinde- oder Kreisebene) sehr gering ist, nimmt es mit steigendem (räumlichen) Detaillierungsgrad bis hin zur Gebäudeebene, singular auftretenden Werten und insbesondere der Kombination von Informationen prinzipiell zu.

Dies hat zur Folge, dass durch das Epidemiologische Datenzentrum (EDZ) des RKIs ggf. auf die Forschungsfrage zugeschnittene individuelle Auswertungsdatsätze generiert und zugespielte Werte vorab vergrößert (gerundet oder kategorisiert) werden müssen. Diese Individualdatsätze werden nur auf begründeten schriftlichen Antrag und unter Einbeziehung des Datenschutzbeauftragten des RKIs erstellt. Die Möglichkeit eines „spatial blurring“, einer Anonymisierung durch räumliches Verwischen der georeferenzierten Adresse [63], sollte hierbei geprüft werden.

Grundsätzlich werden identifizierende Personen- bzw. Adressdaten und Erhebungsdaten am RKI in getrennten Systemen mit getrennten Zugriffsrechten gespeichert. Die Zuordnung von geokodierten Sekundärdaten zu den Wohnadressen („Verschneidung“) wird ausschließlich an technisch besonders gesicherten und mit GIS-Software ausgestatteten Arbeitsplätzen vorgenommen. Die so gewonnenen und ggf. vergrößerten Informationen werden schließlich in pseudonymisierter Form, also lediglich mit einer Identifikationsnummer versehen, an das EDZ zur finalen Datensatzerstellung (Anreicherung mit ausgewählten Erhebungsvariablen) geliefert.

## Datenverfügbarkeit

Barrieren in der Anwendung von GIS bestehen oftmals in der Verfügbarkeit digitaler Datenbestände in üblichen Formaten sowie deren Genauigkeit, Vollständigkeit, Richtigkeit, Einheitlichkeit und Aktualität, die Schlüsseleigenschaften

ten und Qualitätskriterien für den effektiven Umgang mit Geodaten in GIS darstellen [4].

Um länderübergreifend eine harmonisierte und qualitativ hochwertige Geodateninfrastruktur zu gewährleisten, hat die Europäische Union bereits 2007 die Richtlinie INSPIRE (Infrastructure for Spatial Information in Europe [77]) erlassen, in der sich insgesamt 31 Staaten engagieren. In Deutschland werden die Anforderungen von INSPIRE über die Geodateninfrastruktur Deutschland (GDI-DE) umgesetzt. Dort werden raumbezogene Daten von Bund, Ländern und Kommunen vernetzt und besser zugänglich über das Internet zur Verfügung gestellt [78].

Die insgesamt 34 INSPIRE-Datenthemen liefern prinzipiell für viele Fragestellungen der Public-Health-Forschung und des Gesundheitsmonitorings Basisdaten, die für die Analyse und Visualisierung interessant sind. Davon weisen besonders zwei Themenkomplexe direkten Bezug zur Gesundheitsforschung auf: die Themen „Gesundheit und Sicherheit“ und „Versorgungswirtschaft und staatliche Dienste“ [77].

Die Meldungen im Themenfeld „Gesundheit und Sicherheit“ sind dabei relevanter als Letztgenannte und umfassen unter anderem Datensätze zur Umweltüberwachung (z. B. Luft- und Wasserqualität, Radioaktivität), Lärmkartierung oder Krebsinzidenz und -mortalität, die für das Gesundheitsmonitoring von Bedeutung sind [77].

Insgesamt profitiert die Gesundheitsforschung bislang nur eingeschränkt von der Bereitstellung der Datenbestände durch die INSPIRE-Richtlinie. Durch verschiedene rechtliche und organisatorische Rahmenbedingungen ist die INSPIRE-Umsetzung in den Bundesländern und Bundesbehörden unterschiedlich weit vorangeschritten [78]. Viele Meldungen gesundheitsrelevanter Datensätze sind in ihrem Inhalt und ihrer räumlichen Abdeckung sehr lückenhaft und uneinheitlich. So stellen einzelne Städte oder Landkreise zahlreiche Datenbestände bereit, während aus manchen Bundesländern gar keine gesundheitsbezogenen Meldungen erfolgen. Im Vergleich zu der Gesamtmenge aller zur Verfügung gestellten räumlichen Daten

sind jene mit einem Gesundheitsbezug stark unterrepräsentiert [77]. Darüber hinaus ist eine Diskrepanz der Datenlage zugunsten städtischer Regionen gegenüber dem ländlichen Raum zu konstatieren [6]. Aus diesen Gründen bieten die Datenbestände der INSPIRE-Richtlinie bislang noch keine geeignete Quelle, um gesundheitsrelevante Fragestellungen im Monitoring des RKIs mit Hilfe von GIS adäquat beantworten zu können.

Jedoch lassen sich auch positive Entwicklungen feststellen. So zeigt das Beispiel des Versorgungsatlas des Zentralinstituts für die kassenärztliche Versorgung (Zi), dass zurzeit qualitativ hochwertige Datenbestände von Krankenkassen, Krankenhäusern und ärztlichen Verbänden als Informationsgewinn für räumliche Analysen und damit einhergehend als Potenzial für das Gesundheitsmonitoring am RKI erschlossen werden [9].

## Fazit

Einflussfaktoren der bebauten, physischen und sozialen Umwelt sind für die menschliche Gesundheit und das Gesundheitsverhalten von großer Bedeutung. Gleichzeitig sind sie in vielen Fällen durch Gesetzgebung und (gesundheits-)politische Maßnahmen zu beeinflussen. Neben den potenziell modifizierbaren Risikofaktoren und Ressourcen spielen die Gesundheitsversorgung sowie die körperliche und psychische Gesundheit eine zentrale Rolle für das Gesundheitsmonitoring am RKI und daraus resultierende Präventionsansätze. Daher sollte der Einsatz von Geoinformationssystemen im Rahmen des Gesundheitsmonitorings in Deutschland ausgebaut werden. Die untersuchten Studien zeigen anschaulich das Potenzial und die zahlreichen Analysemöglichkeiten von GIS auf. Diese können von einfachen Kartendarstellungen über Dichte- oder Pufferanalysen bis zu Netzwerk- und Clusteranalysen oder modellierten Expositionsbelastungen reichen. Im Vergleich zu den meist regionalen Auswertungen der untersuchten Studien zeigt sich das Potenzial der Methode für das RKI insbesondere in Bezug auf das bevölkerungsweite

Gesundheitsmonitoring, welches bundesweite, repräsentative und aussagekräftige Erkenntnisse für Deutschland liefert. GIS können z. B. in den Bereichen der Gesundheitsversorgung sowie der Risikofaktoren und Ressourcen, die sowohl das Gesundheitsverhalten, als auch die körperliche und psychische Gesundheit beeinflussen, als Visualisierungswerkzeug und für räumliche Analysen eingesetzt werden. Bisher nicht zugängliche oder nicht berücksichtigte gesundheitsrelevante Einflussfaktoren aus dem geografischen Wohnumfeld können personenbezogen erfasst und mit den Surveydaten verknüpft werden („data linkage“).

Dabei sind jedoch stets die Anforderungen des Datenschutzes einzuhalten und die Datenqualität zu beachten. Weiterhin limitierend wirken sich die momentan noch nicht einheitlich oder bundesweit vorliegenden Sachdaten (z. B. Gesundheitsdaten) aus.

Die Erschließung der Zusammenhänge zwischen der geografischen Lage, den ökologischen Bedingungen sowie der physischen, der bebauten sowie der sozialen Umwelt und der Gesundheit ist prinzipiell von der lokalen bis zur internationalen Ebene möglich, da der Maßstab bei der Anwendung von Geoinformationssystemen keine Einschränkung darstellt. Daraus resultiert ein integrativer Ansatz bis hin zu Themen von „One Health“ und „Global Health“ [9]. Darüber hinaus wird durch die voranschreitende Digitalisierung und die damit verbundene Ausweitung der sowohl der Quantität als auch der Qualität raumbezogener Daten (Big Data) die Nutzung von GIS für eine innovative Public-Health-Forschung unerlässlich sein.

## Korrespondenzadresse

**M. Thißen**

Abteilung für Epidemiologie und Gesundheitsmonitoring, Robert Koch-Institut  
Berlin, Deutschland  
ThissenM@rki.de

## Einhaltung ethischer Richtlinien

**Interessenkonflikt.** M. Thißen, H. Niemann, G. Varnaccia, A. Rommel, A. Teti, H. Butschalowsky, K. Manz, J.D. Finger, L.E. Kroll und T. Ziese geben an, dass kein Interessenkonflikt besteht.

Dieser Beitrag beinhaltet keine von den Autoren durchgeführten Studien an Menschen oder Tieren.

## Literatur

- Vandenbroucke JP (2013) Commentary: snow's paper on 'offensive trades' with the benefit of 150 years of hindsight. *Int J Epidemiol* 42:1235–1238
- Kaiserliches Gesundheitsamt und Kaiserliches Statistisches Amt (1907) Das Deutsche Reich in gesundheitlicher und demographischer Beziehung; Festschrift den Teilnehmern am XIV. Internationalen Kongresse für Hygiene und Demographie Berlin 1907. Puttkammer & Mühlbrecht, Berlin
- Fradelos EC, Papathanasiou IV, Mitsi D, Tsaras K, Kleisiaris CF, Kourkouta L (2014) Health based geographic information systems (GIS) and their applications. *Acta Inform Med* 22:402–405
- Lyseen AK, Nohr C, Sorensen EM et al (2014) A review and framework for categorizing current research and development in health related geographical information systems (GIS) studies. *Yearb Med Inform* 9:110–124
- Schweikart J, Kistemann T (2004) Geoinformationssysteme im Gesundheitswesen: Grundlagen und Anwendungen. Wichmann, Heidelberg
- Fletcher-Lartey SM, Caprarelli G (2016) Application of GIS technology in public health: successes and challenges. *Parasitology* 143:401–415
- Nyikforok CI, Flaman LM (2011) Geographic information systems (GIS) for health promotion and public health: a review. *Health Promot Pract* 12:63–73
- Gu J, Pitz M, Breitner S et al (2012) Selection of key ambient particulate variables for epidemiological studies – applying cluster and heatmap analyses as tools for data reduction. *Sci Total Environ* 435–436:541–550
- Augustin J, Koller D (2017) Geografie der Gesundheit: Die räumliche Dimension von Epidemiologie und Versorgung. Hogrefe, Bern
- Bolte G, Kohlhuber M (2009) Soziale Ungleichheit bei umweltbezogener Gesundheit: Erklärungsansätze aus umweltepidemiologischer Perspektive. In: Richter M, Hurrelmann K (Hrsg) *Gesundheitliche Ungleichheit: Grundlagen, Probleme, Perspektiven*. VS, Wiesbaden, 599–116
- Lemke D, Mattauß V, Heidinger O, Hense HW (2015) Wer trifft ins Schwarze? Ein qualitativer Vergleich der kostenfreien Geokodierungsdienste von Google und OpenStreetMap. *Gesundheitswesen* 77:e160–e165
- Luan H, Law J (2014) Web GIS-based public health surveillance systems: a systematic review. *ISPRS Int J Geoinf* 3:481–506
- Wellie O, Duhme H, Streit U, von Mutius E, Keil U, Weiland S (2000) Der Einsatz von Geoinformationssystemen (GIS) in epidemiologischen Studien dargestellt am Beispiel der ISAAC-Studie München. *Gesundheitswesen* 62:423–430
- Rosenberg M (2013) Health geography: social justice, idealist theory, health and health care. *Prog Hum Geogr* 38:466–475
- Graves BA (2008) Integrative literature review: a review of literature related to geographical information systems, healthcare access, and health outcomes. *Perspect Health Inf Manag* 5(8):11–200
- Alexander KA, Sanderson CE, Marathe M et al (2015) What factors might have led to the emergence of Ebola in West Africa? *PLOS Negl Trop Dis* 9:e3652
- Liu C, Fuertes E, Tiesler CM et al (2014) The associations between traffic-related air pollution and noise with blood pressure in children: results from the GINIplus and LISAPlus studies. *Int J Hyg Environ Health* 217:499–505
- Kauhl B, Schweikart J, Krafft T, Keste A, Moskwyn M (2016) Do the risk factors for type 2 diabetes mellitus vary by location? A spatial analysis of health insurance claims in Northeastern Germany using kernel density estimation and geographically weighted regression. *Int J Health Geogr* 15:38
- Noble D, Smith D, Mathur R, Robson J, Greenhalgh T (2012) Feasibility study of geospatial mapping of chronic disease risk to inform public health commissioning. *BMJ Open* 2:e711
- Scharnofske A, Wietek F (1998) Das Datenschema des Epidemiologischen Krebsregisters Niedersachsen für die Erprobungsphase. OFFIS e.V. Institut für Informatik, Oldenburg
- Butsch C (2011) Zugang zu Gesundheitsdienstleistungen. Barrieren und Anreize in Pune, Indien. Steiner, Stuttgart
- Heard NJ, Larsen U, Hozumi D (2004) Investigating access to reproductive health services using GIS: proximity to services and the use of modern contraceptives in Malawi. *Afr J Reprod Health* 8:164–179
- Henke S, Schweikart J, Walter N (2007) Versorgungsdichte und Wohnortnähe in der ambulanten medizinischen Versorgung in Berlin im Jahr 2005. *Z Amtl Stat Berl Brandenbg* 5:24–30
- Voigtländer S, Deiters T (2015) Mindeststandards für die räumliche Erreichbarkeit hausärztlicher Versorgung: Ein systematischer Review. *Gesundheitswesen* 77:949–957
- Classen T, Kistemann T (2010) Das Konzept der Therapeutischen Landschaften. *Geogr Rundsch* 62(7–8):40–46
- Kabisch N, Haase D (2014) Green justice or just green? Provision of urban green spaces in Berlin, Germany. *Landsc Urban Plan* 122:129–139
- Krekel C, Kolbe J, Wüstemann H (2016) The greener, the happier? The effects of urban green and abandoned areas on residential well-being. *Ecol Econ* 121:117–127
- Birk M, Ivina O, von Klot S, Babisch W, Heinrich J (2011) Road traffic noise: self-reported noise annoyance versus GIS modelled road traffic noise exposure. *J Environ Monit* 13:3237–3245
- Lakes T, Burkart K (2016) Childhood overweight in Berlin: intra-urban differences and underlying influencing factors. *Int J Health Geogr* 15:12
- Henke JM, Petropoulos GP (2013) A GIS-based exploration of the relationships between human health, social deprivation and ecosystem services: the case of Wales, UK. *Appl Geogr* 45:77–88
- Maier W, Scheidt-Nave C, Holle R et al (2014) Area level deprivation is an independent determinant of prevalent type 2 diabetes and obesity at the national level in Germany. Results from the National Telephone Health Interview Surveys 'German Health Update' GEDA 2009 and 2010. *PLOS ONE* 9:e89661
- Babisch W, Wolf K, Petz M, Heinrich J, Cyrus J, Peters A (2014) Associations between traffic noise, particulate air pollution, hypertension, and isolated systolic hypertension in adults: the KORA study. *Environ Health Perspect* 122:492–498
- Nonnemacher M, Jakobs H, Viehmann A et al (2014) Spatio-temporal modelling of residential exposure to particulate matter and gaseous pollutants for the Heinz Nixdorf Recall Cohort. *Atmos Environ* 91:15–23
- Blettner M, Sauerbrei W, Schlehofer B, Scheuchenpflug T, Friedenreich C (1997) Vergleich von traditionellen Reviews, Metaanalysen und gepoolten Analysen zur Bewertung von Risikofaktoren. *Inform Biom Epidemiol Med Biol* 28:148–166
- Ressing M, Blettner M, Klug SJ (2009) Systematic literature reviews and meta-analyses: part 6 of a series on evaluation of scientific publications. *Dtsch Arztebl Int* 106:456–463
- Koller D, Mielck A (2009) Regional and social differences concerning overweight, participation in health check-ups and vaccination. Analysis of data from a whole birth cohort of 6-year old children in a prosperous German city. *BMC Public Health* 9:43
- Robert Koch-Institut (RKI) (2017) Arbeitsgemeinschaft Influenza. <https://influenza.rki.de/>. Zugegriffen: 11. Aug. 2017
- Pritzkeleit R, Eiseemann N, Richter A et al (2016) Krebsatlas Schleswig-Holstein: Räumliche Verteilung von Inzidenz, Mortalität und Überleben in den Jahren 2001 bis 2010. Institut für Krebs epidemiologie eV, Lübeck
- Hofmeister C, Maier W, Mielck A, Stahl L, Breckenkamp J, Razum O (2016) Regional deprivation in Germany: nation-wide analysis of its association with mortality using the German index of multiple deprivation (GIMD). *Gesundheitswesen* 78:42–48
- Gose M, Plachta-Danielzik S, Willie B, Johannsen M, Landsberg B, Müller MJ (2013) Longitudinal influences of neighbourhood built and social environment on children's weight status. *Int J Environ Res Public Health* 10:5083–5096
- Völker S, Kistemann T (2013) "I'm always entirely happy when I'm here!" Urban blue enhancing human health and well-being in Cologne and Düsseldorf, Germany. *Soc Sci Med* 78:113–124
- Depietri Y, Welle T, Renaud FG (2013) Social vulnerability assessment of the Cologne urban area (Germany) to heat waves: links to ecosystem services. *Int J Disaster Risk Reduct* 6:98–117
- Reimers AK, Wagner M, Alvanides S et al (2014) Proximity to sports facilities and sports participation for adolescents in Germany. *PLOS ONE* 9:e93059
- Schneider S, Gruber J (2013) Neighbourhood deprivation and outlet density for tobacco, alcohol and fast food: first hints of obesogenic and additive environments in Germany. *Public Health Nutr* 16:1168–1177
- Reyer M, Fina S, Siedentop S, Schlicht W (2014) Walkability is only part of the story: walking for transportation in Stuttgart, Germany. *Int J Environ Res Public Health* 11:5849–5865
- Keller R, Vance C (2013) Landscape pattern and car use: linking household data with satellite imagery. *J Transp Geogr* 33:250–257
- Eibich P, Krekel C, Demuth I, Wagner GG (2016) Associations between neighborhood characteristics, well-being and health vary over the life course. *Gerontology* 62:362–370
- Flacke J, Schule SA, Kockler H, Bolte G (2016) Mapping environmental inequalities relevant for health for informing Urban planning interventions—a case study in the city of Dortmund, Germany. *Int J Environ Res Public Health* 13:711–730
- Umweltbundesamt (UBA) (2017) Aktuelle Luftdaten – Beurteilung der Luftqualität. <https://www.>



- [umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/aktuelle-luftdaten#/start?s=q64FAA==&\\_k=r1piw](http://umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/aktuelle-luftdaten#/start?s=q64FAA==&_k=r1piw). Zugegriffen: 11. Aug. 2017
50. Diehl K, Schneider S (2011) How relevant are district characteristics in explaining subjective health in Germany? – A multilevel analysis. *Soc Sci Med* 72:1205–1210
  51. Walter N, Schweikart J (2006) Räumliche Disparitäten in der ambulanten Gesundheitsversorgung Berlins. Eine GIS-basierte Analyse. In: Strobl J, Blaschke T, Griesebner G (Hrsg) *Angewandte Geoinformatik 2006 Beiträge zu 18. AGIT-Symposium, Salzburg*. In: Herbert Wichmann, Heidelberg, S 704–708
  52. Stentzel U, Piegsa J, Fredrich D, Hoffmann W, van den Berg N (2016) Accessibility of general practitioners and selected specialist physicians by car and by public transport in a rural region of Germany. *BMC Health Serv Res* 16:587
  53. Bauer J, Gronenberg DA (2016) Measuring spatial accessibility of health care providers – introduction of a variable distance decay function within the floating catchment area (FCA) method. *PLOS ONE* 11:e159148
  54. Pieper J, Schweikart J (2009) Kleinräumige Modellierung der vertragsärztlichen Versorgungssituation in Berlin. *Z Amlt Stat Berl Brandenbg* 2:22–29
  55. Kottwitz A (2014) Mode of birth and social inequalities in health: the effect of maternal education and access to hospital care on cesarean delivery. *Health Place* 27:9–21
  56. Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (2017) INKAR – Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung
  57. Augustin J, Kistemann T, Koller D et al (2016) Gute Kartographische Praxis im Gesundheitswesen (GKPiG). Vorstellung einer Initiative. <http://health-geography.de/wp-content/uploads/2013/12/2014-Gute-Kartographische-Praxis-im-Gesundheitswesen-GKPiG.pdf>. Zugegriffen: 11. Aug. 2017
  58. Saß AC, Lange C, Finger JD et al (2017) Gesundheit in Deutschland aktuell – Neue Daten für Deutschland und Europa Hintergrund und Studienmethodik von GEDA 2014/2015-EHIS. *J Health Monit* 2:83–90
  59. Kurth BM (2007) Der Kinder- und Jugendgesundheitsurvey (KiGGS): Ein Überblick über Planung, Durchführung und Ergebnisse unter Berücksichtigung von Aspekten eines Qualitätsmanagements. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 50:533–546
  60. Scheidt-Nave C, Kamtsiuris P, Gößwald A et al (2012) German health interview and examination survey for adults (DEGS) – design, objectives and implementation of the first data collection wave. *BMC Public Health* 12:730–730
  61. Kurth BM, Lange C, Kamtsiuris P, Hölling H (2009) Gesundheitsmonitoring am Robert Koch-Institut. *Bundesgesundheitsblatt Gesundheitsforschung Gesundheitsschutz* 52:557–570
  62. Rommel A, Kroll LE (2017) Individual and regional determinants for physical therapy utilization in Germany: multilevel analysis of national survey data. *Phys Ther* 97:512. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzx022>
  63. Buck C, Dreger S, Pigeot I (2015) Anonymisation of address coordinates for microlevel analyses of the built environment: a simulation study. *BMJ Open* 5:1–7
  64. Buck C, Kneib T, Tkaczick T, Konstabel K, Pigeot I (2015) Assessing opportunities for physical activity in the built environment of children: interrelation between kernel density and neighborhood scale. *Int J Health Geogr* 14:35
  65. Luther S, Schweikart J, Scharlach H (2016) Gesundheit verbessern und fördern – Ein Schwerpunkt in der medizin-geografischen Forschung. *Public Health Forum* 24:59–61
  66. Ising H, Kruppa B (2004) Health effects caused by noise: evidence in the literature from the past 25 years. *Noise Health* 6:5–13
  67. Robert Koch-Institut (RKI) (Hrsg) (2015) *Gesundheit in Deutschland*. RKI, Berlin (Gesundheitsberichterstattung des Bundes. Gemeinsam getragen von RKI und Destatis)
  68. Valent F, Little DA, Bertolini R, Nemer LE, Barbone F, Tamburlini G (2004) Burden of disease attributable to selected environmental factors and injury among children and adolescents in Europe. *Lancet* 363:2032–2039
  69. Maier W, Fairburn J, Mielck A (2012) Regionale Deprivation und Mortalität in Bayern. Entwicklung eines Index Multipler Deprivation auf Gemeindeebene. *Gesundheitswesen* 74:416–425
  70. Kroll L, Schumann M, Hoebel J, Lampert T (2017) Regionale Unterschiede in der Gesundheit – Entwicklung eines sozioökonomischen Deprivationsindex für Deutschland. *J Health Monit* 2:103–120
  71. Dragano N, Bobak M, Wege N et al (2007) Neighbourhood socioeconomic status and cardiovascular risk factors: a multilevel analysis of nine cities in the Czech Republic and Germany. *BMC Public Health* 7:255
  72. Macintyre S, Ellaway A, Cummins S (2002) Place effects on health: how can we conceptualise, operationalise and measure them? *Soc Sci Med* 55:125–139
  73. Burgoine T, Alvanides S, Lake AA (2013) Creating obesogenic realities; do our methodological choices make a difference when measuring the food environment? *Int J Health Geogr* 12:33. <https://doi.org/10.1186/1476-072X-12-33>
  74. Schweikart J, Pieper J, Metzmacher A (2010) GIS-basierte und indikatorengestützte Bewertung der ambulanten ärztlichen Versorgungssituation in Berlin. *Kartograph Nachr* 6:306–313
  75. Interministerieller Ausschuss für Geoinformationssysteme (IMAGI) (2014) Behördenleitfaden zum Datenschutz bei Geodaten und -diensten. <http://www.imagi.de/SharedDocs/Downloads/IMAGI/DE/Imagi/behoerdenleitfaden.html>. Zugegriffen: 11. Aug. 2017
  76. Weichert T (2007) Der Personenbezug von Geodaten. *Datenschutz Datensicherh* 31:19
  77. Seiler M (2014) INSPIRE-Daten im Gesundheitswesen – Status und Potenzial. [http://gispoint.de/fileadmin/user\\_upload/paper\\_gis\\_open/AGIT\\_2014/537543078.pdf](http://gispoint.de/fileadmin/user_upload/paper_gis_open/AGIT_2014/537543078.pdf). Zugegriffen: 11. Aug. 2017
  78. Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) (2016) GDI-DE – Geodateninfrastruktur Deutschland. <http://www.geoportal.de/DE/GDI-DE/gdi-de.html?lang=de>. Zugegriffen: 11. Aug. 2017
  79. Kistemann T, Dangendorf F, Schweikart J (2002) New perspectives on the use of Geographical Information Systems (GIS) in environmental health sciences. *Int J Hyg Environ Health* 205:169–181