

UMWELT & GESUNDHEIT

03/2021

Differenzierung der Feinstaubexposition in Deutschland nach sozioökonomischem Status

Sachverständigengutachten im Auftrag des Umweltbundesamts

UMWELT & GESUNDHEIT 03/2021

Projektnummer 110467

FB000515

Differenzierung der Feinstaubexposition in Deutschland nach sozioökonomischem Status

Sachverständigengutachten im Auftrag des Umweltbundesamts

von

Dr. Philine Gaffron, Maximilian Freude
Institut für Verkehrsplanung und Logistik der Technischen
Universität Hamburg, Hamburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

 [umweltbundesamt.de](https://www.facebook.com/umweltbundesamt.de)

 [umweltbundesamt](https://twitter.com/umweltbundesamt)

Durchführung der Studie:

Institut für Verkehrsplanung und Logistik der Technischen Universität Hamburg
Am Schwarzenberg-Campus 3
21073 Hamburg

Abschlussdatum:

Dezember 2020

Redaktion:

Fachgebiet II 1.6 Expositionsschätzung, gesundheitsbezogene Indikatoren
Dr. Christian Schuster

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1868-4340

Dessau-Roßlau, Juni 2021

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzbeschreibung: Differenzierung der Feinstaubexposition in Deutschland nach sozioökonomischem Status.

Luftverschmutzung ist ein bedeutender Risikofaktor für die Gesundheit. Im vorliegenden Gutachten wurde untersucht, ob eine Differenzierung der Feinstaubexposition der Bevölkerung in Deutschland nach sozioökonomischem Status möglich ist. Zur Abschätzung der Feinstaubexposition wurde eine flächendeckende Darstellung der $PM_{2.5}$ Hintergrundbelastung in räumlicher Auflösung von $2 \times 2 \text{ km}^2$ genutzt, ergänzt um höher aufgelöste Datensätze für die Städte Hamburg (Gesamtbelastung, $100 \times 100 \text{ m}^2$) und Berlin (Hintergrundbelastung, $500 \times 500 \text{ m}^2$) für zusätzliche lokale Analysen. Als flächendeckende Indikatoren für den sozioökonomischen Status (SES) der Wohnbevölkerung wurden das jährliche Haushaltsnettoeinkommen ($1 \times 1 \text{ km}^2$) sowie Miet- und Kaufspiegel in €/m² (Baublockebene) verwendet. Nach verschiedenen Schritten der Datenaufbereitung (Baublockflächenkorrektur, Bevölkerungsgewichtung, räumliche Aggregation, SES-Standardisierung auf Gemeindeebene) wurden die jeweiligen Variablen für die drei Untersuchungsräume verschnitten und anhand von räumlichen Regressionsmodellen sowie varianzanalytischen Verfahren (ANOVA) auf statistische Zusammenhänge untersucht. In einigen Fällen waren signifikante Zusammenhänge zwischen Feinstaub- und SES-Variablen festzustellen, allerdings waren diese eher schwach ausgeprägt und nicht konsistent in den verschiedenen Untersuchungsräumen. Letztlich ließen die Daten somit keine belastbaren Aussagen zur Differenzierung der Feinstaubexposition zu, denn die flächendeckend verfügbaren Variablen für den SES der Bevölkerung waren nur eingeschränkt aussagekräftig. Die Variable Haushaltseinkommen wurde zwar als inhaltlich gut geeigneter SES-Indikator bewertet, war räumlich aber zu grob aufgelöst um kleinräumige Unterschiede abzubilden. Miet- und Kaufspiegel wiederum boten zwar eine geeignete räumliche Auflösung, geben den sozioökonomischen Status der Bevölkerung jedoch inhaltlich nur eingeschränkt wieder. Für eine bundesweite Differenzierung der Exposition gegenüber Feinstaub nach SES bräuchten zukünftige Studien vor allem flächendeckende Datensätze in präziserer räumlicher Auflösung.

Abstract: Differentiating exposure to particulate matter in Germany by socioeconomic status.

Air pollution is a significant risk factor for human health. This study investigated the possibility for differentiating the population exposure to particulate matter by socio-economic status in Germany. A nationwide dataset on $PM_{2.5}$ background concentrations at a resolution of $2 \times 2 \text{ km}^2$ was used to quantify exposure. $PM_{2.5}$ datasets for the cities of Hamburg (total concentrations at $100 \times 100 \text{ m}^2$) and Berlin (background concentrations at $500 \times 500 \text{ m}^2$) were used for additional local analyses. The annual net household income (at $1 \times 1 \text{ km}^2$) as well as housing rent and purchase price indices (at block level) were used as indicators for socio-economic status (SES). Data pre-processing included validation of housing block data, population weighting, spatial aggregation and SES-standardization at municipal level. The relevant variables for the three study areas were overlaid and their statistical relationships examined using spatial regression and Analysis of Variance (ANOVA) models. Some correlations between particulate matter concentrations and SES variables were significant but weak in magnitude, without clear trends and not fully consistent across the study areas. Overall, the data thus did not allow for a reliable differentiation of $PM_{2.5}$ exposure as the variables with country-wide coverage offered only limited information on the population's SES. The household income variable was considered to be a meaningful indicator for SES but its spatial resolution was too coarse to depict fine-scale variations. Residential rent and purchase price indices on the other hand had an appropriate spatial resolution but represented SES only in approximation. In order to differentiate exposure to particulate matter by SES in Germany, future studies would require nationwide datasets with finer spatial resolutions.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	10
Tabellenverzeichnis	14
Abkürzungsverzeichnis	20
Zusammenfassung.....	22
Summary	25
1 Hintergrund und Zielsetzung des Gutachtens.....	28
1.1 Hintergrund.....	28
1.2 Zielsetzung	28
2 Konzeptentwicklung	31
2.1 Recherche sozioökonomischer Indizes	31
2.1.1 Literaturrecherche in der MEDLINE-Datenbank	31
2.1.2 Dokumentation der ausgewerteten Indizes	33
2.2 Datenrecherche zu potenziell geeigneten Indikatoren	47
2.3 Workshop mit Expertin und Experten	51
2.3.1 Zielsetzung und Teilnehmende.....	51
2.3.2 Schlussfolgerungen für das weitere Vorgehen	52
2.4 Ausgewählte Variablen	53
3 Datenaufbereitung am Beispiel Hamburgs und verwendete statistische Methoden.....	55
3.1 Sozioökonomische Indikatoren.....	55
3.1.1 Originaldaten	55
3.1.1.1 Miet- und Kaufspiegel.....	55
3.1.1.2 Haushaltseinkommen	58
3.1.2 Baublockflächenkorrektur der infas360 Daten für Hamburg	59
3.1.2.1 Abgleich mit Daten des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS).....	60
3.1.2.2 Abgleich mit 100 x 100 m ² Zensusraster	66
3.1.2.3 Flächengewichtete Zuweisung von Einwohnerdaten	67
3.1.2.4 Fazit für weiteres methodisches Vorgehen	69
3.2 Feinstaubdaten	70
3.2.1 Originaldaten	70
3.2.2 Feinstaubbelastung und SES-Indikatoren – räumliche Zusammenführung.....	71
3.2.2.1 PM _{2.5} und Baublöcke – Auswahl der Aggregationsebene.....	71
3.2.2.2 Verschneiden auf Ebene der Baublöcke	72

3.2.2.3	Verschneiden auf Rasterebene.....	72
3.2.2.4	Weiteres methodisches Vorgehen	73
3.3	Arbeitsdatensätze für Hamburg.....	73
3.4	Statistische Methodik	75
3.4.1	Extremwerte	75
3.4.2	z-Transformation	75
3.4.3	Räumliche Regressionsanalyse	75
3.4.4	Einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA)	77
3.4.4.1	Generelles Vorgehen	77
3.4.4.2	Gruppenbildung für die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA).....	77
4	Arbeitsdaten für Berlin und Deutschland.....	80
4.1	Berlin	80
4.1.1	Sozioökonomische Indikatoren.....	80
4.1.1.1	Miet- und Kaufspiegel.....	80
4.1.1.2	Haushaltseinkommen	82
4.1.2	Feinstaubdaten	83
4.2	Deutschland	84
4.2.1	Sozioökonomische Indikatoren.....	84
4.2.1.1	Miet- und Kaufspiegel.....	84
4.2.1.2	Haushaltseinkommen	86
4.2.2	Feinstaubdaten	88
4.3	Ergänzende Schritte der Datenaufbereitung	90
4.3.1	z-Transformation	90
4.3.2	Räumliche Verschneidungen der Variablen.....	91
5	Zusammenhänge der Variablen innerhalb der Domänen SES und Feinstaubbelastung.....	93
5.1	SES Indikatoren	93
5.1.1	Hamburg	93
5.1.2	Berlin	94
5.1.3	Deutschland	95
5.2	Feinstaubvariablen.....	96
5.2.1	Hamburg: 100 x 100 m ² und 2 x 2 km ²	96
5.2.2	Berlin: 500 x 500 m ² und 2 x 2 km ²	98
5.3	Vergleichende Betrachtung der Zusammenhänge für die Untersuchungsräume Hamburg und Berlin	100

6	Differenzierung der sozioökonomischen Merkmale nach Feinstaubbelastung – explorative Betrachtung	102
6.1	Hamburg	102
6.2	Berlin	108
6.3	Deutschland	111
7	Regressionen und ANOVA – Untersuchung der statistischen Zusammenhänge	114
7.1	Hamburg	114
7.1.1	Regressionsanalysen SES-Indikatoren ~ Feinstaubbelastung	114
7.1.2	ANOVA der SES-Indikatoren in Feinstaubdezilen	115
7.1.2.1	Verortung statistisch auffälliger Fallgruppen im Betrachtungsraum Hamburg	121
7.2	Berlin	123
7.2.1	Regressionsanalysen SES-Indikatoren ~ Feinstaubbelastung	123
7.2.2	ANOVA der SES-Indikatoren in Feinstaubdezilen	125
7.2.2.1	Verortung statistisch auffälliger Fallgruppen im Betrachtungsraum Berlin	130
7.3	Deutschland	131
7.3.1	Regressionsanalysen SES-Indikatoren ~ Feinstaubbelastung	131
7.3.2	ANOVA der SES-Indikatoren in Feinstaubdezilen	131
7.3.2.1	Verortung der statistisch auffälligen Fallgruppe im Betrachtungsraum Deutschland	135
7.4	Vergleichende Betrachtung der Untersuchungsräume	137
8	Auswertung und Defizitanalyse	139
8.1	Schlussfolgerungen	139
8.2	Defizitanalysen	141
8.2.1	Eigenschaften der Datensätze	141
8.2.2	Datenaufbereitung	143
8.2.3	Inhaltliche Einschränkungen der verfügbaren Datensätze	145
9	Erkenntnisse und Empfehlungen	148
9.1	Forschungsfragen	148
9.2	SES-Daten	150
9.3	Feinstaubbelastung	151
10	Literaturverzeichnis	154
11	Anhänge	160
A	Ergebnisse der Recherche zur Datenverfügbarkeit für die mögliche Bildung eines deutschlandweiten SES-Index	161
B	Metainformationen zu den verwendeten Datensätzen	175

C	Deskriptive Statistiken der verwendeten Variablen	183
C.1	Realdatensätze	183
C.2	z-transformierte Datensätze	188
D	Erläuterung der Global Moran's / Statistic	190
E	Punktdiagramme / Scatterplots	191
E.1	Daten für Hamburg	191
E.2	Daten für Berlin	195
E.3	Daten für Deutschland	199
F	Tabellen der post-hoc Tests nach Games-Howell für Varianzanalysen in Kapitel 7	202
F.1	Hamburg	202
F.2	Berlin	212
F.3	Deutschland	221
G	3D-Abbildungen der SES-Indikatoren	230
G.1	Hamburg	230
G.2	Berlin	233

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Dokumentation der Suchabfragen mit Vorgabe	32
Abbildung 2:	Dokumentation der Abfragen mit Fokussierung auf Titel und Abstrakt	33
Abbildung 3:	Boxplots für Miet- und Kaufspiegeldaten in €/m ² auf Baublockebene für Hamburg.....	56
Abbildung 4:	Karte des Mietspiegels in €/m ² auf Baublockebene für Hamburg	57
Abbildung 5:	Karte des Kaufspiegels in €/m ² auf Baublockebene für Hamburg	57
Abbildung 6:	Boxplot für das durchschnittliche Haushaltseinkommen in €/Jahr auf 1 x 1 km ² für Hamburg.....	58
Abbildung 7:	Karte des durchschnittlichen Haushaltseinkommens in €/Jahr auf 1 x 1 km ² für Hamburg.....	59
Abbildung 8:	Abgleich der Flächennutzungen nach ATKIS mit den infas360 Baublöcken	61
Abbildung 9:	Quantitative Ergebnisse der Flächenkorrektur anhand von ATKIS Daten	62
Abbildung 10:	Effekte der Flächenkorrektur von infas360 Baublöcken durch Abgleich mit ATKIS-Basis DLM Flächen – Ausschnitt.....	63
Abbildung 11:	Abgleich von a) Baublöcken bewohnt nach infas360 und ATKIS mit b) Baublöcken unbewohnt nach infas360 aber bewohnt nach ATKIS.....	64
Abbildung 12:	infas360 Baublöcke ‚bewohnt‘, die bei einem ATKIS-Abgleich entfallen.....	65
Abbildung 13:	Korrekturverfahren für infas360-Baublöcke mit Miet- und Kaufspiegeldaten - oben: Ergebnis des Abgleichs mit bewohnten 100 x 100 m ² Zensusrasterzellen; unten: Ergebnis des Abgleichs mit ATKIS-Flächen.....	67
Abbildung 14:	Karte des Mietspiegels in €/m ² auf Baublockebene für Hamburg nach Flächenkorrektur.....	68
Abbildung 15:	Karte des Kaufspiegels in €/m ² auf Baublockebene für Hamburg nach Flächenkorrektur.....	69
Abbildung 16:	Boxplot für die lokale Belastung mit µg/m ³ PM _{2.5} auf 100 x 100 m ² in Hamburg	70
Abbildung 17:	Karte der Belastung mit PM _{2.5} auf 100 x 100 m ² für Hamburg.....	71
Abbildung 18:	Boxplots für Miet- und Kaufspiegeldaten in €/m ² auf Baublockebene für Berlin	80
Abbildung 19:	Karte des Mietspiegels in €/m ² auf Baublockebene für Berlin.....	81
Abbildung 20:	Karte des Kaufspiegels in €/m ² auf Baublockebene für Berlin	81
Abbildung 21:	Boxplot für das durchschnittliche Haushaltsnettoeinkommen in €/Jahr auf 1 x 1 km ² für Berlin	82
Abbildung 22:	Karte des durchschnittlichen Haushaltseinkommens in €/Jahr auf 1 x 1 km ² für Berlin	82

Abbildung 23:	Boxplot für die Hintergrundbelastung mit $PM_{2.5}$ in $\mu g/m^3$ auf 500 x 500 m^2 in Berlin.....	83
Abbildung 24:	Karte der Hintergrundbelastung mit $PM_{2.5}$ in $\mu g/m^3$ auf 500 x 500 m^2 in Berlin	83
Abbildung 25:	Boxplots für Miet- und Kaufspiegeldaten in €/m ² auf Baublockebene für Deutschland	84
Abbildung 26:	Karte des Mietspiegels in €/m ² auf Baublockebene für Deutschland ^a	85
Abbildung 27:	Karte des Kaufspiegels in €/m ² auf Baublockebene für Deutschland ^b	86
Abbildung 28:	Boxplot für das durchschnittliche Haushaltseinkommen in €/Jahr auf 1 x 1 km ² für Deutschland	87
Abbildung 29:	Karte des durchschnittlichen Haushaltseinkommens in €/Jahr auf 1 x 1 km ² für Deutschland	88
Abbildung 30:	Boxplot für die Hintergrundbelastung mit $PM_{2.5}$ in $\mu g/m^3$ auf 2 x 2 m^2 in Deutschland	89
Abbildung 31:	Karte der Hintergrundbelastung mit $PM_{2.5}$ in Deutschland auf 2 x 2 km ²	90
Abbildung 32:	Mittelwerte des Mietspiegels in €/m ² auf Baublockebene sowie Anzahl der Wohnbevölkerung je μg -Schritt der Feinstaubbelastung in Hamburg (Mittelwert gesamt = 9,12 €/m ²)	104
Abbildung 33:	Mittelwerte des Kaufspiegels in €/m ² auf Baublockebene sowie Anzahl der Wohnbevölkerung je μg -Schritt der Feinstaubbelastung in Hamburg (Mittelwert gesamt = 3.879 €/m ²)	106
Abbildung 34:	Mittelwerte des Haushaltseinkommens in €/Jahr auf 1 x 1km ² sowie Anzahl der Wohnbevölkerung je $\mu g/m^3$ -Schritt der Feinstaubbelastung in Hamburg (Mittelwert gesamt = 47.418 €/Jahr)	107
Abbildung 35:	Mittelwerte des Mietspiegels in €/m ² auf 500 x 500 m^2 sowie Anzahl der Wohnbevölkerung je $\mu g/m^3$ -Schritt der Feinstaubhintergrundbelastung in Berlin (Mittelwert gesamt = 7,53 €/m ²)	108
Abbildung 36:	Mittelwerte des Kaufspiegels in €/m ² auf 500 x 500 m^2 sowie Anzahl der Wohnbevölkerung je $\mu g/m^3$ -Schritt der Feinstaubhintergrundbelastung in Berlin (Mittelwert gesamt = 3.065 €/m ²)	109
Abbildung 37:	Mittelwerte des Haushaltseinkommens in €/Jahr auf 1 x 1km ² sowie Anzahl der Wohnbevölkerung je $\mu g/m^3$ -Schritt der Feinstaubhintergrundbelastung in Berlin (Mittelwert gesamt = 39.776 €/Jahr)	110
Abbildung 38:	Mittelwerte der z-Werte für die SES-Variablen auf 2 x 2 km ² sowie Anzahl der Wohnbevölkerung je $\mu g/m^3$ -Schritt der Feinstaubhintergrundbelastung in Deutschland	113

Abbildung 39:	Dezile der PM _{2,5} Belastung auf Ebene der Hamburger Baublöcke (N=1.000 bis 1.002)	116
Abbildung 40:	Dezile der PM _{2,5} Belastung auf Ebene des 1 x 1 km ² Rasters für Hamburg (N=56 bis 57)	116
Abbildung 41:	Fallgruppen der Mietspiegelwerte auf Baublockebene in Feinstaubdezilen für Hamburg	118
Abbildung 42:	Fallgruppen der Kaufspiegelwerte auf Baublockebene in Feinstaubdezilen für Hamburg	118
Abbildung 43:	Fallgruppen des jährlichen Haushaltseinkommens für Hamburg (1 x 1 km ²) in Feinstaubdezilen	119
Abbildung 44:	Lage der Feinstaubdezile 7-10 in Hamburg auf Ebene der Baublöcke	122
Abbildung 45:	Lage der Feinstaubdezile 8-10 in Hamburg auf der 1 x 1 km ² Ebene	123
Abbildung 46:	Dezile der PM _{2,5} Hintergrundbelastung auf Ebene des Berliner 500 x 500 m ² Rasters (N=270 bis 271)	125
Abbildung 47:	Dezile der PM _{2,5} Hintergrundbelastung auf Ebene des Berliner 1 x 1 km ² Rasters (N=89 bis 90)	126
Abbildung 48:	Fallgruppen der Mietspiegelwerte für Berlin (500 x 500 m ²) in Feinstaubdezilen	127
Abbildung 49:	Fallgruppen der Kaufspiegelwerte für Berlin (500 x 500 m ²) in Feinstaubdezilen	127
Abbildung 50:	Fallgruppen des jährlichen Haushaltseinkommens für Berlin (1 x 1 km ²) in Feinstaubdezilen	128
Abbildung 51:	Lage der Feinstaubdezile 5-10 in Berlin auf 500 x 500 m ² Ebene	130
Abbildung 52:	Lage der Feinstaubdezile in Berlin auf 1 x 1 km ² Ebene	131
Abbildung 53:	Dezile der PM _{2,5} Hintergrundbelastung auf Ebene des 2 x 2 km ² Rasters für Deutschland für alle Zellen mit Miet- und Kaufspiegeldaten (N=7.265 bis 9.066)	132
Abbildung 54:	Dezile der PM _{2,5} Hintergrundbelastung auf Ebene des 2 x 2 km ² Rasters für Deutschland für alle Zellen mit Daten zum Haushaltseinkommen (N=7.498 bis 9.444)	132
Abbildung 55:	Lage der Fälle im 10. Feinstaubdezil in Deutschland auf 2 x 2 km ² Ebene	136
Abbildung 56:	Mittelwertdiagramme der SES-Indikatoren in Dezilen der Feinstaubbelastung der jeweiligen Untersuchungsräume	138
Abbildung 57:	Darstellung von zwei 1 x 1 km ² Rasterzellen in Hamburg (rot markiert) mit Baublöcken (blau markiert) und Bebauungsstruktur; links: zentrale Lage, rechts: dezentrale Lage	144
Abbildung 58:	Vergleichende Darstellung der PM _{2,5} Belastung in µg/m ³ für Hamburg in Dezilen des jeweiligen Datensatzes: lokale Gesamtbelastung auf 100 x 100 m ² (links) und Hintergrundbelastung auf 2 x 2 km ² (rechts)	146

Abbildung 59:	Muster räumlicher Datenverteilung – schematische Darstellung.....	190
Abbildung 60:	Mietspiegel und Kaufspiegel (in €/m ²) auf Ebene der Baublöcke – Hamburg	191
Abbildung 61:	Mietspiegel und PM _{2.5} Belastung auf Ebene der Baublöcke – Hamburg	191
Abbildung 62:	Kaufspiegel und PM _{2.5} Belastung auf Ebene der Baublöcke – Hamburg	192
Abbildung 63:	Haushaltseinkommen und Mietspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km ² Zensusrasters – Hamburg	192
Abbildung 64:	Haushaltseinkommen und Kaufspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km ² Zensusrasters – Hamburg	193
Abbildung 65:	Haushaltseinkommen und PM _{2.5} Belastung (flächengewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km ² Zensusrasters – Hamburg.....	193
Abbildung 66:	PM _{2.5} Belastung auf 2 x 2 km ² – Hintergrundbelastungswerte des UBA und flächengewichtetes Mittel der HZG-Daten – Hamburg	194
Abbildung 67:	Mietspiegel und Kaufspiegel (in €/m ²) auf Ebene der Baublöcke – Berlin	195
Abbildung 68:	Mietspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) und PM _{2.5} Belastung auf Ebene des 500 x 500 m ² Rasters – Berlin	195
Abbildung 69:	Kaufspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) und PM _{2.5} Belastung auf Ebene des 500 x 500 m ² Rasters – Berlin	196
Abbildung 70:	Haushaltseinkommen und Mietspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km ² Zensusrasters – Berlin	196
Abbildung 71:	Haushaltseinkommen und Kaufspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km ² Zensusrasters – Berlin	197
Abbildung 72:	Haushaltseinkommen und PM _{2.5} Belastung (flächengewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km ² Zensusrasters – Berlin	197
Abbildung 73:	PM _{2.5} Belastung auf 2 x 2 km ² – Hintergrundbelastungswerte des UBA und flächengewichtetes Mittel der SenUVK-Daten – Berlin.....	198
Abbildung 74:	Mietspiegel und Kaufspiegel (in €/m ²) auf Ebene der Baublöcke (Daten z-transformiert auf Gemeindeebene) – Deutschland	199
Abbildung 75:	Haushaltseinkommen und Mietspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km ² Zensusrasters (Daten z-transformiert auf Gemeindeebene) – Deutschland.....	199

Abbildung 76:	Haushaltseinkommen und Kaufspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km ² Zensusrasters (Daten z-transformiert auf Gemeindeebene) – Deutschland.....	200
Abbildung 77:	Mietspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel, z-transformiert auf Gemeindeebene) und PM _{2.5} Belastung auf Ebene des 2 x 2 km ² UBA Rasters – Deutschland	200
Abbildung 78:	Kaufspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel, z-transformiert auf Gemeindeebene) und PM _{2.5} Belastung auf Ebene des 2 x 2 km ² UBA Rasters – Deutschland	201
Abbildung 79:	Haushaltseinkommen (bevölkerungsgewichtetes Mittel, z- transformiert auf Gemeindeebene) und PM _{2.5} Belastung auf Ebene des 2 x 2 km ² UBA Rasters – Deutschland	201
Abbildung 80:	3D-Abbildung des Indikators Haushaltseinkommen (€/Jahr) in Hamburg, dargestellt in 5 äquidistanten Klassen.....	230
Abbildung 81:	3D-Abbildung des Indikators Kaufspiegel (€/m ²) in Hamburg (aufbereiteter Datensatz), dargestellt in 5 äquidistanten Klassen	231
Abbildung 82:	3D-Abbildung des Indikators Mietspiegel (€/m ²) in Hamburg (aufbereiteter Datensatz), dargestellt in 5 äquidistanten Klassen	232
Abbildung 83:	3D-Abbildung des Indikators Haushaltseinkommen (€/Jahr) in Berlin, dargestellt in 5 äquidistanten Klassen	233
Abbildung 84:	3D-Abbildung des Indikators Kaufspiegel (€/m ²) in Berlin (aufbereiteter Datensatz), dargestellt in 5 äquidistanten Klassen	234
Abbildung 85:	3D-Abbildung des Indikators Mietspiegel (€/m ²) in Berlin (aufbereiteter Datensatz), dargestellt in 5 äquidistanten Klassen	235

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	German Index of Social Deprivation – GISD	35
Tabelle 2:	German Index of Multiple Deprivation – GIMD	36
Tabelle 3:	Indikatorenset „Umweltgerechtigkeit im städtischen Raum“	37
Tabelle 4:	English Index of Multiple Deprivation – EIMD.....	38
Tabelle 5:	European Deprivation Index France – F-EDI.....	40
Tabelle 6:	European Deprivation Index Portugal – PT-EDI.....	41
Tabelle 7:	European Deprivation Index Slovenia – SI-EDI.....	41
Tabelle 8:	Danish Deprivation Index – DANDEX.....	42
Tabelle 9:	Care Need Index – CNI (Sweden).....	43
Tabelle 10:	New Zealand Deprivation Index – NZDep	44
Tabelle 11:	Small Area Deprivation Index – SADI (Straßburg, Frankreich)	45

Tabelle 12:	Socio-economic Factor Index – SEFI (Provinz Manitoba, Kanada)	46
Tabelle 13:	Deprivation Index for Health and Welfare Planning in Quebec – DIHWPQ (Provinz Quebec, Kanada)	46
Tabelle 14:	Für das Gutachten bevorzugte Indikatoren (bzw. Stellvertreterindikatoren)	48
Tabelle 15:	Global Moran’s / Statistik für Hamburger Miet- und Kaufspiegel sowie Feinstaubdaten	72
Tabelle 16:	Deskriptive Statistiken der Arbeitsdatensätze für Hamburg mit Darstellung der Veränderung der Werte gegenüber den Originaldatensätzen in Prozent	74
Tabelle 17:	Ergebnis einer Gruppierung der Baublockdaten für Hamburg anhand äquidistanter Gruppen der PM _{2.5} Belastung.....	78
Tabelle 18:	Ergebnis einer Gruppierung der Daten zum Haushaltseinkommen (1 x 1 km ²) für Hamburg anhand äquidistanter Gruppen der PM _{2.5} Belastung	79
Tabelle 19:	Global Moran’s / Statistiken für Hamburger SES-Indikatoren auf Baublock- und 1 x 1 km ² Ebene	93
Tabelle 20:	Ergebnis der räumlichen Regressionsanalysen der z-standardisierten SES-Variablen für Hamburg	94
Tabelle 21:	Global Moran’s / Statistik für Berliner Miet- und Kaufspiegel sowie Haushaltseinkommen	94
Tabelle 22:	Ergebnis der räumlichen Regressionsanalysen der z-standardisierten SES-Variablen für Berlin.....	95
Tabelle 23:	Global Moran’s / Statistik für Miet- und Kaufspiegel sowie Haushaltseinkommen für Deutschland	96
Tabelle 24:	Deskriptive Statistiken für PM _{2.5} in µg/m ³ auf 2 x 2 km ² für Hamburg – Hintergrund- und Gesamtbelastung.....	97
Tabelle 25:	Ergebnis der räumlich-statistischen Analysen der Feinstaubvariablen für Hamburg auf Ebene des 2 x 2 km ² Rasters	98
Tabelle 26:	Deskriptive Statistiken der Feinstaubvariablen für Berlin auf Ebene des 2 x 2 km ² Rasters	99
Tabelle 27:	Ergebnis der räumlich-statistischen Analysen von Feinstaubvariablen für Berlin auf 2 x 2 km ² Ebene	99
Tabelle 28:	Korrelationen der Variablen innerhalb der Domänen SES und Feinstaubbelastung	100
Tabelle 29:	Hamburger Mietspiegeldaten in €/m ² auf Baublockebene zusammengefasst nach µg/m ³ -Schritten der Feinstaubbelastung	103
Tabelle 30:	Hamburger Kaufspiegeldaten in €/m ² auf Baublockebene zusammengefasst nach µg/m ³ -Schritten der Feinstaubbelastung	105

Tabelle 31:	Daten für Hamburg zum Haushaltseinkommen in €/Jahr auf 1 x 1 km ² zusammengefasst nach µg/m ³ -Schritten der Feinstaubbelastung	107
Tabelle 32:	Berliner Mietspiegeldaten in €/m ² auf 500 x 500 m ² zusammengefasst nach µg/m ³ -Schritten der Feinstaubhintergrundbelastung	108
Tabelle 33:	Berliner Kaufspiegeldaten in €/m ² auf 500 x 500 m ² zusammengefasst nach µg/m ³ -Schritten der Feinstaubhintergrundbelastung	109
Tabelle 34:	Daten für Berlin zum Haushaltseinkommen in €/Jahr auf 1 x 1 km ² zusammengefasst nach µg/m ³ -Schritten der Feinstaubhintergrundbelastung	110
Tabelle 35:	z-Werte der Mietspiegeldaten in €/m ² für Deutschland auf 2 x 2 km ² zusammengefasst nach µg/m ³ -Schritten der Feinstaubhintergrundbelastung	111
Tabelle 36:	z-Werte der Kaufspiegeldaten in €/m ² für Deutschland auf 2 x 2 km ² , zusammengefasst nach µg/m ³ -Schritten der Feinstaubhintergrundbelastung	112
Tabelle 37:	z-Werte der Daten zum Haushaltseinkommen in €/Jahr für Deutschland auf 2 x 2 km ² , zusammengefasst nach µg/m ³ - Schritten der Feinstaubhintergrundbelastung	112
Tabelle 38:	Ergebnis der räumlichen Regressionsanalysen von z-Werten des Hamburger Miet- und Kaufspiegels und lokaler Feinstaubbelastung auf Baublockebene	115
Tabelle 39:	Ergebnis der räumlichen Regressionsanalysen von z-Werten des Hamburger Haushaltseinkommens und lokaler Feinstaubbelastung auf 1 x 1 km ²	115
Tabelle 40:	Ergebnis der ANOVA für Miet- und Kaufspiegel (Baublockebene) sowie Haushaltseinkommen (1 x 1 km ²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung in Hamburg	117
Tabelle 41:	Fallgruppen der Mietspiegeldaten für Hamburg (Baublockebene) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden *p<0,05 und Mittelwertdiagramm.....	119
Tabelle 42:	Fallgruppen der Kaufspiegeldaten für Hamburg (Baublockebene) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden *p<0,05 und Mittelwertdiagramm.....	120
Tabelle 43:	Fallgruppen des Haushaltseinkommens für Hamburg (1 x 1 km ²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden *p<0,05 und Mittelwertdiagramm.....	121
Tabelle 44:	Ergebnis der räumlichen Regressionsanalysen von z-Werten des Berliner Miet- und Kaufspiegels und Feinstaubhintergrundbelastung auf 500 x 500 m ²	124

Tabelle 45:	Ergebnis der räumlichen Regressionsanalyse von z-Werten des Berliner Haushaltseinkommens und der Feinstaubhintergrundbelastung auf 1 x 1 km ²	124
Tabelle 46:	Ergebnis der ANOVA für Miet- und Kaufspiegel (500 x 500 m ²) sowie Haushaltseinkommen (1 x 1 km ²) in Berlin nach Dezilen der Feinstaubbelastung	126
Tabelle 47:	Fallgruppen der Mietspiegeldaten für Berlin (500 x 500 m ²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden *p<0,05 und Mittelwertdiagramm	128
Tabelle 48:	Fallgruppen der Kaufspiegeldaten für Berlin (500 x 500 m ²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden *p<0,05 und Mittelwertdiagramm	129
Tabelle 49:	Fallgruppen des Haushaltseinkommens für Berlin (1 x 1 km ²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden *p<0,05 und Mittelwertdiagramm	129
Tabelle 50:	Ergebnis der ANOVA für z-Werte der Miet- und Kaufspiegel (N = 80.079) sowie Haushaltseinkommen in Deutschland (N = 83.291) nach Dezilen der Feinstaubhintergrundbelastung auf 2 x 2 km ²	133
Tabelle 51:	Fallgruppen der z-normalisierten Mietspiegeldaten für Deutschland (2 x 2 km ²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden *p<0,05 und Mittelwertdiagramm	134
Tabelle 52:	Fallgruppen der z-normalisierten Kaufspiegeldaten für Deutschland (2 x 2 km ²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden *p<0,05 und Mittelwertdiagramm	134
Tabelle 53:	Fallgruppen der z-normalisierten Daten zum Haushaltseinkommen für Deutschland (2 x 2 km ²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden *p<0,05 und Mittelwertdiagramm	135
Tabelle 54:	Datenangebot der Datenquelle: INKAR – Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung.....	162
Tabelle 55:	Datenangebot der Datenquelle: Zensus 2011.....	163
Tabelle 56:	Datenangebot der Datenquelle: Eurostat	164
Tabelle 57:	Datenangebot der Datenquelle: LebensRäume – Bevölkerungsumfrage des BBSR.....	165
Tabelle 58:	Datenangebot der Datenquelle: Regionalatlas Deutschland	166
Tabelle 59:	Datenangebot der Datenquelle: Forschungsdatenzentrum Ruhr am RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung	167
Tabelle 60:	Datenquelle: Statistik der Grundsicherung für Arbeitssuchende nach §53 SGB II der Bundesagentur für Arbeit (verfügbar vor Ort bei IT NRW).....	168

Tabelle 61:	Datenquelle: Monitoring Soziale Stadtentwicklung Berlin (Raumbezug : Planungsräume, Bezirksregionen (vergleichbare Ebene : 195 Statistische Gebiete).....	169
Tabelle 62:	Datenquelle: Sozialmonitoring Hamburg (Raumbezug: statistische Gebiete)	172
Tabelle 63:	infas 360 – ursprünglich angefragte Daten	174
Tabelle 64:	Datensatz Mietspiegel in €/m ² auf Baublockebene	175
Tabelle 65:	Datensatz Kaufspiegel in €/m ² auf Baublockebene.....	176
Tabelle 66:	Datensatz Haushaltseinkommen im €/Jahr auf 1 x 1 km ²	177
Tabelle 67:	Datensatz Belastung mit PM _{2,5} in µg/m ³ auf 100 x 100 m ² für Hamburg	178
Tabelle 68:	Datensatz zur Hintergrundbelastung mit PM _{2,5} in µg/m ³ auf 500 x 500 m ² für Berlin	179
Tabelle 69:	Datensatz zur Hintergrundbelastung mit PM _{2,5} in µg/m ³ auf 2 x 2km ² für Deutschland	180
Tabelle 70:	Datensatz ATKIS-Daten des Digitalen Basis- Landschaftsmodell für Hamburg	181
Tabelle 71:	Datensatz Einwohnerzahl laut Zensus 2011 für Deutschland auf 100 x 100 m ²	182
Tabelle 72:	Deskriptive Statistiken der SES-Indikatoren für Hamburg	183
Tabelle 73:	Deskriptive Statistiken der lokalen Belastung mit PM _{2,5} in µg/m ³ in Hamburg auf 100 x 100 m ²	183
Tabelle 74:	Deskriptive Statistiken der SES-Indikatoren für Berlin	184
Tabelle 75:	Deskriptive Statistiken der Hintergrundbelastung mit PM _{2,5} µg/m ³ auf 500 x 500 m ² in Berlin.....	184
Tabelle 76:	Deskriptive Statistiken der Datensätze Mietspiegel und Kaufspiegel (€/m ²) auf Baublockebene (infas360) nach Baublockflächenkorrektur und Zuweisung der Einwohnerzahlen für Berlin	185
Tabelle 77:	Deskriptive Statistiken des Mietspiegels in €/m ² und Kaufspiegels in €/m ² auf Baublockebene für Deutschland	185
Tabelle 78:	Deskriptive Statistiken der Datensätze Mietspiegel und Kaufspiegel (€/m ²) auf Baublockebene (infas360) nach Baublockflächenkorrektur und Zuweisung der Einwohnerzahlen für Deutschland	186
Tabelle 79:	Deskriptive Statistiken der Daten zum Haushaltseinkommen in €/Jahr auf 1 x 1 km ² für Deutschland	186
Tabelle 80:	Deskriptive Statistiken der Hintergrundbelastung mit µg/m ³ PM _{2,5} für Deutschland auf 2 x 2 km ²	187
Tabelle 81:	Deskriptive Statistiken der z-transformierten Variablen Mietspiegel und Kaufspiegel auf Baublockebene sowie Mietspiegel, Kaufspiegel und Haushaltseinkommen auf Ebene des 1 x 1 km ² Rasters für Hamburg	188

Tabelle 82:	Deskriptive Statistiken der z-transformierten Variablen Mietspiegel und Kaufspiegel auf Baublockebene sowie Mietspiegel, Kaufspiegel und Haushaltseinkommen auf Ebene des 1 x 1 km ² Rasters für Berlin	188
Tabelle 83:	Deskriptive Statistiken der z-transformierten Variablen Mietspiegel und Kaufspiegel auf Baublockebene sowie Mietspiegel, Kaufspiegel und Haushaltseinkommen auf Ebene des 1 x 1 km ² Rasters für Deutschland	189
Tabelle 84:	post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen der Mietspiegeldaten (Baublockebene) für Hamburg in Dezilen der Feinstaubbelastung	202
Tabelle 85:	post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen der Kaufspiegeldaten (Baublockebene) für Hamburg in Dezilen der Feinstaubbelastung	205
Tabelle 86:	post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen des jährlichen Haushaltseinkommens (1 x 1 km ² Raster) für Hamburg in Dezilen der Feinstaubbelastung	208
Tabelle 87:	post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen des Mietspiegels (500 x 500 m ² Raster) für Berlin in Dezilen der Feinstaubhintergrundbelastung	212
Tabelle 88:	post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen des Kaufspiegels (500 x 500 m ² Raster) für Berlin in Dezilen der Feinstaubhintergrundbelastung	215
Tabelle 89:	post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen des Haushaltseinkommens (1 x 1 km ² Raster) für Berlin in Dezilen der Feinstaubhintergrundbelastung	218
Tabelle 90:	post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen des Mietspiegels (gemeindebasierte z-Werte aggregiert auf 2 x 2 km ²) für Deutschland in Dezilen der Feinstaubhintergrundbelastung.....	221
Tabelle 91:	post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen des Kaufspiegels (gemeindebasierte z-Werte aggregiert auf 2 x 2 km ²) für Deutschland in Dezilen der Feinstaubhintergrundbelastung.....	224
Tabelle 92:	post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen des Haushaltseinkommens (gemeindebasierte z-Werte aggregiert auf 2 x 2 km ²) für Deutschland in Dezilen der Feinstaubhintergrundbelastung.....	227

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Abkürzungserklärung
β_z	Regressionskoeffizient für Datensatz mit z-normalisierten Werten
ALG	Arbeitslosengeld
AIK	Akaike Informationskriterium
ANOVA	Analysis of Variance
ATKIS	Amtlich Topographisch-Kartographisches Informationssystem
Basis-DLM	Digitales Basis-Landschaftsmodell
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BKG	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
BMBF	Bundesministerium für Bildung und Forschung
CNI	Care Need Index
DANDEX	Danish Deprivation Index
DIHWPQ	Deprivation Index for Health and Welfare Planning in Quebec
EW	Einwohnerinnen und Einwohner
GISD	German Index of Social Deprivation
GIMD	German Index of Multiple Deprivation
EIMD	English Index of Multiple Deprivation
EU	Europäische Union
EPSG	European Petroleum Survey Group Geodesy
EDI	European Deprivation Index
F-EDI	European Deprivation Index - France
FFH	Freie und Hansestadt Hamburg
HZG	Helmholtz Zentrum Geesthacht
infas360	Infas 360 GmbH
INKAR	Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung
LS	Levene's Statistik
MAUP	modifiable area unit problem
MeSH	Medical Subject Headings
microm	Micromarketing-Systeme und Consult GmbH
NO ₂	Stickstoffdioxid

Abkürzung	Abkürzungserklärung
NZDep	New Zealand Deprivation Index
PCA	Principal Component Analysis (Hauptkomponentenanalyse)
PM₁₀	Feinstaub (engl.: particulate matter) mit Partikelgröße $\leq 10 \mu\text{m}$
PM_{2,5}	Feinstaub (engl.: particulate matter) mit Partikelgröße $\leq 2,5 \mu\text{m}$
PT-EDI	European Deprivation Index – Portugal
RKI	Robert Koch-Institut
FDZ Ruhr am RWI	Forschungsdatenzentrum Ruhr am RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung
SADI	Small Area Deprivation Index
SEFI	Socio-economic Factor Index
SENUVK	Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz
SES	socio-economic status (sozioökonomischer Status)
SGB	Sozialgesetzbuch
SI-EDI	European Deprivation Index – Slowenia
SOEP	Sozioökonomisches Panel
TUHH	Technische Universität Hamburg
UBA	Umweltbundesamt
UKAGEP	Umweltbedingte Krankheitslasten – Analyse und Bewertung sozialer und ökonomischer Zusammenhänge / Zusammenhangsuntersuchungen zwischen Umwelteinflüssen und gesundheitlichen Parametern
WHO	World Health Organisation (Weltgesundheitsorganisation)

Zusammenfassung

Zielsetzung

Feinstaub in der Atemluft stellt ein bekanntes Gesundheitsproblem dar. Die EU-weit geltenden Grenzwerte werden zwar in Deutschland immer seltener überschritten, sie werden aber unter dem Gesichtspunkt der Relevanz für den Gesundheitsschutz unter anderem seitens der Weltgesundheitsorganisation (WHO) als zu hoch eingeschätzt. Zusätzlich wurden in Deutschland verschiedentlich systematische Unterschiede sowohl in der Exposition am Wohnort als auch in der Vulnerabilität verschiedener sozioökonomischer Gruppen festgestellt. Auf bundesweiter Ebene liegen hierzu jedoch keine Quantifizierungen vor. Primäres Ziel dieses Sachverständigengutachtens war es, basierend auf flächendeckend verfügbaren Sekundärdaten zu untersuchen, inwieweit eine Differenzierung der Feinstaubexposition der Bevölkerung in Deutschland nach sozioökonomischem Status (SES) vorgenommen werden kann. So sollte geklärt werden, inwiefern eine Grundlage zur Berechnung der deutschlandweiten, auf Feinstaub zurückzuführenden und nach sozioökonomischen Status differenzierten Krankheitslast für das übergeordnete UKAGEP-Projekt¹ ermöglicht werden kann.

Vorgehen

Als Belastungsparameter sollten die Modelldaten des Umweltbundesamtes (UBA) zur deutschlandweiten Feinstaubhintergrundbelastung (PM_{2.5} auf 2 x 2 km²) dienen. Um eine Aussage zu sozioökonomischen Unterschieden in der Exposition zu ermöglichen, sollte entweder ein SES-Index konstruiert oder ein aussagekräftiger SES-Indikator ausgewählt werden, der möglichst kleinräumig mit den Feinstaubdaten verschnitten werden konnte (vgl. Kapitel 1).

Die Erkenntnisse aus der Literaturrecherche und einem Workshop mit einer externen Wissenschaftlerin und zwei externen Wissenschaftlern führten zu der Entscheidung, die Bildung eines SES-Indexes nicht weiter zu verfolgen (vgl. Kapitel 2). Stattdessen sollten das durchschnittliche jährliche Haushaltsnettoeinkommen in € auf Ebene eines 1 x 1 km² Rasters sowie die Miet- und Kaufspiegel in €/m² (Monatskaltmiete bzw. Kaufpreis) auf Ebene von Baublöcken mit den verfügbaren Feinstaubdaten verschnitten und die Ergebnisse auf mögliche Zusammenhänge untersucht werden.

Ergänzend sollten für die Teilräume Hamburg und Berlin räumlich differenziertere Analysen mit höher aufgelösten Daten zu PM_{2.5}-Immissionen durchgeführt werden. Für Hamburg stand zu diesem Zweck eine modellierte Gesamtbelastung mit PM_{2.5} in einem 100 x 100 m² Raster zur Verfügung, für Berlin konnte die modellierte PM_{2.5}-Hintergrundbelastung in einer Auflösung von 500 x 500 m² genutzt werden.

Datenaufbereitung

Die bei der Aufbereitung verwendeten Methoden wurden aufgrund der besten Datenverfügbarkeit exemplarisch für Hamburgs entwickelt und detailliert erläutert (vgl. Kapitel 3). Sie umfassen zunächst die Baublockflächenkorrektur, in deren Rahmen die Miet- und Kaufspiegeldaten bereinigt wurden, da sich bei einer stichprobenhaften Überprüfung gezeigt hatte, dass nicht in allen entsprechend klassifizierten Raumeinheiten auch tatsächlich private Wohnnutzung vorhanden war - oder es im Bezugsjahr gewesen wäre. Den verbliebenen Baublöcken wurden in einem zweiten Schritt auf Basis des 100 x 100 m² Zensusrasters flächengewichtet Bevölkerungszahlen zugewiesen. Im dritten Schritt wurden die SES-Indikatoren mit den Daten zur Feinstaub-

¹ „Umweltbedingte Krankheitslasten – Analyse und Bewertung sozialer und ökonomischer Zusammenhänge / Zusammenhangsuntersuchungen zwischen Umwelteinflüssen und gesundheitlichen Parametern“; Förderung: Bundesministerium für Bildung und Forschung, Durchführung: Umweltbundesamt.

belastung verschnitten. Dabei wurde prinzipiell auf die geringere räumliche Auflösung der jeweils verwendeten Datensätze aggregiert. So wurden beispielsweise die Daten zum Haushaltsnettoeinkommen vom 1 x 1 km² Raster auf der Ebene der 2 x 2 km²-Auflösung der Daten zur Feinstaubbelastung miteinander verschnitten. Kapitel 3 stellt auch die im Rahmen dieses Gutachtens verwendeten statistischen Methoden vor, inklusive der z-Transformation der SES-Indikatoren auf Ebene der Gemeinden für den Betrachtungsraum Deutschland. Dieser Schritt war notwendig, da die absoluten Werte der Indikatoren keine räumlichen Unterschiede in Mietniveaus oder Kaufkraft berücksichtigen. Ein landesweiter Vergleich der Realdaten hätte diese im Kontext des Forschungsinteresses sehr wichtigen Unterschiede nivelliert.

Die analoge Aufbereitung der Datensätze für Berlin und Deutschland wird in Kapitel 4 beschrieben.

Analyse

Die Zusammenhänge zwischen den verwendeten Indikatoren wurden auf zwei verschiedenen Ebenen untersucht. Zunächst lag das Augenmerk auf der Frage, wie die drei SES-Indikatoren bzw. die unterschiedlichen Belastungsvariablen jeweils miteinander zusammenhängen. Für diese Analysen wurden auf Grund der Eigenschaften der Datensätze räumliche Regressionsmodelle verwendet (vgl. Kapitel 5).

Im zweiten Schritt wurden dann die SES-Indikatoren auf Ebene der drei Untersuchungsräume Hamburg, Berlin und Deutschland den Belastungsvariablen gegenübergestellt, um festzustellen, ob statistische Zusammenhänge erkennbar waren. Zunächst wurde eine Zusammenfassung der SES-Indikatoren anhand der Feinstaubbelastung in Konzentrationsschritten von 1 µg/m³ Luft² vorgenommen, um im UKAGEP-Projekt eine Berechnung der Krankheitslasten zu ermöglichen (vgl. Kapitel 6).

Abschließend wurden räumliche Regressions- und Analysis of Variance (ANOVA)-Verfahren angewendet, um die Zusammenhänge zwischen den SES-Indikatoren und den Belastungsvariablen auch statistisch zu beschreiben (vgl. Kapitel 7).

Zentrale Ergebnisse

Miet- und Kaufspiegel sind nur bedingt als Indikatoren für den sozioökonomischen Status der Wohnbevölkerung geeignet, weil sie keine Informationen über Wohnungsgröße und somit tatsächliche Wohnkosten der Haushalte enthalten. Für die Untersuchungsräume Hamburg und Berlin zeigten sich dennoch positive Zusammenhänge zwischen den SES-Variablen: höhere Miet- und Kaufspiegel gingen tendenziell auch mit höheren Haushaltsnettoeinkommen einher. In beiden Städten war jedoch ein eher negativer Zusammenhang zwischen Einkommen und PM_{2,5}-Belastung zu beobachten. Allerdings traten in Hamburg – anders als in Berlin – höhere Miet- und Kaufspiegel eher auch in Kombination mit höheren Belastungswerten auf. Zu beachten ist, dass nur für Hamburg Daten zur Gesamtbelastung mit PM_{2,5} vorlagen und dies auch in höherer Auflösung als die Hintergrunddaten für Berlin.

Für Deutschland wurde der Zusammenhang der SES-Indikatoren mit den Belastungsdaten untersucht³. Das ANOVA-Verfahren zeigte einen tendenziell negativen Zusammenhang zwischen SES-Indikatoren und Feinstaubbelastung: insgesamt ging die höchste Feinstaubbelastung mit den niedrigsten Werten aller drei SES-Variablen einher. Dieser Effekt war jedoch lediglich für das jeweils 10. Dezil der Daten signifikant, also jenes Zehntel der Fälle von SES-Variablen, die die Gruppe mit der höchsten Feinstaubbelastung bildeten. Es zeigte sich, dass in diesem Dezil unter

² Maß der Feinstaubkonzentration in der Außenluft

³ Für Deutschland lag nur ein Datensatz zur Feinstaubbelastung vor und eine räumliche Regressionsanalyse der SES-Indikatoren war auf Grund der hohen Fallzahlen (und der damit exponentiell wachsenden Ansprüche an Rechnerkapazitäten) nicht durchführbar.

anderem ganz Hamburg und Berlin enthalten waren – für die sich bei der vorgenannten kleinräumigeren Untersuchung jedoch Unterschiede hatten feststellen lassen.

Prinzipiell schienen die Daten zur deutschlandweiten Hintergrundbelastung auf $2 \times 2 \text{ km}^2$ zwar für die relative Gegenüberstellung der Bevölkerungsbelastung in vergleichbaren Raumtypen geeignet, jedoch nicht für die Berechnung von absoluten Belastungswerten im Rahmen der in diesem Sachverständigengutachten avisierten feinskaligen Analysen. Bei sehr großräumigen Analysen bzw. gering aufgelösten Daten muss generell – und so auch hier – davon ausgegangen werden, dass signifikante kleinräumigere Unterschiede nicht erfasst werden. Die ergänzenden Auswertungen für Hamburg und Berlin haben diesen Effekt veranschaulicht.

Detaillierte Schlussfolgerungen, eine Defizitanalyse sowie weiterführende Erkenntnisse und Empfehlungen dieses Gutachtens finden sich in den Kapiteln 8 und 9.

Summary

Objective

Particulate matter (PM) in ambient air constitutes a well-known health problem. In Germany, the current EU limit values are exceeded less and less frequently but at the same time, the World Health Organisation (WHO), among others, considers these limits as too high in the context of protecting human health. Additionally, various studies have shown there to be systematic differences in residential exposure as well as the vulnerability of different socio-economic groups in Germany. However, these effects have thus far not been quantitatively described at the nationwide level. The primary objective of this study was to investigate the feasibility of differentiating population exposure to particulate matter (as PM_{2.5}) according to socio-economic status (SES) for Germany, based on existing secondary datasets with nationwide coverage. In the framework of the umbrella project UKAGEP⁴, the overarching goal was to investigate, if it would be possible to create a basis for quantifying the burden of disease in Germany attributable to PM exposure differentiated by socio-economic status (SES).

Research approach

This was to include the Federal Environment Agency's nationwide data set on background concentration of particulate matter (PM_{2.5} at 2 x 2 km²). The brief was to either construct an SES index or choose a suitable SES indicator that could be spatially intersected with the PM data at a high resolution to allow conclusions about socio-economic differences in PM_{2.5} exposure (cf. Chapter 1).

Based on the results of the literature review and a workshop with external experts, it was decided not to pursue the construction of an SES index any further (cf. Chapter 2). Instead, the average annual net household income in € at a raster resolution of 1 x 1 km² as well as the residential rent and purchase indices in €/m² (monthly rent and purchase costs respectively) at block level were to be intersected with the relevant PM datasets to investigate potential correlations.

Additional analyses were carried out for the cities of Hamburg and Berlin using data on PM_{2.5} concentrations at higher resolutions. For Hamburg, modelled data on total PM_{2.5} concentrations was available at a resolution of 100 x 100 m², for Berlin, the modelled PM_{2.5} background was available at a resolution of 500 x 500 m².

Preparation of data

The methods used for preparing the raw data for further analyses are described for the Hamburg data sets in detail in Chapter 3. They firstly comprise the block area correction used to clean up the rent and purchase indices, since a sample check had revealed not all of the blocks thus classified to indeed contain residential dwellings – or to have contained them in the year of reference. In a second step, area weighted population numbers were assigned to the remaining blocks using the 100 x 100 m² census raster. As a third step, the SES indicators were intersected with the data on PM_{2.5} concentrations, aggregating at the lower spatial resolution in each case. Thus, the 1 x 1 km² data on household income was intersected with PM data at a resolution of 2 x 2 km² for example. Chapter 3 also details the statistical methods used in this study, including the SES indicators' z-transformation at the municipal level for Germany-wide analyses. This step was necessary as the absolute values of the indicators did not account for regional differences in residential cost or purchasing power. A nationwide comparison of non-standardised values

⁴ „Umweltbedingte Krankheitslasten – Analyse und Bewertung sozialer und ökonomischer Zusammenhänge / Zusammenhangsuntersuchungen zwischen Umwelteinflüssen und gesundheitlichen Parametern“ (English: Environmental Burden of Disease - Analysis and Evaluation of Social and Economic Determinants / Investigation of Relationships between Environmental Factors and Health Parameters); funding: Federal Ministry of Education and Research, implementation: Federal Environment Agency

would have obscured such effects, which were, however, highly relevant in the context of this project.

The corresponding preparation of the data sets for Berlin and Germany is described in Chapter 4.

Analysis

The relationships between the indicators used in this study were investigated on two different levels. The first focussed on the question how the three SES indicators and the PM_{2.5} variables respectively related to each other within their respective topical domains. Due to the properties of the data sets, spatial regression models were used for these analyses (cf. Chapter 5).

In a second step, the SES indicators were brought together with the PM_{2.5} variables for the three study areas - Hamburg, Berlin and Germany - to test for any statistical relationships. The SES data was summarised along the concentration gradient of the PM data in steps of 1 µg/m³ of ambient air⁵ to – potentially – enable the calculation of burden of disease in the UKAGEP¹ project, for which this study was carried out (cf. Chapter 6).

Finally, spatial regression and Analysis of Variance (ANOVA) procedures were used to describe the relationships between the SES indicators and the PM_{2.5} variables statistically (cf. Chapter 7).

Main findings

Generally, the rent and purchase price indices are only partly suitable as SES indicators for the residential population since they do not contain any information about dwelling size and thus the households' actual housing costs. For Hamburg and Berlin, these indicators nevertheless showed a positive correlation with the income variable: higher price indices were generally found to coincide with higher net household incomes. In both cities, the analyses found a generally negative relationship between income and PM_{2.5} concentrations. At the same time, though, the Hamburg data showed – in contrast to Berlin – that higher rental and purchase price indices coincided with higher PM_{2.5} values. In this context it should be noted that only the Hamburg data showed total PM_{2.5} concentrations and these were also available at a higher resolution than the data on background concentrations for Berlin.

Nationwide, only the relationship of the SES indicators with the pollution data was analysed⁶. The ANOVA showed a generally negative relationship between SES indicators and PM_{2.5}. Overall, the highest concentrations coincided with the lowest values of all three SES variables. This effect was only significant for the tenth decile of the datasets – the 10% of the SES cases, which formed the group found within the areas with highest PM_{2.5} concentrations. It transpired that this decile contained, among others, all of Hamburg and Berlin, for which the spatially more detailed analyses had, however, shown significant differences in these relationships.

Overall, the modelled data for PM_{2.5} background concentrations in Germany at 2 x 2 km² appeared to be suitable for relative comparisons of population exposure between equivalent area types but not for calculating absolute exposure values at the spatial resolution required in the context of this study. For very large-scale analyses and low-resolution data respectively, one has to bear in mind – generally and thus also in this case – that significant smaller scale differences are not identified. The additional analyses carried out for Hamburg and Berlin illustrated this effect.

⁵ unit measure for concentration of particulate matter

⁶ For Germany, there was only one dataset available for nationwide particulate matter which featured background concentrations and a spatial regression analyses of the SES indicators was not feasible due to the size of the dataset and the associated exponential increase in the processing capacity required.

Detailed conclusions, a deficit analyses and additional findings and recommendations are found in Chapters 8 and 9.

1 Hintergrund und Zielsetzung des Gutachtens

1.1 Hintergrund

Feinstaub (PM⁷) in der Atemluft ist ein bekanntes Gesundheitsproblem (vgl. z. B. Studien zu PM_{2,5}-Gesundheitseffekten von Hänninen et al. 2014; Hornberg et al. 2013). Einerseits wird der in der Europäischen Union (EU) geltende Grenzwert für die durchschnittliche jährliche Konzentration von 25 Mikrogramm pro Kubikmeter Luft (µg/m³) von Feinstaub der Größenklasse ≤ 2,5 µm (PM_{2,5}) in Deutschland immer seltener überschritten (Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina 2019)⁸. Andererseits sind die EU-Grenzwerte selbst nicht unumstritten, da sie gerade beim Feinstaub deutlich oberhalb der Empfehlungen der Weltgesundheitsorganisation (WHO) liegen. Diese benennt für PM_{2,5} ein Jahresmittel von 10 µg/m³ als Richtwert zum Schutz der menschlichen Gesundheit (WHO Regional Office for Europe 2006).

Untersuchungen haben außerdem gezeigt, dass verschiedene sozioökonomische Bevölkerungsgruppen an ihrem Wohnort in Deutschland durch Umweltstressoren unterschiedlich stark belastet sein können (z. B. Kassel - Köckler et al. 2008, Ruhrgebiet - Riedel et al. 2011). Zusätzlich zu diesem Phänomen der Expositionsvariation ist bekannt, dass der sozioökonomische Status auch in Zusammenhang mit der Vulnerabilität gegenüber Umweltstressoren steht (Bolte et al. 2018). Dies bedingt eine Effektmodifikation der Stressoren auf Grund von sowohl individueller Sensitivität als auch individueller Anpassungsfähigkeit – selbst dann, wenn Art und Ausmaß der Belastung vergleichbar sind (Köckler und Hornberg 2012).

Es ist somit aus epidemiologischer wie auch sozialpolitischer Sicht relevant, Erkenntnisse darüber zu haben wie sich die Feinstaubbelastung verschiedener Bevölkerungsgruppen in Deutschland unterscheidet. Es gibt jedoch zurzeit keine flächendeckenden Erkenntnisse zur sozioökonomischen Differenzierung der Belastung durch PM_{2,5} für Gesamtdeutschland.

Dieses Sachverständigengutachten ist Bestandteil des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten und am Umweltbundesamt (UBA) durchgeführten Projektes „Umweltbedingte Krankheitslasten – Analyse und Bewertung sozialer und ökonomischer Zusammenhänge / Zusammenhangsuntersuchungen zwischen Umwelteinflüssen und gesundheitlichen Parametern“ (UKAGEP).

1.2 Zielsetzung

Übergeordnete Zielsetzung dieses Sachverständigengutachtens war es, zu untersuchen, inwiefern mittels bereits verfügbarer Daten eine Grundlage geschaffen werden kann, um im Rahmen des Projektes UKAGEP die auf Feinstaub als PM_{2,5} zurückzuführende Krankheitslast in Deutschland nach sozioökonomischen Status differenziert zu berechnen. Zu diesem Zweck sollte untersucht werden, inwiefern Indikatoren für den sozioökonomischen Status (SES⁹) verfügbar sind, die - ggf. über die Zusammenfassung zu einem geeigneten Index - kleinräumig mit Daten zur Feinstaubexposition in Deutschland verschnitten und auf statistische Zusammenhänge hin untersucht werden können.

Die zentrale Aufgabe bestand dabei darin, einen Proxy für den SES zu identifizieren oder zu entwickeln (Indikator oder Index), der neben der inhaltlichen Eignung auch möglichst kleinräumig mit den UBA-Daten zur Feinstaubexposition in Auflösung 2 x 2 km² verschnitten werden kann

⁷ aus dem Englischen: particulate matter

⁸ Ähnliches gilt für andere Schadstoffen wie Feinstaub ≤ 10µm (PM₁₀) oder Stickstoffdioxid (NO₂) (ebd.).

⁹ vom Englischen Ausdruck: socio-economic status

und dann eine deutschlandweite (räumlich gemittelte) Aussage zur sozioökonomischen Differenzierung der Exposition zulässt. Zu diesem Zweck galt es, in Bezug auf inhaltliche Aussagekraft und räumliche Auflösung geeignete Datensätze zu identifizieren.

Konzentrationen in der Atemluft sind abhängig von lokalen Faktoren wie Meteorologie, Bebauungsstruktur oder Abstand zur Emissionsquelle. So können die an Hauptverkehrsstraßen entstehenden hohen Konzentrationen innerhalb von 180 m bis etwa 1000 m auf die jeweiligen Hintergrundwerte sinken (Karner et al. 2010). Aber auch der SES kann sehr kleinräumig variieren, weil z. B. Wohnraumpreise an Hauptverkehrsstraßen geringer sein können als in anderen Lagen (Brandt & Maennig 2011). Zudem existiert für Analysen auf Gemeindeebene bereits der *German Index of Social Deprivation* (GISD) des Robert-Koch-Instituts (RKI; vgl. Abschnitt 2.1.2). Daher sollte eine räumliche Auflösung unterhalb der Gemeindeebene angestrebt werden.

Zunächst galt es, bereits bestehende Konzepte zur räumlichen Darstellung des SES zu recherchieren und hinsichtlich ihrer Nutzbarkeit im Rahmen des Sachverständigengutachtens auszuwerten. Dabei sollten bereits existierende Indizes – wie der GISD – bezüglich ihrer Limitationen und den Möglichkeiten für ihre Weiterentwicklung in diesem Projekt geprüft werden (Abschnitt 2.1). Anhand der so gewonnenen Übersicht sollte eine Auswahl möglicher Indikatoren zur Indexbildung für das vorliegende Gutachten durchgeführt werden (Abschnitt 2.2).

Ergänzend sollte untersucht werden, ob – zumindest für Teilräume – für dieses Projekt geeignete Daten zu $PM_{2,5}$ Immissionen vorliegen, die räumliche höher aufgelöst sind als das $2 \times 2 \text{ km}^2$ Raster zur deutschlandweiten $PM_{2,5}$ Hintergrundbelastung, welches das UBA für dieses Projekt zur Verfügung stellte.

In der Gesamtbetrachtung wurden die folgenden Forschungsfragen im Rahmen dieses Gutachtens untersucht:

1. Was sind geeignete Indikatoren für den sozioökonomischen Status in Deutschland, die räumlich unterhalb der Gemeindeebene aufgelöst sind und (möglichst) auf frei verfügbaren Daten beruhen?
2. Kann für Deutschland ein SES-Index gebildet werden und wie sollte ein solcher Index inhaltlich gestaltet sein, um zur Berechnung umweltbedingter Krankheitslasten genutzt werden zu können?
3. Falls ein solcher SES-Index nicht gebildet werden kann, welche Alternativen gibt es?
4. Gibt es Datensätze zu $PM_{2,5}$ Immissionen, die gleichzeitig eine ausreichende räumliche Abdeckung sowie Auflösung aufweisen, um im Rahmen dieses Projekts zusätzliche Erkenntnisse zu generieren?
5. Welche Aussagen zur Differenzierung der sozioökonomischen Feinstaubexposition in Deutschland können anhand der verfügbaren Daten getroffen werden?
6. Welche methodischen und inhaltlichen Limitationen lassen sich feststellen?

Frage 1 und Frage 2 werden in Kapitel 2 beantwortet. Die Erkenntnisse aus den ersten Arbeitsschritten und ein anschließender Projektworkshop mit einer externen Expertin und zwei externen Experten führten zu der Entscheidung, die angedachte Bildung eines SES-Indexes nicht weiter zu verfolgen (die zugrunde liegende Argumentation ist in Abschnitt 2.3 dargestellt). Da eines der übergeordneten Projektziele darin bestand, die methodischen Möglichkeiten für eine kleinräumige, deutschlandweite Indexbildung auszuloten und zu bewerten und das weitere Vorgehen dann den gewonnenen Erkenntnissen anzupassen, war diese Entscheidung als Teilergebnis zu betrachten.

Die Antworten auf Frage 3 und 4 finden sich in Abschnitt 2.4 und Kapitel 3. Kapitel 3, 4 und 5 betrachten die verwendeten SES-Indikatoren sowie die Datensätze zur Feinstaubbelastung genauer, Kapitel 6 und 7 beschäftigen sich mit der Antwort auf Frage 5. In Kapitel 8 findet sich die Auswertung der Ergebnisse zusammen mit einer Defizitanalyse in Beantwortung von Frage 6 und das abschließende Kapitel 9 behandelt übergeordnete Erkenntnisse sowie sich ergebenden Empfehlungen für zukünftige Forschung in diesem Themengebiet.

2 Konzeptentwicklung

2.1 Recherche sozioökonomischer Indizes

2.1.1 Literaturrecherche in der MEDLINE-Datenbank

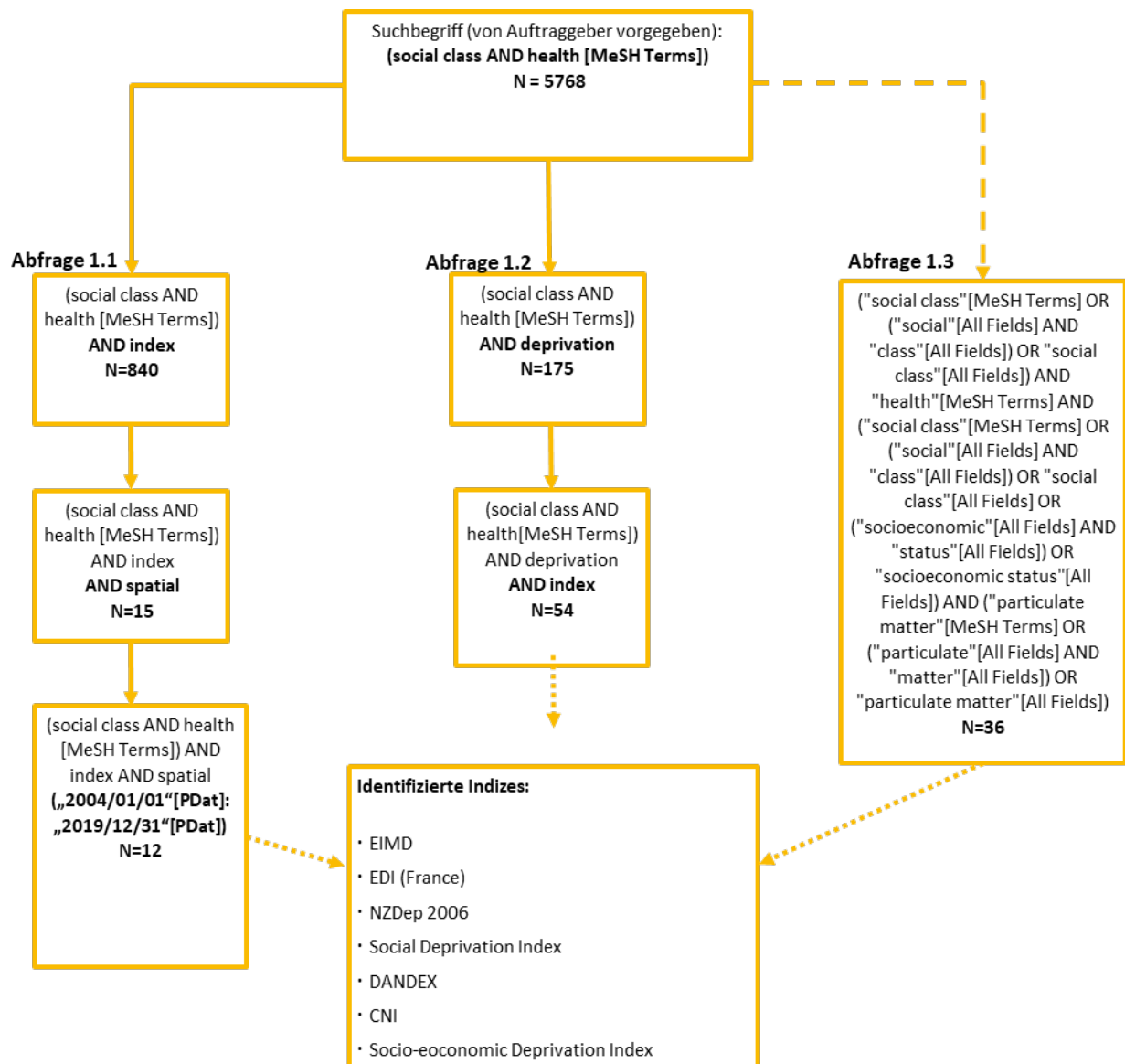
In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der Literaturrecherche nach sozioökonomischen Indizes dargelegt. Nach Maßgabe des Forschungsauftrags wurde die medizinische Literaturdatenbank MEDLINE über die Suchmaschine PubMed¹⁰ nach Schlüsselbegriffen in den Medical Subject Headings (MeSH®) durchsucht, um in der Fachliteratur dokumentierte SES-Indizes zu identifizieren, die im Rahmen von epidemiologischen Untersuchungen entwickelt bzw. verwendet wurden. Die MeSH Terms werden von der National Library of Medicine zur Indexierung von medizinischen Publikationen verwendet (U.S. National Library of Medicine 2019). Die Abfrageergebnisse gaben in diesem Fall die bei MEDLINE erfasste Literatur mit Stand Anfang Februar 2019 wieder.

Die Suchbegriffe für den Beginn der Abfragekette wurden durch den Auftraggeber wie folgt vorgegeben: „(social class AND health [MeSH Terms])“. Durch Anpassung der Abfrage wurde die Suche nach auf Basis der Ergebnisse des ersten Suchlaufs sukzessive verfeinert. Das entsprechende Vorgehen ist im Folgenden beschriebene und in Abbildung 1 visualisiert.

Die erste Abfrage erzielte 5.768 Treffer. Um die Auswertung der Rechercheergebnisse handhabbar zu halten, wurden die Abfragen durch ergänzende Abfragen thematisch fokussiert (1.1; 1.2; 1.3, vgl. Abbildung 1). Bei Abfrage 1.1 verringerte der zusätzliche Suchbegriff *index* die Ergebnisanzahl auf 840 Artikel. Durch die Nutzung des Begriffes *spatial* wurde eine räumliche Komponente in diese Abfragekette mit aufgenommen, wodurch 15 Treffer übrigblieben. In Anlehnung an Hornberg et al. (2016) wurde das Erscheinungsdatum auf die vergangenen 18 Jahre (inklusive des Recherchejahrs) begrenzt (2002 bis 2019). Dies führte zu einer weiteren Reduktion der Treffer auf 12 Artikel, die in die Auswertung mit aufgenommen wurden. Die zweite Abfragekette (1.2) fügt der vom Auftraggeber vorgegebenen Begriffskombination zunächst den Begriff *deprivation* hinzu. Dadurch wurde das Suchergebnis auf 175 Artikel eingegrenzt. Durch eine weitere Eingrenzung mittels des Suchbegriffs *index* (der in Abfrage 1.1 die Trefferanzahl erheblich reduziert hatte) verblieben 54 Artikel zur weiteren Begutachtung. In Abfragekette 1.3 wurde statt einer sukzessiven Eingrenzung eine Kombination von Suchbegriffen geclustert (in Abbildung 1 durch den gestrichelten Pfeil symbolisiert). Die vorgegebenen Begriffe wurden mit den booleschen Operatoren *AND* und *OR* verknüpft und durch weitere ergänzt, die mit dem Forschungsvorhaben zusammenhängen: *particulate matter* (Feinstaub) und *socioeconomic status* (sozioökonomischer Status). Zusätzlich wurden in diesem Schritt Suchtermini, die aus mehr als einem Wort bestanden, getrennt in die Abfrage integriert. Durch dieses Vorgehen wurden insgesamt 36 Artikel identifiziert.

¹⁰ vgl. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/> zuletzt aufgerufen am 21.03.2019

Abbildung 1: Dokumentation der Suchabfragen mit Vorgabe



EIMD: English Index of Multiple Deprivation; EDI (France): European Deprivation Index (France); NZDep 2006: New Zealand Deprivation Index, 2006 Edition; DANDEX: Danish Deprivation Index; CNI: Care Need Index (Sweden)
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Die so identifizierten Artikel wurden auf die Relevanz der darin beschriebenen SES-Indizes überprüft. Zunächst wurden die zugehörigen Abstracts begutachtet. Wenn sich dort keine Hinweise auf die Verwendung eines SES-Index fanden, wurde der Artikel nicht verwendet. Alle verbliebenen wurden heruntergeladen und als Volltext ausgewertet. Dabei wurden auch die in der Bibliographie der Artikel zitierten SES-Indizes berücksichtigt. Im ersten Abfragedurchlauf wurden so sieben SES-Indizes identifiziert (in Abbildung 1 sowie Abbildung 2 durch gepunktete Pfeile bezeichnet).

In Absprache mit dem Auftraggeber wurde ein weiterer Suchdurchlauf durchgeführt, bei dem die vorgegeben MeSH-Terms nicht angewendet wurden (vgl. Abbildung 2). Hierdurch wurden auch Quellen identifiziert, die bis dahin noch nicht im Rahmen der MeSH-Systematik indiziert worden waren. Zusätzlich wurde die Suche auf die Felder ‚title‘ und ‚abstract‘ beschränkt, um die

Treffer auf Dokumente zu begrenzen, die sich originär mit der Konstruktion oder Verwendung eines Index befassen.

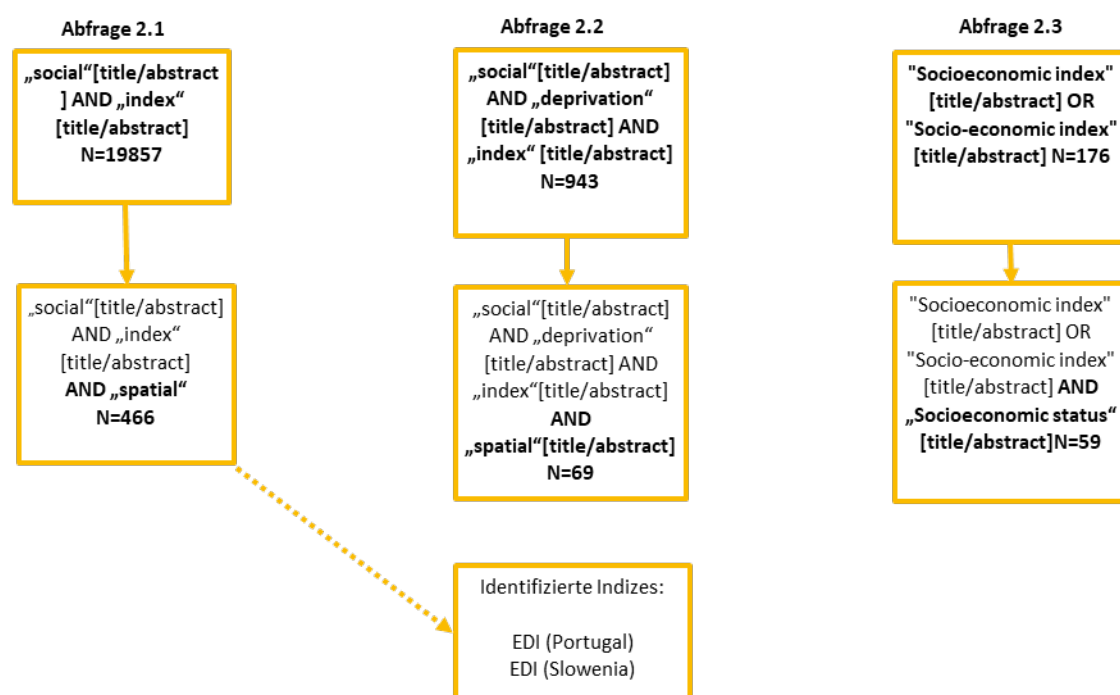
In Abfragekette 2.1 wurden die Begriffe *„social“* und *„index“* genutzt, was 19.857 Treffer generierte. Durch die Berücksichtigung einer räumlichen Komponente über den Begriff *„spatial“* wurde eine Reduktion auf 466 Einträge erzielt.

Um die große Abnahme der Artikelanzahl bei der ersten Abfragekette 2.1 näher zu beleuchten und sicherzustellen, dass keine relevanten Treffer aussortiert wurden, wurde zu Beginn der zweiten Abfragekette (Abfrage 2.2) der Suchterm aus 2.1 durch den Begriff *„deprivation“* ergänzt. Dies führte zu 943 Artikeln. Anschließend wurde die räumliche Dimension durch die Hinzunahme des Begriffs *„spatial“* in die Abfrage integriert. Die verbliebenen 69 Fachartikel waren bereits in den 466 Treffern aus Abfrage 2.1 enthalten.

Die dritte Abfrage (Abfrage 2.3) verwendet andere Suchbegriffe, um Überschneidungen mit vorangegangenen Abfragen so gering wie möglich zu halten. Über die Verwendung der Begriffe *„socioeconomic“* / *„socio-economic“* wurde direkt die gewünschte inhaltliche Ausrichtung der gesuchten Indizes abgefragt. Hierdurch wurden zuerst 176 und durch Verfeinerung der Syntax 59 Treffer erzielt. Auch diese Abfrage generierte jedoch keine zusätzlichen Quellen.

Die Sichtung der Treffer (inklusive Bibliographie) aus Abfragekette 2.1 identifizierte zwei weitere Indizes, die in die Auswertung aufgenommen wurden.

Abbildung 2: Dokumentation der Abfragen mit Fokussierung auf Titel und Abstract



EDI (Portugal): European Deprivation Index (Portugal); EDI (Slowenia): European Deprivation Index (Slowenia)

Quelle: eigene Darstellung, TUHH

2.1.2 Dokumentation der ausgewerteten Indizes

Die über die in Abschnitt 2.1.1 beschriebene Recherche ermittelten SES-Indizes wurden auf Basis der entsprechenden Fachartikel ausgewertet und für dieses Gutachten dokumentiert. Zusätzlich wurde eine Rückwärtsverfolgung der in diesen Artikeln zitierten Quellen durchgeführt, sofern diese auf (weitere) relevante SES-Indizes verwiesen.

Bell et al. (2007) (Abfrage 1.1) erwähnen drei SES-Indizes – Socio-economic Factor Index (SEFI), Deprivation Index for Health and Welfare Planning in Quebec (DIHWPQ) und GDI ¹¹ -, zitieren hierzu jedoch weder weiterführende Literatur noch wird die Verwendung der Indizes weiter dokumentiert. Eine ergänzende Internetrecherche identifizierte relevante Artikel in einem Sonderheft des Canadian Journal of Public Health (The Canadian Institute for Health Information 2012), die die Verwendung verschiedener SES-Indizes im Bereich Public Health behandeln.

Abfrage 1.2 generierte insgesamt 54 Treffer, von denen zwei Quellen von Relevanz waren. Matranga et al. (2014) verwenden in ihrer Studie den Italian Deprivation Index. Die zur Erstellung dieses Index zitierte Studie ist jedoch in italienischer Sprache verfasst und konnte über den Gemeinsamen Bibliotheksverbund nicht bezogen werden. Châtelet et al. (2018) beziehen sich auf die französische Version des European Deprivation Index (F-EPI) und verweisen auf Indizes aus skandinavischen Ländern: aus Dänemark (Danish Deprivation Index – DANDEX) von Meijer et al. (2013) und aus Schweden (Care Need Index) von Sundquist et al. (2004). Beide Indizes wurden für dieses Gutachten ausgewertet.

Durch Abfrage 1.3 wurde der Artikel von Hajat et al. (2015) gefunden. Dieser beinhaltet eine Literaturübersicht zum Thema sozioökonomischer Status in Verbindung mit Luftverschmutzung (ebd., S. 440–441). Hierüber wurden der English Index of Multiple Deprivation (Department for Communities and Local Government 2015) sowie der New Zealand Deprivation Index (Salmond et al. 2007) identifiziert.

Die über Abfrage 2.1 generierten 466 Treffer wurden nach deren Sichtung auf drei Quellen reduziert (inkl. Bell et al. 2007, vgl. Abfrage 1.1). Zusätzlich konnte die portugiesische Version des EPI über Ribeiro et al. (2018) identifiziert werden. Der dritte Artikel (Bocquier et al. 2013) zitiert den von Havard et al. (2008) für Straßburg konzipierten Small Area Deprivation Index, welcher ebenfalls in die weitere Bearbeitung aufgenommen wurde.

Einige Indizes enthalten zusätzliche Indikatoren zu Gesundheitsendpunkten. Diese wurden gemäß Absprache mit dem Auftraggeber während des Kick-Off Meetings zum Projekt zunächst nicht dokumentiert. Stattdessen sollten diese Indikatoren im Bedarfsfall auf ihr Potential als Stellvertretervariablen näher betrachtet werden, falls keine oder nicht ausreichend sozioökonomischen Daten mit der benötigten räumlichen Auflösung gefunden werden könnten. Es ist jedoch an dieser Stelle anzumerken, dass beispielsweise Böhme et al. (2015) in ihren Empfehlungen zum Umweltgerechtigkeitsmonitoring in Kommunen zwar die Verfügbarkeit von Gesundheitsdaten aus den Schuleingangsuntersuchungen aufzeigen (Body-Mass-Index, Adipositas, grobmotorische Störungen). Sie warnen jedoch auch, dass „kleinräumige Analysen der Ergebnisse aus den Schuleingangsuntersuchungen [...] durch die Anonymisierung der Daten erschwert [werden]. Zudem gestaltet sich die Auswertung kleinräumiger Daten aus Schuleingangsuntersuchungen auch aufgrund der zum Teil geringen Fallzahlen und daraus resultierender Datenschutzprobleme häufig schwierig.“ (ebd., S. 84).

Die nachfolgenden Tabellen 1 - 13 dokumentieren die Indikatoren und (ggf.) thematischen Domänen der für dieses Gutachten recherchierten Indizes. Da die Domänen, soweit sie gebildet wurden, teilweise bei vergleichbaren bzw. äquivalenten Inhalten unterschiedliche Bezeichnungen haben, wurden im Sinne einer besseren Verständlichkeit für diesen Bericht zusätzlich übergreifend einheitliche Begriffe eingeführt. Diese sind bei Bedarf in der ersten Tabellenspalte als Zusatzangabe kursiv gesetzt. Die zum Teil unterschiedliche Zuordnung der Indikatoren zu den Domänen entspricht der Zuordnung im jeweils dokumentierten Index. Informationen zum zeitlichen und räumlichen Bezug der Indizes sind angegeben soweit diese in den jeweiligen Quellen

¹¹ Das Akronym GDI wird bei Bell et al. (2007) nicht aufgelöst.

enthalten waren. Falls einzelne Indikatoren mit anderem originären Raumbezug als der Gesamtindex verwendet wurden, ist dies in den Tabellen gesondert vermerkt.

Im Folgenden steht EW für Einwohnerinnen und Einwohner.

Tabelle 1: German Index of Social Deprivation – GISD

Quelle: Kroll et al. 2017; Forschungsdatensatz im gesis-Datorium (Kroll, (o.J.))

Raumbezug: Gemeinde / Gemeindeverband (zus.: Kreis, Raumordnungsregion, NUTS2, PLZ)

Zeitbezug: 1998/2000, 2003/2004, 2008, 2012

Methodik der Indexerstellung: Faktorenanalyse für die Festlegung der Indikatorenengewichtung mit Faktorenrotation

Dimension	Indikator	urspr. Raumbezug
Occupation (Erwerbstätigkeit)	Anteil der Arbeitslosen an der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter in %	Gemeindeverband
	Bruttolohn und -gehalt in Euro pro Beschäftigter bzw. Beschäftigtem	Kreis
	Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten an der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter in %	Gemeindeverband bzw. Kreis
Income (Einkommen)	Durchschnittliches Haushaltseinkommen in Euro pro EW	Kreis
	Privatschuldner pro 100 EW ab 18 Jahren	Kreis
	Steuereinnahmen in Euro pro EW	Gemeindeverband bzw. Kreis
Education (Bildung)	Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten am Wohnort mit Hochschulabschluss als Anteil der sozialversicherungspflichtig Beschäftigten am Wohnort in %	Kreis
	Anteil der Schulabgehenden ohne Schulabschluss an allen Schulabgehenden in %	Kreis

Tabelle 2: German Index of Multiple Deprivation – GIMD

Quelle: Hofmeister et al. 2016

Raumbezug: Landkreise / kreisfreie Städte

Zeitbezug: 2010

Methodik der Indexerstellung: Z-Transformation und nachfolgende domänenspezifische Faktorenanalyse

Dimension	Indikator
Beschäftigungsdeprivation (Erwerbstätigkeit)	Anteil der Arbeitslosen an der Bevölkerung 15–65 J. in %
Einkommensdeprivation (Einkommen)	Gesamtbetrag der Einkünfte [Einkommen plus andere Einnahmen] pro Kopf der steuerpflichtigen EW
Kreis-Einnahmensdeprivation	Bruttoeinnahmen minus -ausgaben der Kreise / Gemeinden pro EW Gesamtschulden von Gemeinde bzw. Gemeindeverband pro EW
Bildungsdeprivation (Bildung)	Anteil Erwachsener ohne abgeschlossene Berufsausbildung an sozialversicherungspflichtig Beschäftigten am Wohnort
Sicherheitsdeprivation (Sicherheit)	Straftaten insgesamt pro EW Straßenverkehrsunfälle pro EW
Umweltdeprivation (Lebensumwelt)	Gewerbe-, Industrie- und Verkehrsfläche in % der gesamten Bodenfläche
Sozialkapitaldeprivation	Wanderungsbilanz als Zuzüge minus Fortzüge pro EW

Tabelle 3: Indikatorenset „Umweltgerechtigkeit im städtischen Raum“

Quelle: Böhme et al. 2015

Raumbezug: empfohlen für kommunale Planungsräume (z. B. Lebensweltlich Orientierte Räume (LOR) in Berlin)

Dimension	Indikator	Anmerkungen
Erwerbstätigkeit	Anteil der Langzeitarbeitslosen (≥ 1 Jahr ALG)	
	Anteil der Jugendarbeitslosigkeit (< 25 Jahre)	
Einkommen	Anteil der erwerbstätigen SGB II Empfangenden (Aufstockerinnen und Aufstocker)	
	Anteil der Kinderarmut (nicht-erwerbsfähige Empfangende von Existenzsicherungsleistungen < 15 J.)	
Bildung	Schulentlassene der Hauptschule (od. Äquivalent) ohne Bildungsabschluss	Vertiefungsindikator
	Übergangsquote aufs Gymnasium	Vertiefungsindikator
Lebensumwelt	L_{den} Straßenverkehr (für kleinräumige Betrachtungen)	
	Jahresmittelwerte PM_{10} in $\mu g/m^3$ und NO_2 in $\mu g/m^3$ (für kleinräumige Betrachtungen)	
	öffentliche Grünflächen (ohne Straßenbegleitgrün und sonstige zweckgebundene Grünflächen wie Spielplätze, Friedhöfe) in m^2 pro EW	

ALG: Arbeitslosengeld

SGB II: gemäß Sozialgesetzbuch II empfangene Transferleistungen

L_{den} : Lärmindeks day-evening-night in Dezibel A

PM_{10} in $\mu g/m^3$: Feinstaub mit Durchmesser ≤ 10 Mikrometer in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft

NO_2 in $\mu g/m^3$: Stickstoffdioxid in Mikrogramm pro Kubikmeter Luft

Tabelle 4: English Index of Multiple Deprivation – EIMD

Quelle: Department for Communities and Local Government 2015

Raumbezug: Lower-layer Super Output Areas (N = 32.844): zweitkleinste geostatistische britische Zensusseinheit, ca. 1000-3000 EW oder 400 – 1200 Haushalte

Zeitbezug: 2015 (Datenstand 2012/2013)

Methodik der Indexerstellung: Anwendung der Shrinkingmethode, um die Verlässlichkeit der Small-Area-Daten zu erhöhen; Faktorenanalyse mit Maximum-Likelihood-Methode und Standardisierung des Domainscores

Dimension	Indikator	Anmerkungen
Employment Deprivation (Erwerbstätigkeit)	Anteil Frauen 18-59 bzw. Männer 18-64 in % der Altersgruppe die Transferleistungen empfangen > auf Grund des Beschäftigungsstatus: Job Seekers' Allowance; Employment/Support Allowance Anteil Frauen 18-59 bzw. Männer 18-64 in % der Altersgruppe die Transferleistungen empfangen > auf Grund eingeschränkter Arbeitsfähigkeit: Incapacity Benefit; Severe Disablement Allowance; Carer's Allowance	
Income Deprivation (Einkommen)	Anteil Erwachsener und Kinder in Familien die bedarfsbezogene Leistungen erhalten in % der Gesamtbevölkerung	Altersgruppen nicht definiert; Familien = Haushalte?
Education, Skills and Training Deprivation (Bildung)	Anteil über 16-jähriger, die keine weitere Schulbildung verfolgen in % der 15-jährigen, die Child Benefit erhalten Anteil erwerbsfähiger Erwachsener (Frauen: 25-59 J.; Männer 25-64 J.) ohne bzw. mit niedrigen Qualifikationen in % der jeweiligen Altersgruppe Erreichung von Key Stage 2 & Key Stage 4 in % aller Schulkinder der relevanten Altersgruppe Jugendliche unter 21 die keine weiterführende (Aus)bildung verfolgen in % der 14-17 Jährigen Anzahl der entschuldigten und nicht-entschuldigten Fehlstunden in % aller möglichen Stunden	niedriges Qualifikationsniveau nicht definiert zentralisierte Leistungsmaße für Schulkinder
Crime (Sicherheit)	Gewaltverbrechen: 18 Delikte; Diebstahl: 5 Delikte; Zerstörung: 8 Delikte; (Bezugsgröße: Gesamtwohnbevölkerung und zusätzliche Erwerbstätigen); Einbruch: 4 Delikte (Bezugsgröße: Gesamtheit der Wohn- und Geschäftsadressen)	

Dimension	Indikator	Anmerkungen
Barriers to Housing and Services (Wohnen und Teilhabe)	Distanz zu Postamt / Grundschule / Supermarkt / Hausarztpraxis (Wegelänge vom bevölkerungs-gewichteten Output Area Zentroid zum nächsten Ziel)	
	Anzahl bewilligter Anträge auf Obdachlosenunterstützung pro Gesamtheit aller Haushalte	
	Haushalte, die sich keinen Wohnbesitz oder private Mietwohnung leisten können (modellierte Schätzung)	
	Anteil aller Haushalte, die gemessen an ihren Bedürfnissen über zu wenig Wohnraum verfügen in %	
Living Environment Deprivation (Lebensumwelt)	in Straßenverkehrsunfällen Verletzte zu Fußgehende und Radfahrende (Bezugsgröße: Gesamtbevölkerung)	keine Korrelationen mit anderen Indikatoren dokumentiert
	Anteil aller Wohneinheiten ohne Zentralheizung in %	
	Wahrscheinlichkeit, dass Wohneinheiten nicht dem Decent Homes Standard entsprechen (modellierte Schätzung)	
	modellierte Luftqualität (Konzentration von NO ₂ , Benzol, SO ₂ , PM)	

Tabelle 5: European Deprivation Index France – F-EDI

Quelle: Pernet et al. 2012

Raumbezug: IRIS Zensusblöcke = kleinste geostatistische Zensusseinheit mit 1800 - 5000 EW, N = 16100 (inkl. Überseeterritorien)

Zeitbezug: 1999

Methodik der Indexerstellung: logistische Regression zur Auswahl der Variablen; Verwendung der Regressionskoeffizienten als Gewichtung

Dimension	Indikator	Anmerkungen
Unemployment (Erwerbstätigkeit)	Arbeitslosenquote	
Bildung	Anteil der Personen mit weniger als der ersten Stufe des Sekundarschulabschlusses	entspricht: ohne Hauptschulabschluss
	Anteil der ungelernten bzw. in der Landwirtschaft Beschäftigten	
Wohnen und Teilhabe	Anteil der nicht in Wohneigentum lebenden Haushalte	
	Anteil der Haushalte ohne Zugang zu einem Auto	
Lebensumwelt	Anteil der Wohnungen die nicht über eine Zentralheizung oder ein elektrisches Heizsystem verfügen	
	Anteil der überbelegten Wohnungen (mehr als eine Person pro Raum ²)	
	Anteil der Haushalte mit sechs oder mehr Personen	
Sonstiges	Anteil der Haushalte mit Alleinerziehenden	
	Anteil der Personen mit ausländischer (nicht-französischer) Staatsangehörigkeit	

Tabelle 6: European Deprivation Index Portugal – PT-EDI

Quelle: Ribeiro et al. 2018

Raumbezug: Zensusblockgruppen: N = 18084, durchschnittlich 584 EW bzw. 221 Haushalte (aggregiert aus Zensusblockdaten)

Zeitbezug: 2011

Methodik der Indexerstellung: Gleiche Vorgehensweise wie beim F-EDI (Tabelle 5)

Dimension	Indikator	Anmerkungen
Erwerbstätigkeit	Arbeitslose auf der Suche nach einem Arbeitsplatz Nicht-Arbeitgebende oder Arbeitnehmende	
Bildung	Personen in gewerblichen Berufen EW mit niedrigem Bildungsniveau (≤ 6 Jahre Schulbildung)	„blue-collar“
Wohnen und Teilhabe	Anteil der nicht in Wohneigentum lebenden Haushalte	
Lebensumwelt	Anteil der Haushalte ohne innenliegendes WC Haushalte mit fünf oder weniger Zimmern (ohne Vorratsräume, Küchen, Flure, Bäder und Balkone)	
Sonstiges	Anteil der Personen mit ausländischer Staatsangehörigkeit	

Tabelle 7: European Deprivation Index Slovenia – SI-EDI

Quelle: Zadnik et al. 2018

Raumbezug: 210 slowenische Kommunen aggregiert aus Zensusdaten für Individuen

Zeitbezug: 2011

Methodik der Indexerstellung: Gleiche Vorgehensweise wie beim F-EDI (Tabelle 5)

Dimension	Indikator	Anmerkungen
Erwerbstätigkeit	Arbeitslose ≥ 3 Monate Anteil nicht angestellt oder selbstständig Beschäftigter	
Bildung	Anteil der Personen mit Abschluss Sekundarstufe I oder darunter Anteil Beschäftigter in niedrig-qualifizierten Berufen (nach ISCO-08 (COM ²))	
Wohnen und Teilhabe	Anteil der nicht in Wohneigentum lebenden Haushalte	
Lebensumwelt	kein Zugang zu Badezimmer oder Dusche	Bezugsgröße unklar
Sozialstruktur	Haushalte mit weniger als 3 Personen Anteil Unverheirateter	Bezugsgröße unklar
Sonstiges	nicht in Slowenien geborene EW nicht-slowenische EW	

Tabelle 8: Danish Deprivation Index – DANDEX

Quelle: Meijer et al. 2013

Raumbezug: parishes (Pfarrbezirke; keine politische oder Verwaltungsfunktion), N = 2119; aggregiert aus Daten für Individuen

Zeitbezug: 2005

Methodik der Indexerstellung: Shrinking bei Pfarrbezirken mit wenigen Einwohnern; Log-Transformation um der Normalverteilung zu entsprechen; Standardisierung und anschließende Hauptkomponentenanalyse (Principal Component Analysis (PCA)) mit Varimax (orthogonaler) Rotation; Ergebnisse der PCA entsprechen den Indikatorengewichtungen

Dimension	Indikator	Anmerkungen
Erwerbstätigkeit	Anteil EW, die Erwerbslosenhilfe beziehen	
Einkommen	Anteil EW zwischen 30 und 60 Jahren mit verfügbarem Haushaltseinkommen im untersten Quartil	Bruttoeinkommen abzüglich Steuern & Zinsen dividiert durch Anzahl Personen im Haushalt * Faktor 0,6
Bildung	Anteil EW mit niedrigem Ausbildungsstatus Anteil EW in gewerblichen Berufen	„basic education“ – nicht näher definiert „manual profession“
Sicherheit	Anteil der EW >15 Jahre, die wegen Diebstahl, Raub, Vandalismus oder Gewalt verurteilt wurden	
Wohnen und Teilhabe	Anteil der Haushalte in gemietetem Wohnraum	
Lebensumwelt	Anteil der Haushalte mit mehr als einer Person pro Zimmer	
Sozialstruktur	Anteil der Alleinlebenden mit Kind/ern	
Sonstiges	Anteil der Haushalte ohne Zugang zu einem Auto	

Tabelle 9: Care Need Index – CNI (Sweden)

Quelle: Sundquist et al. 2004

Raumbezug: SAMS neighbourhood = kleinste kommunale Verwaltungseinheit in Schweden, N = 8547 ≥ 50 EW

Zeitbezug: 1995

Methodik der Indexerstellung: Voraussetzung: Indikatoren liegen als prozentuale Anteile vor und Gewichtung wurde nach Vorgabe des Artikels von Sundquist et al. 2004 erstellt. Normalisierung der Einwohnerzahlen und Berechnung des Mittelwertes, sowie der Standardabweichung für ganz Schweden. Für jedes SAMS werden die Ausprägungen der Indikatoren durch den Z-Score transformiert und vom Mittelwert von Schweden subtrahiert. Diese Zahl wird anschließend durch die Standardabweichung des Wertes für Schweden dividiert. Die daraus resultierte Zahl wird mit der jeweiligen Gewichtung multipliziert und anschließend je SAMS mit den anderen Indikatoren aufsummiert.

Dimension	Indikator	Anmerkungen
Erwerbstätigkeit	Anteil Arbeitslose	
Bildung	Anteil EW mit niedrigem Bildungsniveau	nicht näher definiert
Sozialkapitaldeprivation	Bewohner, die im vergangenen Jahr umgezogen sind	
Sonstiges	Anteil der Kinder unter 5 Jahren Anteil der Alleinerziehenden Anteil alleinlebender älterer Menschen nicht in Schweden geborene EW	nicht näher definiert „foreign born people“

Tabelle 10: New Zealand Deprivation Index – NZDep

Quelle: Salmond et al. 2007

Raumbezug: mesh block = kleinste neuseeländische Zensusseinheit, Median = 90 EW (5-300 EW), bei Bedarf auf Raumeinheiten mit etwa 100 EW aggregiert

Zeitbezug: 2006

Methodik der Indexerstellung: Standardisierung der Daten und Nutzung der Hauptkomponentenanalyse

Dimension	Indikator	Anmerkungen
Erwerbstätigkeit	arbeitslose Erwachsene (18 - 64 Jahre)	
Einkommen	EW in Haushaltsäquivalenten* mit Einkommen unterhalb der Armutsgrenze Erwachsene (18 - 64 Jahre), die eine bedarfsorientierte Leistung erhalten (Sickness Benefit, Domestic Purposes Benefit, Invalid's Benefit)	* berücksichtigt Unterschiedliche Haushaltsstrukturen
Bildung	Erwachsene (18 - 64 Jahre) ohne formale Qualifikation	
Wohnen und Teilhabe	EW, die nicht in Wohneigentum leben EW in Haushaltsäquivalenten* unterhalb einer Schlafräumebelegungsgrenze (> 1-Personenäquivalent pro Schlafräum ²) EW ohne Zugang zu einem Auto EW ohne Zugang zu einem Telefon	„overcrowding“
Sozialstruktur	EW unter 65 Jahren, die in einer alleinerziehenden Familie leben	

Tabelle 11: Small Area Deprivation Index – SADI (Straßburg, Frankreich)

Quelle: Havard et al. 2008

Raumbezug: 190 IRIS Zensusblöcke = kleinste geostatistische Zensusseinheit mit 1800-5000 EW

Zeitbezug: 1999

Methodik der Indexerstellung: Standardisierung der Daten und Nutzung der Hauptkomponentenanalyse

Dimension	Indikator	Anmerkungen
Job (Erwerbstätigkeit)	Anteil der Arbeitslosen in der Erwerbsbevölkerung gesamt Anteil der Arbeitslosen in der Erwerbsbevölkerung, die seit mehr als einem Jahr arbeitslos sind Anteil der gewerblichen Angestellten Anteil der Erwerbsbevölkerung mit unsicheren Arbeitsplätzen Anteil der Erwerbsbevölkerung mit Festanstellung	„blue collar workers“
Income (Einkommen)	Medianeinkommen pro Konsumeinheit (in €/Jahr)	nicht näher definiert
Educational level (Bildung)	Anteil der EW ab 15 Jahren mit nicht mehr als einer Grundschulbildung Anteil der EW ab 15 Jahren mit allgemeinen oder beruflichen Reifezeugnissen Anteil der EW im Alter von 15 Jahren oder älter mit mindestens einem niedrigeren Hochschulabschluss	
Housing (Wohnen; Lebensumwelt)	Anteil der Hauptwohnsitze, die Häuser oder Bauernhöfe sind Anteil der Hauptwohnsitze, die Mehrfamilienhäuser sind Anteil aller Hauptwohnsitze im geförderten Wohnungsbau Anteil aller Hauptwohnsitze, die nicht als Wohneigentum bewohnt werden Hauptwohnsitze mit mehr als einer Person pro Zimmer Durchschnittliche Anzahl von Personen pro Zimmer Haushalte ohne eigenes Auto Haushalte mit zwei oder mehr Autos	
Family and Household (Sozialstruktur)	Anteil der Familien mit alleinerziehenden Eltern	
Immigration Status (Sonstiges)	Anteil der Ausländer in der Gesamtbevölkerung	

Tabelle 12: Socio-economic Factor Index – SEFI (Provinz Manitoba, Kanada)

Quelle: Chateau et al. 2012

Raumbezug: dissemination area (DA) (N= 2,100) kleinste geostatistische Zensusseinheit in Kanada seit 2001 mit 400-700 EW

Zeitbezug: 2006

Methodik der Indexerstellung: Hauptkomponentenanalyse

Dimension	Indikator	Anmerkungen
Erwerbstätigkeit	Anteil der arbeitslosen EW > 15 Jahre	
Einkommen	durchschnittliches Haushaltseinkommen	
Bildung	Anteil der EW > 15 Jahre ohne High-School-Abschluss	Personen älter als 15 Jahre
Sonstige	Anteil der alleinerziehenden Familien	

Tabelle 13: Deprivation Index for Health and Welfare Planning in Quebec – DIHWPQ (Provinz Quebec, Kanada)

Quelle: Pampalon und Raymond 2000

Raumbezug: enumeration area (EA) (N= 9,085) kleinste geostatistische Zensusseinheit in Kanada mit durchschnittlich 750 EW

Zeitbezug: 1996

Methodik der Indexerstellung: Normalisierung der Indikatoren; Hauptkomponentenanalyse mit Varimax-Rotation

Dimension	Indikator	Anmerkungen
Erwerbstätigkeit	Anteil der erwerbstätigen Bevölkerung (Beschäftigungsquote)	nicht: Anteil der Arbeitslosen
Einkommen	durchschnittliches Haushaltseinkommen	
Bildung	Anteil der Bevölkerung ohne High-School-Abschluss	
Sonstige	Anteil der alleinerziehenden Familien Anteil der Personen, die getrennt, geschieden oder verwitwet sind Anteil der Alleinlebenden	

2.2 Datenrecherche zu potenziell geeigneten Indikatoren

Nach Maßgabe des Forschungsauftrags war die zentrale Aufgabe in diesem Projekt, einen SES-Index zu entwickeln bzw. einen Indikator für den SES zu identifizieren, der a) möglichst kleinräumig mit den Daten des UBA zur Feinstaubexposition auf 2 x 2 km² korrespondiert und verschnitten werden kann und b) gleichzeitig im Rahmen des UKAGEP-Projekts eine deutschlandweite Aussage zur sozioökonomischen Differenzierung der Krankheitslast möglich macht. Somit ergibt sich bezüglich der Eingangsdaten bzw. Indikatoren ein Spannungsfeld aus i) inhaltlicher Aussagekraft sowie ii) räumlicher Auflösung unterhalb von z. B. Kreis- oder Gemeindeebene einerseits und iii) bundesweiter Abdeckung und Verfügbarkeit andererseits. Diese Erfordernisse definieren eine spezifische Ausgangslage, die sich von der Entwicklung anderer Indizes unterscheidet (z. B. GISD des RKI). Daher sollten auch solche Indikatoren auf ihre Eignung untersucht werden, die eventuell bei der Bildung deutscher Deprivationsindizes nicht in Betracht gezogen wurden.

Es ist festzuhalten, dass es einerseits keine allgemeingültige Definition für eine Operationalisierung des sozioökonomischen Status gibt (Statistisches Bundesamt 2016). Das zeigt auch ein Blick auf die im Vorangegangenen dokumentierten SES-Indizes. Andererseits herrscht weitgehend Einigkeit darüber, „dass der SES sowohl durch die materielle Situation als auch durch Bildung und Beruf bestimmt werden kann“ (ebd., S.27). Auch diese Annahme spiegelt sich in den beschriebenen Indizes wieder.

Die folgende Tabelle 14 enthält die – auf Basis der bisher dokumentierten Recherchen – zu bevorzugenden sowie mögliche Stellvertreterindikatoren¹² für die Verwendung im Rahmen dieses Projekts. Sie zeigt außerdem, in welchen der im Vorangegangenen dokumentierten Indizes der jeweilige Indikator enthalten ist. Dabei ist zu beachten, dass die verschiedenen Indizes z. T. leicht unterschiedliche Operationalisierungen der jeweiligen Indikatoren verwenden. So wird die Arbeitslosenquote im GISD und GIMD zum Beispiel als ‚Anteil der Arbeitslosen an der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter (15-65- Jahre)‘ dargestellt, während der SI-EDI ‚Arbeitslose ≥ 3 Monate‘ sowie den ‚Anteil der nicht angestellt oder selbstständig Beschäftigten‘ enthält. Der EIMD wiederum berücksichtigt den Erwerbsstatus über den ‚Anteil der Frauen (18-59) bzw. Männer (18-64) in % ihrer Altersgruppe, die beschäftigungsabhängige Transferleistungen empfangen‘. Die spezifischen Ausprägungen der einzelnen Indikatoren im jeweiligen Index können den Tabellen in Abschnitt 2.1.2 entnommen werden. Die letzte Spalte von Tabelle 14 zeigt an, ob Böhme et al. 2015 den Indikator als Basisindikator für ein Monitoring zur Umweltgerechtigkeit (UG) empfehlen.

Ausgewählt wurden Indikatoren, die erstens in den dokumentierten Indizes verwendet wurden und zweitens für die Lebenswirklichkeit in Deutschland relevant sind. So werden z. B. der Zugang zu einem Telefon (NZDep) oder einer innenliegenden Toilette mit Spülung (PT-EDI) für die vorliegende Studie nicht als angemessene Indikatoren des SES-Status in Deutschland betrachtet. Weitere Erläuterungen zu den jeweiligen Indikatoren finden sich in den unten folgenden Abschnitten.

Für die mögliche Bildung eines SES-Index im vorliegenden Projekt wurde zunächst die Datenverfügbarkeit untersucht. Die Ergebnisse dieser Recherche sind Anhang A zu entnehmen. Im Weiteren sollte dann ggf. auf Basis von Faktorenanalysen entschieden werden, ob der jeweilige Indikator Verwendung finden würde. Dies galt auch für Indikatoren, die bislang in deutschen Indizes keine Verwendung fanden (z. B. Ausländeranteil oder Migrationshintergrund).

¹² Als Stellvertreterindikatoren werden dabei jene gekennzeichnet, die auf Grund ähnlicher Aussage stellvertretend für Indikatoren verwendet werden können, für die möglicherweise keine Daten zur Verfügung stehen.

Tabelle 14: Für das Gutachten bevorzugte Indikatoren (bzw. Stellvertreterindikatoren)

Indikator	Indizes, die entsprechende Indikatoren enthalten	bevorzugt / Stellvertreter	Empfohlen für UG-Monitoring nach Böhme et al. (2015)
Arbeitslosenquote	GISD, GIMD, F-EDI, PT-EDI, SI-EDI, CNI, NZDep, SADI, SEFI, DIHWPQ	bevorzugt	ja
Empfang von Transferleistungen	EIMD, DANDEX, NZDep	Stellvertreter	ja
Haushaltseinkommen	GISD, DANDEX, NZDep, SEFI, DIHWPQ	Stellvertreter	
pro Kopf Einkommen	GIMD, SADI	bevorzugt	
Anteil der Schulabgehenden ohne formalen Abschluss (bzw. mit niedrigstem ²)	GISD, F-EDI, PT-EDI, SI-EDI, DANDEX, CNI, NZDep, SEFI, DIHWPQ	bevorzugt	ja
Anteil der Erwachsenen ohne formale Berufsausbildung (bzw. geringfügig qualifiziert)	GIMD, EIMD, F-EDI, SI-EDI, DANDEX, SADI	Stellvertreter	
Wahlbeteiligung	GIMD	Stellvertreter	
Ausländeranteil / Migrationshintergrund	F-EDI, PT-EDI, SI-EDI, CNI	Stellvertreter	
Wohnfläche pro Kopf (bzw. Überbelegungsmaß)	EIMD, F-EDI, PT-EDI, DANDEX, NZDep	Stellvertreter	

Arbeitslosenquote

Der Anteil der Arbeitslosen an der erwerbsfähigen Bevölkerung wird in der Mehrheit der SES-Indizes berücksichtigt. In manchen Fällen definiert der Indikator zusätzlich eine Mindestdauer der Erwerbslosigkeit (SI-EDI, SADI). Auch Böhme et al. (2015) empfehlen die Ausprägung der Dimension ‚Erwerbstätigkeit‘ als Anteil der Langzeitarbeitslosen (vgl. § 18 I SGB III, länger als ein Jahr arbeitslos gemeldet), da diese Information eher auf längerfristige und strukturelle Probleme hinweist. Im Bayerischen Index Multipler Deprivation wurde diese Variable hingegen auf Basis einer Faktoranalyse zusammen mit der Variable ‚Arbeitslose < 25 Jahre‘ zugunsten der Gesamtarbeitslosenquote von der Indexbildung ausgeschlossen (Maier et al. 2012).

Die reine Arbeitslosenquote erfasst jeden und jede, der oder die „vorübergehend nicht in einem Beschäftigungsverhältnis steht, eine versicherungspflichtige Beschäftigung sucht, sich persönlich bei einer Agentur für Arbeit oder einem Jobcenter arbeitslos gemeldet hat und den Vermittlungsbemühungen zur Verfügung steht“ (Bundesagentur für Arbeit 2019, o.S.). Dazu zählen jedoch z. B. auch alle, die weniger als 15 Wochenstunden einer Beschäftigung nachgehen.

Empfang von Transferleistungen

Die untersuchten Indizes berücksichtigen den Empfang von Transferleistungen unterschiedlicher Art. Zum Teil fungieren diese auch als Proxy für Arbeitslosigkeit, so zum Beispiel beim

EIMD, welcher einen Indikator enthält, der den Anteil der arbeitsfähigen Erwachsenen¹³ quantifiziert, die eine sogenannte Job Seekers's Allowance oder Employment / Support Allowance empfangen.

Unter anderem im Rahmen von kommunalem Sozialmonitoring für die Freie und Hansestadt Hamburg (im Folgenden: Hamburg; vgl. Lüde 2018) wird in Deutschland häufig der Anteil der sog. Hartz IV-Empfängenden verwendet, also derjenigen, die Arbeitslosengeld (ALG) II nach Sozialgesetzbuch (SGB) II beziehen. Dies betrifft Menschen, die nach 12 Monaten Erwerbslosigkeit (altersabhängig ggf. bis 24 Monate) keinen Anspruch auf Arbeitslosengeld mehr haben. ALG II wird jedoch davon unabhängig auch als Grundsicherung für Arbeitssuchende oder mit ihnen in Bedarfsgemeinschaften lebende Menschen (z. B. Kinder, Partnerinnen oder Partner) zur Sicherung des Lebensunterhalts gezahlt, wenn andere Einkommen aus Erwerbstätigkeit, Vermögen oder Transferleistungen hierfür als nicht ausreichend erachtet werden. Generelle Voraussetzung des Bezugs von ALG II nach § 7 Abs. 1 SGB II sind: Alter zwischen 15 und 65-67 Jahren (abhängig vom Geburtsjahr, vgl. § 7a SGB II), die soeben beschriebene Hilfsbedürftigkeit, eine generelle Erwerbsfähigkeit (also in der Lage zu sein, mehr als 3 Stunden pro Tag arbeiten zu können) und ein gewöhnlicher [sic.] Aufenthalt in Deutschland. Das schließt Ausländerinnen und Ausländer mit ein, die mit einem Aufenthaltstitel nach Kapitel 2 Abschnitt 5 des Aufenthaltsgesetzes in Deutschland leben (vgl. §7 SGB II).

Lüde (2018) zeigt für Hamburg, dass der Indikator ‚Anteil der SGB-II-Empfänger/-innen‘ eine hohe Korrelation mit anderen sogenannten Aufmerksamkeitsindikatoren (ebd.) des kommunalen Sozialmonitorings aufweist, insbesondere mit dem Anteil von Arbeitslosen, von Kinder und Jugendlichen in Mindestsicherung und von Kindern und Jugendlichen mit Migrationshintergrund (ebd., Tabelle 19). Der Anteil der erwerbstätigen SGB II Empfängenden (sogenannte Aufstockende) wird auch für das Indikatorenset zum UG-Monitoring empfohlen (Böhme et al. 2015). Generell ist allerdings davon auszugehen, dass eine Berücksichtigung aller jener, die eine Transferleistung nach SGB II oder SGB XII empfangen (z. B. für die Absicherung im Alter), das umfassendste Bild der finanziell Benachteiligten ergäbe.

Einkommen

Die materielle Situation von Personen bzw. Haushalten (im Sinne einer gemeinschaftlich wirtschaftenden privaten Einheit) ist eine schwierig zu erhebende Variable. Das Haushaltsnettoeinkommen ist mithin eine langfristig etablierte Stellvertretervariable (Lampert und Kroll 2009). Sie errechnet sich – idealerweise – aus der Summe der Nettoeinkommen aller zu einem privaten Haushalt zählenden Personen. Dabei besteht das Nettoeinkommen aus jedwedem Einkommen aus „unselbstständiger Tätigkeit, aus Unternehmertätigkeit, aus Vermögen, Vermietungen und Verpachtungen und aus öffentlichen und privaten Einkommensübertragungen“ (Statistisches Bundesamt (Destatis) 2016, S. 85) abzüglich von Steuern sowie der Pflichtbeiträge zur Sozialversicherung.

Diese Informationen können bei Primärstudien über Befragungen erhoben werden – wobei häufig auf eine Kategorisierung der Variable zurückgegriffen wird, um die Antwortbereitschaft zu erhöhen (Lampert und Kroll 2009). Im Falle der hier dokumentierten Indizes und so auch für den im Rahmen des Gutachtens zu erstellenden SES-Index werden jedoch Sekundärdaten genutzt. So berücksichtigt der GISD das durchschnittliche Haushaltseinkommen pro Kopf (als Summe der verfügbaren Haushaltseinkommen in Euro pro EW). Diese Daten sind den INKAR Indikatoren entnommen (vgl. Tabelle 15) in denen die Variable auf der volkswirtschaftlichen Gesamtrechnung der Länder basiert (vgl. Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der

¹³ bzw. Frauen 18-59 Jahre und Männer 18-64 Jahre

Länder 2018). Dieser Indikator enthält keine Äquivalenzbilanzierung, berücksichtigt also nicht verschiedene Haushaltsgrößen. Gleiches gilt für die Einkommensvariable im GIMD.

Anmerkung: Der Dokumentation des GIMD konnte nicht eindeutig entnommen werden, ob die Variable ‚Gesamtbetrag der Einkünfte (Steuerpflichtige)‘, die als pro Kopf Wert berechnet wird, sich auf das Netto- oder das Bruttoeinkommen bezieht.

Anteil der Schulabgehenden ohne formalen Abschluss

Auch dieser Indikator ist in einer jeweils dem nationalen Bildungssystem angepassten Form in der Mehrzahl der untersuchten SES-Indizes enthalten. Die Abfrage des höchsten (angestrebten) Schulabschlusses wird ebenso in den Demographischen Standards des Bundesamtes für Statistik empfohlen – zusammen mit einer Frage zu den beruflichen Ausbildungsabschlüssen (Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder 2018; siehe auch folgender Indikator).

Die Dimension der Bildung hat in Deutschland bei der Betrachtung des sozioökonomischen Status seit den 70er Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen (siehe auch Lampert und Kroll 2009, S. 310-311). In ihren Empfehlungen zu einem Indikatorenset für das Umweltgerechtigkeitsmonitoring erklären auch Böhme et al. (2015), Bildung sei „eine zentrale Voraussetzung, um die gesellschaftliche und wirtschaftliche Situation des Menschen zu verbessern. Sie kann darüber hinaus zu einem rationalen Verständnis von Zusammenhängen beitragen und fördert dementsprechend auch das Gesundheits- und Umweltbewusstsein in der Bevölkerung“. (ebd., S. 74).

Anteil der Erwachsenen ohne formale Berufsausbildung

Wie Tabelle 14 entnommen werden kann, berücksichtigen einige Indizes diesen Indikator zusammen mit einem Indikator zur Schulbildung in der Domäne Bildung(sdeprivation), während andere nur einen von beiden nutzen. Der GIMD enthält diese Variable und auch die INKAR-Datenbank stellt diesen Indikator auf Basis der Statistik der Bundesagentur für Arbeit zur Verfügung.

Wahlbeteiligung

Die Domäne Sozialkapital(deprivation) wird in den beiden deutschen Indizes auf der individuellen Ebene lediglich im GIMD über die Variable Bundeswahlbeteiligung in Prozent berücksichtigt. Gleichzeitig haben die Mitautoren des GISD, Kroll und Lampert, über eine Auswertung der Daten des Sozioökonomischen Panels (SOEP) einen positiven Zusammenhang zwischen verschiedenen Ausprägungen von Sozialkapital und Gesundheit festgestellt (Kroll und Lampert 2007). Die SOEP-Daten stehen jedoch nicht in einer für die vorliegende Studie ausreichenden räumlichen Auflösung und Abdeckung zur Verfügung. Bei entsprechender Datenverfügbarkeit könnte allerdings untersucht werden, wie stark ein möglicher Zusammenhang zwischen Wahlbeteiligung und den Indikatoren anderer Domänen ausgeprägt ist.

Ausländeranteil / Migrationshintergrund

Ein Indikator, der den Bevölkerungsanteil von Angehörigen einer anderen Nationalität oder mit Migrationshintergrund¹⁴ beschreibt, wird in deutschen Indizes und im EIMD nicht verwendet. Er findet sich aber in den verschiedenen hier dokumentierten Versionen des European Deprivation Index sowie im DANDEX wieder. Zudem weist der Bericht zum Sozialmonitoring der Stadt Hamburg eine starke Korrelation zwischen dem Anteil der SGB II Beziehenden und dem Anteil der

¹⁴ laut Definition des Statistischen Bundesamts alle Personen, die bei ihrer Geburt nicht die deutsche Staatsangehörigkeit besaßen oder mindestens eine Elternteil haben, auf den dies zutrifft – <https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Migration-Integration/Methoden/migrationshintergrund.html>; zuletzt aufgerufen 31.03.2019

Kinder und Jugendlichen mit Migrationshintergrund nach (Pearson's $r = 0,791$; Lüde 2018, Tabelle 19).

Wohnfläche pro Kopf

Dieser Indikator wird – in unterschiedlichen Ausprägungen – als Überbelegungsmaß für Wohnraum verwendet. In der Dokumentation zum EIMD wird die Verwendung dieser Variable als Anteil der überbelegten Haushalte (an allen Haushalten) in einem Betrachtungsraum beschrieben (Department for Communities and Local Government 2015). Prinzipiell wäre, wie beim Haushaltseinkommen auch, hier eine Äquivalenzberechnung sinnvoll, die das Alter und die Beziehung der Haushaltmitglieder untereinander berücksichtigt. Im Rahmen der für dieses Gutachten geplanten Nutzung von Sekundärdaten werden jedoch voraussichtlich lediglich Informationen zur Wohnfläche pro Kopf bzw. pro Haushalt verfügbar sein. Diese könnten über einen Bezug zum entsprechenden Mittelwert der jeweiligen untersuchungsrelevanten Einheit (wie z. B. Lebensweltlich orientierte Planungsräume – Berlin; statistische Gebiete – Hamburg; Stadtteile oder Gemeinden / Gemeindeverbände) skaliert werden, um großräumige Vergleichbarkeit zu ermöglichen. Die Relevanz eines solchen Indikators für die Indexbildung wäre dann im Rahmen einer Faktoranalyse weiter zu untersuchen.

2.3 Workshop mit Expertin und Experten

2.3.1 Zielsetzung und Teilnehmende

Es war Teil der Aufgabenstellung in diesem Projekt, die recherchierten SES- Indizes und die Planungen für das weitere methodische Vorgehen im Rahmen eines Workshops mit ausgewiesenen Expertinnen bzw. Experten im Bereiche der Umweltgerechtigkeitsforschung und der Verwendung sozioökonomischer Indizes in Deutschland zu reflektieren. Ziel war es, zusätzliche Impulse aus der wissenschaftlichen Gemeinschaft für die anstehenden methodischen Entscheidungen zu erhalten. Dieser Workshop fand im Juni 2019 in Hamburg mit folgenden Teilnehmenden statt:

- ▶ Prof. Dr. Gabriele Bolte – Geschäftsführende Direktorin des Instituts für Public Health und Pflegeforschung (IPP) und Leiterin der Abteilung Sozialepidemiologie des IPP, Universität Bremen
- ▶ PD Dr. Lars Schwettman – stellvertretender Institutsdirektor, Leiter der Arbeitsgruppe 1 Quantitative Methoden in der Gesundheitsökonomie am Institut für Gesundheitsökonomie und Management im Gesundheitswesen des Helmholtz Zentrums München
- ▶ Dr. Lars Eric Kroll – Leiter des Fachbereichs Versorgungsforschung, Systemanalyse und Data Science am Zentralinstitut der kassenärztlichen Versorgung, vormals Stellvertretender Leiter der Fachgruppe 28 Soziale Determinanten der Gesundheit am Robert Koch Institut
- ▶ den Projektbearbeitenden aus dem UBA (Auftraggeber):
 - Dr. Christian Schuster
 - Myriam Tobollik
- ▶ und von der Technischen Universität Hamburg (TUHH) (Auftragnehmerin):
 - Dr. Philine Gaffron

- Maximilian Freude
- Insa Puchert

2.3.2 Schlussfolgerungen für das weitere Vorgehen

Der Austausch im Rahmen des Workshops sowie die anschließende interne Diskussion im Projekt führten zu dem Entschluss, von einer Indexbildung abzusehen und stattdessen im Weiteren die inhaltlich und räumlich geeigneten SES-Indikatoren Miet- und Kaufspiegel sowie Haushaltseinkommen zu verwenden sowie deren Aussagen ggf. ergänzend und vergleichend zu betrachten. Sie werden im folgenden Abschnitt 2.4 detaillierter vorgestellt.

Hauptgrund für diese Entscheidung war, dass sowohl die Recherchen an der TUHH als auch die Erfahrungen der Expertin und der Experten keine Hinweise auf weitere relevante Indizes ergaben, die sowohl mit der gewünschten deutschlandweiten Abdeckung als auch in einer Auflösung unterhalb der Gemeindeebene verfügbar gewesen wären. Es wurde zudem als Vorteil erachtet, dass gegenüber der ursprünglich diskutierten Erstellung eines SES-Index die Aussagekraft der Ergebnisse durch die Verwendung von Indikatoren geschärft würde und diese besser interpretierbar werden können.

Im Einzelnen ergaben sich aus dem Workshop die folgenden weiteren Empfehlungen und Erkenntnisse:

- ▶ Es herrschte Einigkeit darüber, dass die materielle Situation der Haushalte bzw. ihre lokale Kaufkraft die Wohnstandortwahl am stärksten beeinflusst.
- ▶ Die materielle Situation ist jedoch nur indirekt und am besten über den Indikator Einkommen in der entsprechenden räumlichen Auflösung abzubilden. Die Verwendung weiterer Kaufkraftindikatoren ist aufgrund fehlender kleinräumiger und flächendeckender Verfügbarkeit der Daten nicht möglich.
- ▶ Beruf- und Bildungsdimensionen, wie sie auch im GIMD und GISD verwendet wurden, stellen eine sinnvolle Ergänzung zum Einkommensindikator dar, stehen für die geplante kleinräumige Betrachtung unterhalb der Gemeindeebene jedoch ebenfalls nicht zur Verfügung.
- ▶ Es wurde als interessant erachtet, ergänzend zu den bereits vorgesehenen Untersuchungen für Deutschland, Berlin und Hamburg auch einen Untersuchungsraum eines weiteren Raumtyps zu betrachten (Kleinstadt oder ländliche Region), für den entsprechend hoch aufgelöste Belastungsdaten vorliegen (PM_{2.5}). Den Anwesenden war jedoch kein konkretes Beispiel bekannt und die TUHH wies darauf hin, dass es solche Daten normalerweise nur für größere Kommunen gibt, die Luftreinhaltepläne erstellen müssen. Falls nach Abschluss der Analysen für Deutschland, Berlin und Hamburg noch Zeit bleibt, sollte die TUHH sich erkundigen, ob es in Deutschland dennoch für solche Gebiete auch kleinräumigen Feinstaubdaten gibt, um damit ggf. ergänzende Analysen durchführen zu können.
- ▶ Beim Vergleich bzw. der Interpretation von Miet- und Kaufspiegel sollte deren unterschiedliche Dynamik berücksichtigt werden, da in den Daten zum Kaufspiegel allgemein eine höhere ‚Trägheit‘ der Wohnstandortveränderungen zu erwarten ist.

- ▶ Da der ökonomische Aspekt von Wohnstandortentscheidungen durch eine Querschnittsbetrachtung nur unzureichend widerspiegelt wird, wurde diskutiert, die Entwicklung des Mietspiegels über mehrere Jahre zu betrachten und in Bezug zu Haushaltseinkommen zu setzen, um auch die längerfristige Wirkung auf Wohnstandortentscheidungen abzubilden. [Anmerkung: Auf Grund der Kosten der entsprechenden Datensätze wurde im Nachgang beschlossen, beim Datenerwerb von der infas 360 GmbH dem Kaufspiegel den Vorzug vor einem ergänzenden Jahrgang des Mietspiegels zu geben – auch weil sich herausstellte, dass beide Datensätze in Kombination für das weitere methodische Vorgehen benötigt wurden, vgl. Abschnitt 3.1.2].
- ▶ Extremwerte sollten darauf untersucht werden, in wie weit sie die Aussagen der Datensätze verzerren und ob sie daher ausgeschlossen werden sollten oder ob sie im Gegenteil im Rahmen der Fragestellung wichtige Aussagen beinhalten. Bei Analysen auf Basis von Quantilen stellen Extremwerte kein Problem dar.
- ▶ Die Korrelation der SES-Indikatoren sollte untereinander sowie mit den Belastungsdaten für unterschiedliche Raumeinheiten genauer untersucht und verglichen werden.

2.4 Ausgewählte Variablen

Kernaufgabe dieses Gutachtens war die explorative Untersuchung der Frage, ob deutschlandweit bei der Belastung der Bevölkerung mit PM_{2.5} sozioökonomische Unterschiede festzustellen sind. Die im vorangegangenen Kapitel dokumentierten Recherchen haben außerdem gezeigt, dass es möglich und lohnend sein würde, die gleiche Frage ergänzend für die Städte Hamburg und Berlin anhand höher aufgelöster Datensätze zur Feinstaubbelastung zu untersuchen. Dieses Vorgehen kann zusätzliche methodische und inhaltliche Erkenntnisse generieren, auf denen die deutschlandweiten Analysen aufbauen und zu denen sie in Bezug gesetzt werden können. Folgende Datensätze fanden somit im Weiteren Verwendung um die beiden Domänen sozioökonomischer Status und Umweltbelastung abzubilden.

- ▶ SES-Indikatoren:
 - Miet- und Kaufspiegel in €/m² (Monatskaltmiete bzw. Kaufpreis) auf Ebene von Baublöcken; Bezugsjahr 2015; Quelle: infas 360 GmbH (vgl. Tabelle 64 und Tabelle 65)
 - durchschnittliches jährliches Haushaltsnettoeinkommen in € auf Ebene eines 1 x 1 km² Rasters (berücksichtigt: alle regelmäßigen Einkünfte aus Arbeit, Vermögen und Transferleistungen nach Abzug von Steuern und Sozialabgaben); Bezugsjahr 2015; Quelle: Forschungsdatenzentrum (FDZ) Ruhr am RWI (vgl. Tabelle 66)
- ▶ Belastungsvariable für Deutschland:
 - PM_{2.5} Hintergrundbelastung als modellierter Durchschnittswert für ein 2 x 2 km² Raster; Bezugsjahr 2015; Quelle: UBA (vgl. Tabelle 69)

► Belastungsvariable für Hamburg:

- PM_{2.5} Gesamtbelastung als modellierter Jahresdurchschnittswert für ein 100 x 100 m² Raster; Bezugsjahr 2012 (aktuellste Verfügbarkeit); Quelle: Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG; vgl. Tabelle 67)

► Belastungsvariable für Berlin:

- PM_{2.5} Hintergrundbelastung als modellierter Jahresdurchschnittswert für ein 500 x 500 m² Raster; Bezugsjahr 2015; Quelle: Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SENUVK; vgl. Tabelle 68)

Die zugehörigen Datenblätter mit Informationen zu Datenhaltern, Erstellungsmethodik, Verfügbarkeit und ggf. relevanten Veröffentlichungen finden sich in Anhang B.

3 Datenaufbereitung am Beispiel Hamburgs und verwendete statistische Methoden

Auf Grund der starken methodischen Ausrichtung dieses Gutachtens wird die Datenaufbereitung im Folgenden am Beispiel Hamburgs detailliert dokumentiert. Dieses Vorgehen soll sowohl die Ableitung der Methodik als auch die Auswirkung der einzelnen Schritte auf die verwendeten Datensätze möglichst nachvollziehbar machen. Die an diesem Beispiel entwickelte Methodik wurde im Rahmen dieses Gutachtens als idealtypisch angenommen und – so weit als möglich – für Berlin und Deutschland übernommen bzw. bedarfsgerecht angepasst (vgl. Abschnitte 4.1 und 4.2).

Der Fall Hamburg wurde als erster betrachtet, da der Auftragnehmerin für Hamburg die räumlich differenziertesten Belastungsdaten vorlagen. Zusätzlich verfügt die Auftragnehmerin in diesem Betrachtungsraum über die besten Ortskenntnisse, was es unter Anderem erleichterte, Datenlage und Realität miteinander abzugleichen.

3.1 Sozioökonomische Indikatoren

3.1.1 Originaldaten

3.1.1.1 Miet- und Kaufspiegel

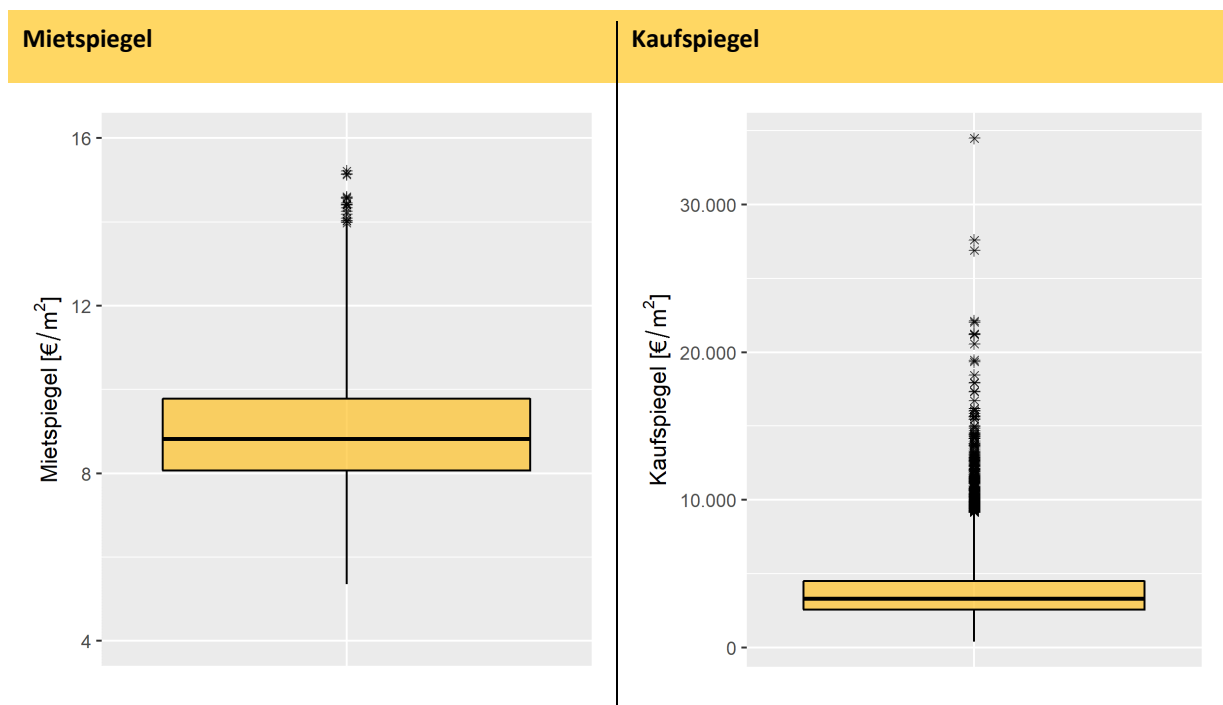
Die von infas360 zur Verfügung gestellten Miet- und Kaufspiegel stellen durchschnittliche Quadratmeterpreise für sogenannte Siedlungs- bzw. Baublöcke dar. Laut Duden-Definition ist ein Baublock ein „von mehreren Straßen umschlossener, aus zusammenhängenden Bauten bestehender Komplex“¹⁵. Dieses Konzept beschreibt jedoch im erweiterten Sinne auch Areale, die nicht notwendigerweise durch zusammenhängende Bauten gekennzeichnet sind oder auch Straßenräume enthalten, die nicht zu ihrer Umgrenzung gehören. Deutschlandweit liegt die Mediangröße dieser Flächen im infas360 Datensatz bei 7.319 m².

Für Hamburg wurden alle Einheiten ausgewählt, deren Zentroide sich innerhalb der offiziellen Gemeindegrenzen des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) befinden. Von den resultierenden 23.479 Baublöcken¹⁶ (Mittelwert = 17.351 m², Median = 8.381 m², Standardabweichung = 30.763 m²) waren 6.489 weder mit Miet- noch mit Kaufspiegeldaten belegt. Für die verbleibenden 16.990 Baublöcke mit Werten für den Mietspiegel ist Mittelwert = 9,13 €/m² und Standardabweichung = 1,48 €/m². Von diesen Baublöcken existierten für 11.608 auch Daten für den Kaufspiegel, mit Mittelwert = 3.870 €/m² und Standardabweichung = 2.158 €/m². Die zentralen Lagemaße sind Abbildung 3 zu entnehmen.

¹⁵ vgl. www.duden.de/rechtschreibung/Baublock - abgerufen am 20.03.2020

¹⁶ Die Werte berücksichtigen die zu Hamburg gehörenden Nordseeinseln Neuwerk, Scharhörn und Nigehörn. Diese sind aus Gründen der besseren Lesbarkeit in den Karten im Weiteren jedoch nicht dargestellt.

Abbildung 3: Boxplots für Miet- und Kaufspiegeldaten in €/m² auf Baublockebene für Hamburg

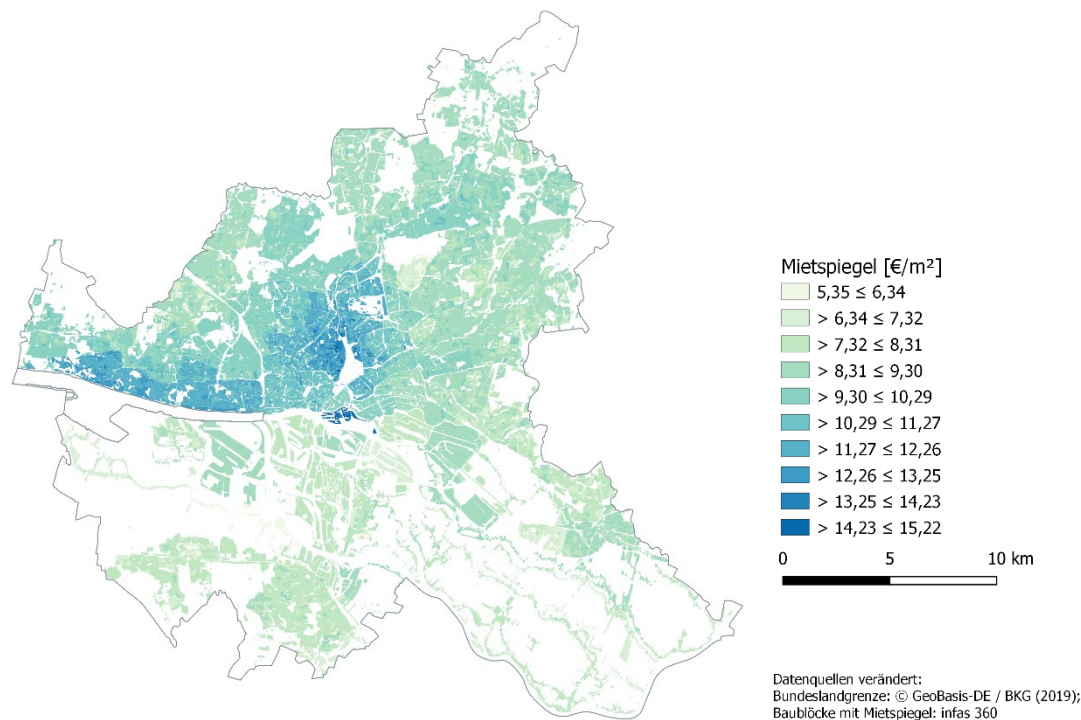


Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 4 und Abbildung 5 zeigen eine räumliche Darstellung der Datensätze. Für die grafische Darstellung der SES-Indikatoren wurden zehn äquidistante Klassen¹⁷ verwendet (wie auch in den folgenden Abschnitten für die Belastungsdaten). Diese Einteilung der Daten erleichtert das visuelle Erfassen der Informationen. Hohe Werte für den Mietspiegel können im Gebiet um die Außenalster sowie auf einer nördlich der Elbe nach Westen verlaufenden Relation identifiziert werden. Auch Gebiete entlang des Alsterverlaufs nördlich der Außenalster weisen höhere Mietspiegelwerte auf. Zudem sticht das städtebauliche Entwicklungsgebiet der Hafen City zwischen Binnenalster und Elbe durch hohe Mietpreise hervor. Gebiete mit niedrigeren Werten fallen besonders im Hamburger Osten, auf der Elbinsel Wilhelmsburg und im südlich der Elbe gelegenen Bezirk Harburg auf.

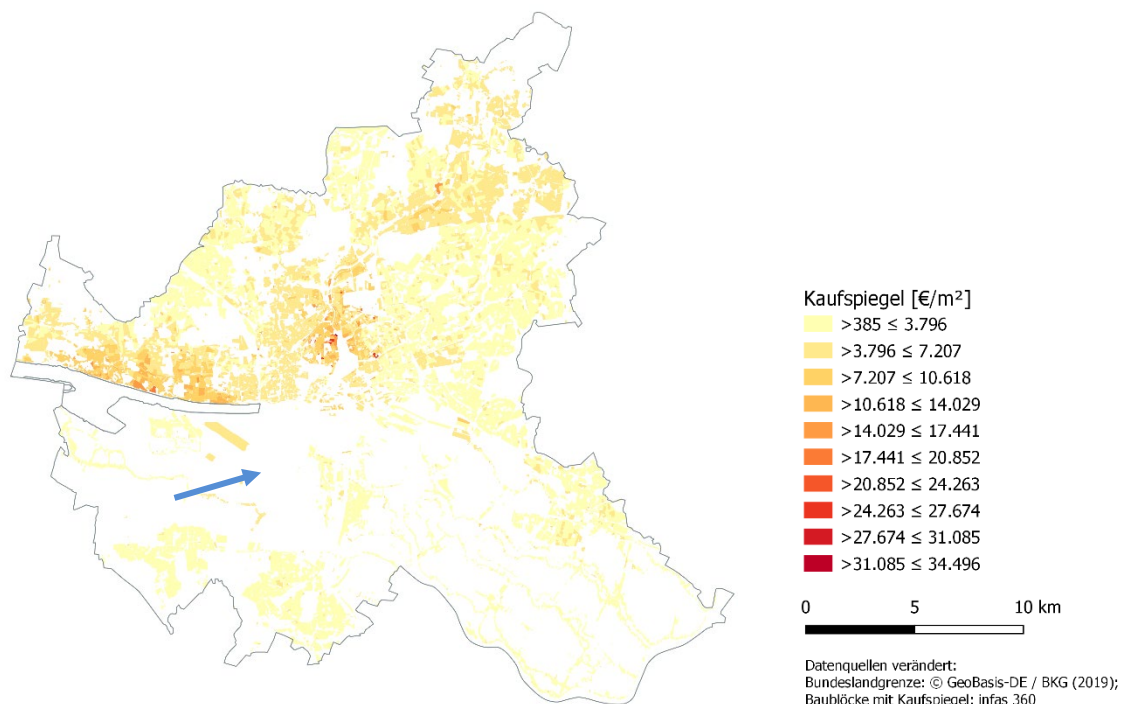
¹⁷ Aufteilung des Datensatzes anhand von zehn gleichgroßen Abschnitten der jeweiligen Spannweite der Werteskala. Für die statistischen Analysen in Kapitel 7 werden Dezile verwendet (Begründung siehe Abschnitt 3.4), also eine Aufteilung des Datensatzes in zehn Gruppen mit jeweils gleichen Fallzahlen.

Abbildung 4: Karte des Mietspiegels in €/m² auf Baublockebene für Hamburg



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 5: Karte des Kaufspiegels in €/m² auf Baublockebene für Hamburg



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Hohe Kaufspiegelwerte sind vor allem am westlichen und östlichen Ufer der Außenalster vorzufinden und folgen den Westen einer ähnlichen Verteilung wie der Mietspiegel. Im östlichen und südlichen Stadtgebiet liegen die niedrigsten Werte. Südlich der Elbe finden sich große nicht be-

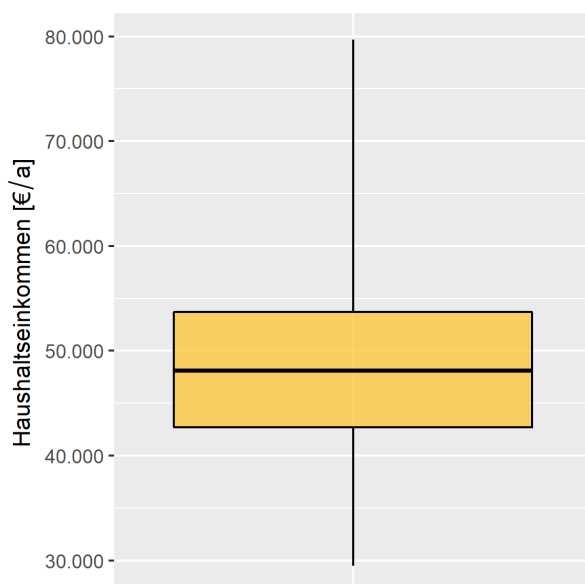
siedelte Flächen, die dem Hafen, dem Alten Land und den Vierlanden zugehörig sind. Beim Vergleich der Abbildungen für die beiden Indikatoren wird relativ deutlich, wo sich die numerische Differenz der gültigen Fälle räumlich manifestiert, beispielsweise im Hafengebiet (siehe blauer Pfeil in Abbildung 5).

3.1.1.2 Haushaltseinkommen

Der in diesem Gutachten verwendete Datensatz wurde vom FDZ Ruhr am RWI gegen eine Nutzungsgebühr zur Verfügung gestellt. Zwar wird er vom Datenhalter als ‚Kaufkraft‘ bezeichnet, entspricht laut der mitgelieferten Dokumentation jedoch dem jährlichen Haushaltsnettoeinkommen. Der Indikator wurde ursprünglich von der Firma microm Micromarketing-Systeme und Consult GmbH (microm) auf Basis von „amtlichen statistischen Quellen bzw. der Lohn- und Einkommenssteuerstatistik [...] auf Gemeindeebene“ errechnet (microm Consumer Marketing ohne Datum, S. 102). Die Daten werden als Summe der Einkommen von Haushalten innerhalb einer Rasterzelle mit einer Auflösung von $1 \times 1 \text{ km}^2$ verfügbar gemacht. Über die Verwendung der mitgelieferten Angabe zur Anzahl der Haushalte pro Rasterzelle wurde ergänzend das durchschnittliche Jahresnettoeinkommen pro Haushalt berechnet und als Variable für weitere Analysen verwendet. Dieser Indikator wird im Interesse der Lesbarkeit in folgenden Kapiteln verkürzt als ‚Haushaltseinkommen‘ bezeichnet – gemeint ist in jedem Fall das ‚durchschnittliche jährliche Haushaltsnettoeinkommen in €‘. Weitere Informationen zum Datensatz finden sich in Tabelle 66, Anhang B.

Auch für diesen Indikator wurden die Hamburger Fälle dem Datensatz für Deutschland entnommen, basierend auf der Lage der Rasterzentroide innerhalb der Gemeindegrenze nach BKG. Von den 760 auf diese Weise selektierten Rasterzellen lagen für 655 Einkommensdaten vor, mit Mittelwert = 48.612 €/Jahr und Standardabweichung = 8.795 €/Jahr (vgl. Abbildung 6).

Abbildung 6: Boxplot für das durchschnittliche Haushaltseinkommen in €/Jahr auf $1 \times 1 \text{ km}^2$ für Hamburg

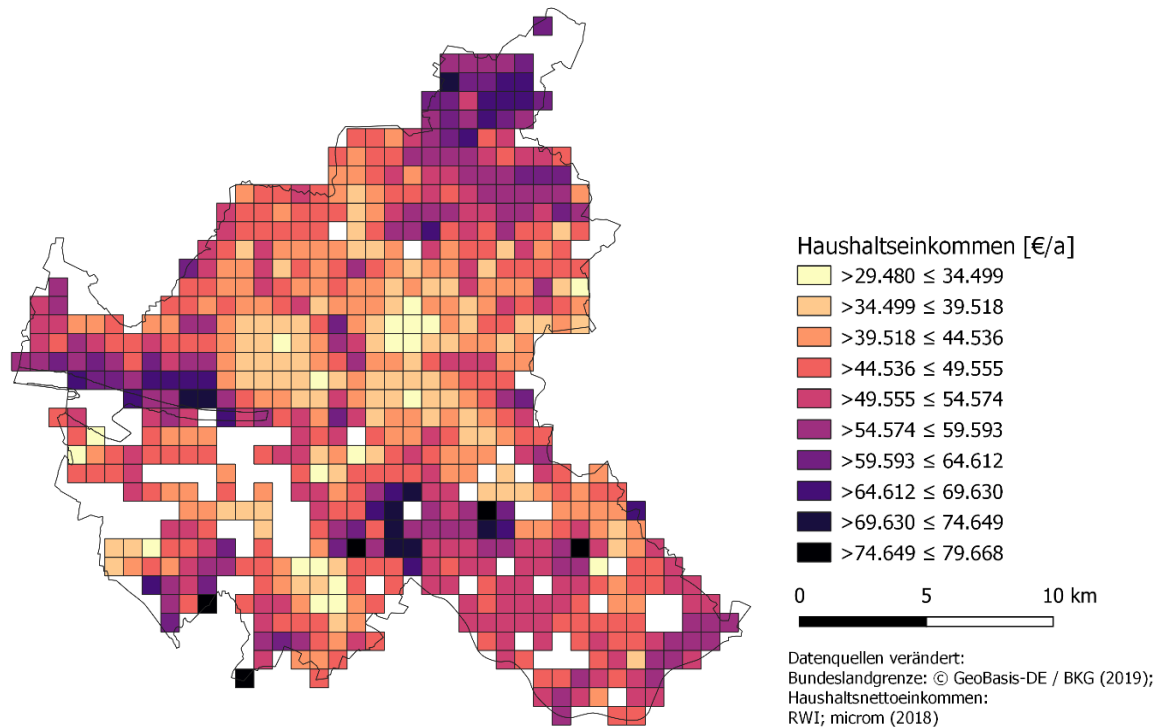


Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 7 ist zu entnehmen, dass Bereiche mit einem hohen durchschnittlichen Haushaltseinkommen sich zum Beispiel am Elbhang im Westen der Stadt befinden. Auch im nördlichen Be-

reich von Hamburg finden sich hohe Haushaltseinkommen. Dort sind vorrangig Einfamilienhäuser in weniger dicht besiedelten Strukturen vorzufinden. Im Süden der Stadt existieren ebenfalls Zellen, die dem höchsten Wertebereich zugeordnet werden können. Hierbei handelt es sich um dünn besiedelte Flächen mit Einzelhausbebauung. Dort ist entsprechend auch die Anzahl der Haushalte gering.

Abbildung 7: Karte des durchschnittlichen Haushaltseinkommens in €/Jahr auf 1 x 1 km² für Hamburg



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

3.1.2 Baublockflächenkorrektur der infas360 Daten für Hamburg

Eine stichprobenartige Überprüfung der in Abschnitt 3.1.1 vorgestellten Baublöcke in Hamburg, für die ein Miet- oder auch ein Miet- und Kaufspiegel vorlagen, ergab, dass auch Fälle enthalten waren, die nach Kenntnis der Auftragnehmerin keine Wohnnutzung aufwiesen. Diese befanden sich beispielsweise in Teilen des Hamburger Hafens ohne privaten Wohnraum. Auch in Berlin waren zum Beispiel Baublöcke am Rande des ehemaligen Flugfelds Tempelhof enthalten, die bekanntermaßen nicht bewohnt sind. Der Fokus dieses Gutachtens liegt jedoch auf der Belastung der Wohnbevölkerung mit PM_{2.5}. Es galt daher, so weit wie möglich sicherzustellen, dass alle in den Analysen betrachteten Baublöcke auch wirklich private Wohnnutzung enthielten.

Die nachfolgend erläuterten Methoden für eine systematische Baublockflächenkorrektur wurden in Absprache mit dem Auftraggeber entwickelt und explorativ auf die Hamburger Daten angewendet. Ziel war es, ein Verfahren zu erarbeiten, dass sowohl die für das Gutachten relevanten Wohnflächen für die weitere Verwendung herausfiltert als auch auf den Datensatz für ganz Deutschland angewendet werden kann. Ergänzend zu den Miet- und Kaufspiegeldaten wurden hierfür Daten des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems sowie das 100 x 100 m² Raster des Zensus 2011 verwendet.

Das Auswahlverfahren bestand aus den folgenden Schritten, von denen dann b) und c) analog auch auf die Datensätze für Berlin und Deutschland angewendet wurden:

- a) Explorativer Abgleich der Miet- und Kaufspiegeldaten mit den Korrekturdatensätzen
 - i. Daten des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystems (ATKIS)
 - ii. 100 x 100 m² Raster des Zensus 2011
- b) Selektion bewohnter Baublöcke aus den infas360 Datensätze über Abgleich mit ATKIS-Datensätzen für weitere Analysen
- c) flächengewichtete Zuweisung von Einwohnerdaten, dabei Ausschluss der Flächen aus Schritt b), für die der Zensus 2011 keine EW ausweist

3.1.2.1 Abgleich mit Daten des Amtlichen Topographisch-Kartographischen Informationssystem (ATKIS)

Diese Methode des Datenabgleichs nutzt die Tatsache, dass sämtliche Flächen in Deutschland einer offiziellen Klassifizierung unterliegen, die auf Bundesebene definiert ist und in allen Bundesländern nach den gleichen Vorgaben umgesetzt werden muss. Diese Daten decken unterschiedliche Maßstabsebenen ab, wobei die am höchsten aufgelösten ATKIS-Daten im Digitalen Basis- Landschaftsmodell (Basis-DLM) zu finden sind. Für die vorliegenden prototypische Bearbeitung wurde auf ATKIS-Basis-DLM Daten für das Jahr 2015 aus dem Transparenzportal der Stadt Hamburg¹⁸ zurückgegriffen. Als Anzeiger für die Existenz von Wohnbevölkerung wurden die Datenlayer ‚Wohnbaufläche‘ und ‚Fläche gemischter Nutzung‘ verwendet (Metadaten in Tabelle 70, Anhang B).

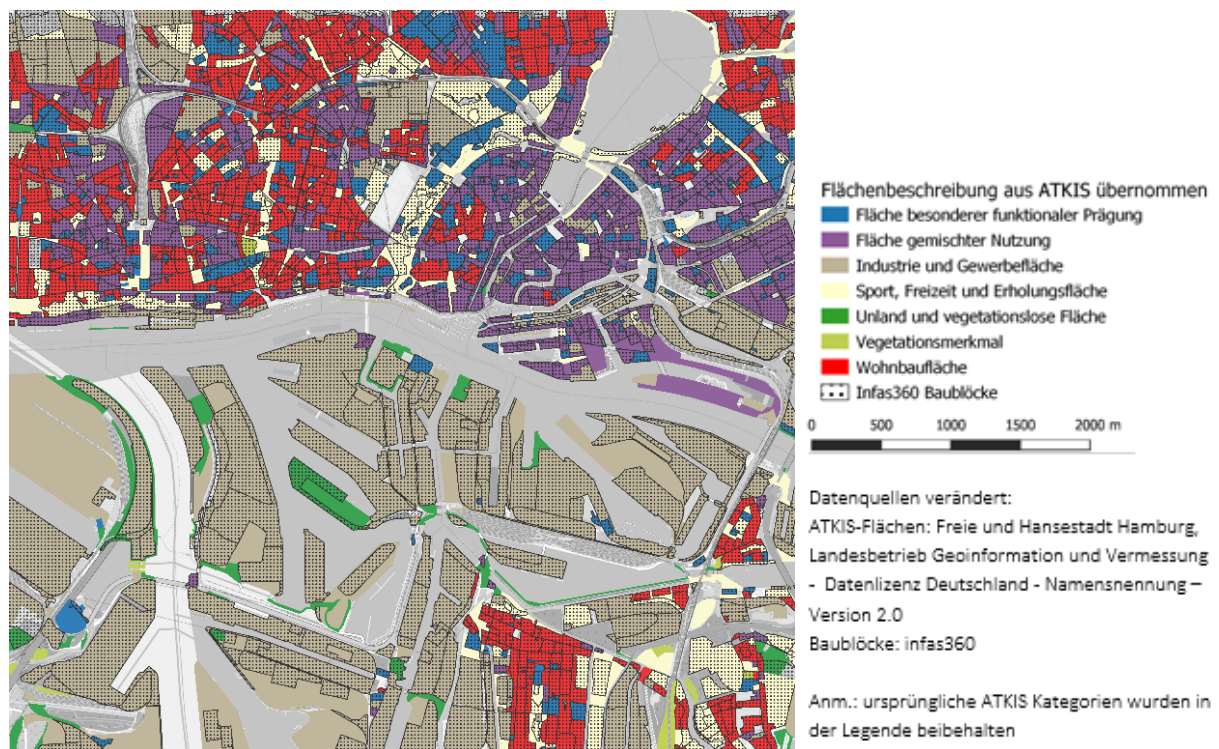
3.1.2.1.1 Visueller Abgleich bewohnter Flächen nach infas360 und ATKIS (Stichproben)

Zunächst wurde ein visueller Abgleich der infas360 Baublöcke mit jenen Flächen aus dem Basis-DLM durchgeführt, in denen gemäß ATKIS-Klassifikation eine Wohnnutzung existiert. Es handelt sich dabei um Flächen mit der ATKIS-Bezeichnung ‚Wohnbaufläche‘ oder ‚Fläche gemischter Nutzung‘.

Diese stichprobenartige Überlagerung von infas360 und ATKIS-Daten bestätigte, dass die Baublockdaten von infas360 auch Flächen enthalten, die laut ATKIS keine Wohnnutzung aufweisen, exemplarisch dargestellt in Abbildung 8. Hier sind die von infas360 erhaltenen Baublöcke als mit Punkten schraffierte Flächen ausgewiesen, welche jedoch beispielsweise auch Hafenanlagen (Industrie und Gewerbeflächen) oder Grünflächen abdecken, die laut ATKIS keine Wohnnutzung aufweisen.

¹⁸ <http://transparenz.hamburg.de/> - letzter Zugriff am 18.06.2019

Abbildung 8: Abgleich der Flächennutzungen nach ATKIS mit den infas360 Baublöcken

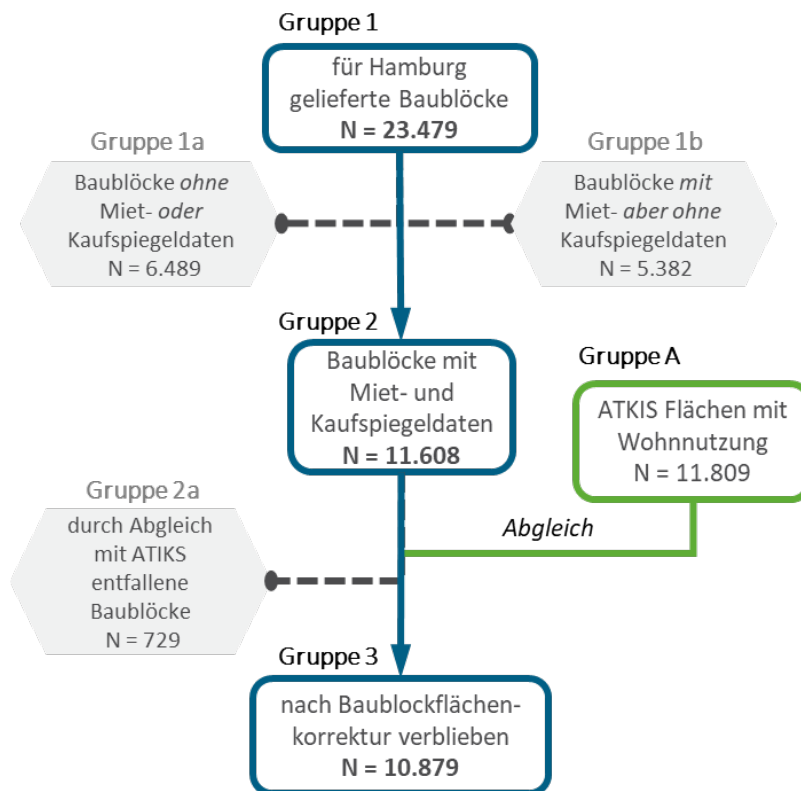


Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Auf Anfrage erteilte infas360 die Auskunft, dass nach ihrer Datensystematik nur jene Baublöcke aus dem Rohdatensatz Wohn- bzw. Mischnutzung aufwiesen, für die sowohl ein Miet- als auch ein Kaufspiegelwert vorliegt. Diese Information war in der ursprünglichen Datendokumentation nicht enthalten. Insgesamt lagen für 11.608 Baublöcke in Hamburg sowohl Miet- als auch Kaufspiegelwerte vor. Nach dem von infas360 genannten Kriterium bildeten diese somit den Ausgangsdatsatz für die nachfolgenden Bearbeitungsschritte.

3.1.2.1.2 Flächenverschneidung von infas360 Baublöcken mit ATKIS-Flächen

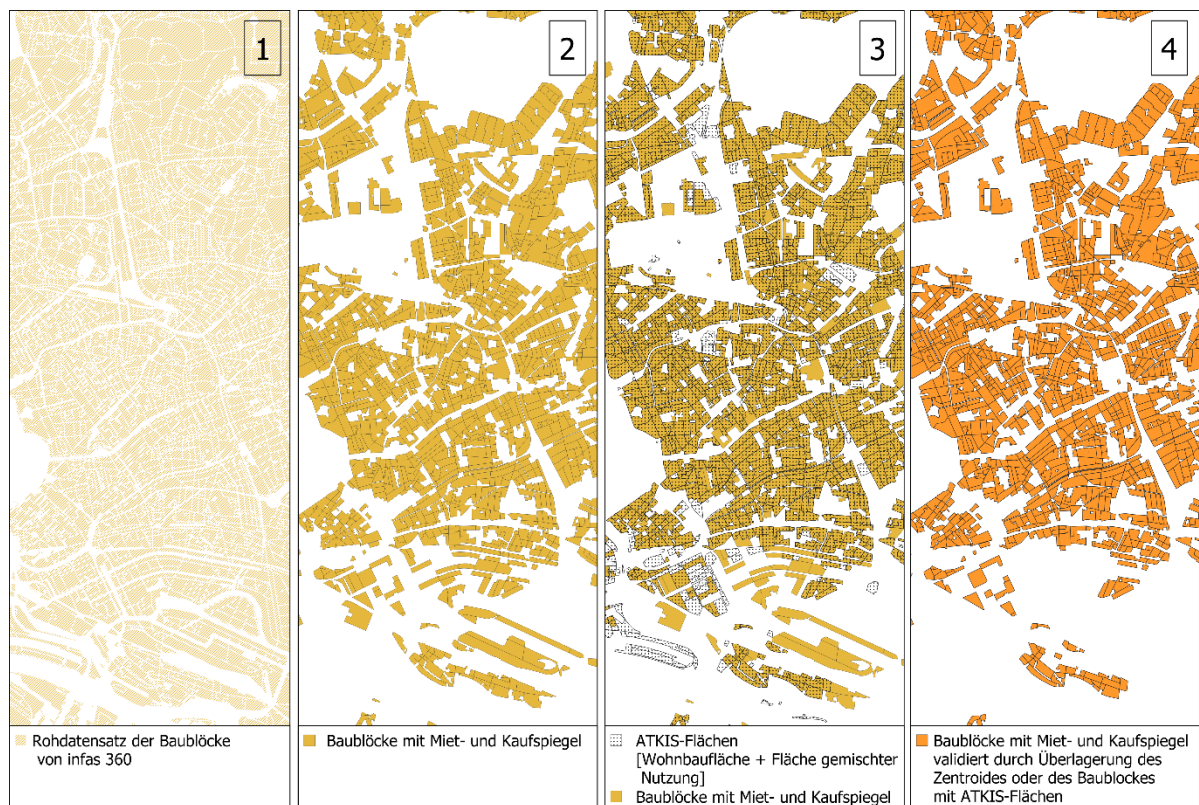
Die ATKIS-Flächen mit einer Klassifizierung als ‚Wohnbaufläche‘ oder ‚Fläche gemischter Nutzung‘ ($N = 8.654 + 3.155 = 11.809$; Gruppe A in Abbildung 9) wurden für den Abgleich mit den von infas360 als bewohnte Baublöcke ausgewiesenen Flächen genutzt ($N=11.608$; Gruppe 2). Da die Grenzen der Raumeinheiten nach ATKIS und nach infas360 nicht vollständig kongruent sind, wurde der Flächenabgleich wie folgt durchgeführt: infas360 Baublöcke wurden über die ATKIS-Flächen dann als ‚gültige Fälle‘ ausgewählt, wenn sowohl a) eine – auch anteilige – räumliche Überlagerung vorlag als auch b) das Zentroid der infas360-Flächen innerhalb der ATKIS-Fläche lag. Auf diese Weise wurde gewährleistet, dass eine – möglicherweise – geringe Flächenüberlagerung allein nicht ausreichte, um das Auswahlkriterium zu erfüllen. Zugleich wurde jedoch vermieden, einen inhaltlich nicht abzuleitenden Grenzwert für eine Mindestüberlagerung festsetzen zu müssen. Baublöcke ohne jegliche räumliche Überlagerung mit ATKIS-Flächen wurden von der weiteren Betrachtung ausgeschlossen. Informationen zur Lage von Gebäuden sind nicht in den Datensätzen enthalten und konnten somit nicht für die Auswahl genutzt werden. Dieser Ansatz resultierte in $N = 10.879$ verbleibenden Baublöcken (Gruppe 3 in Abbildung 9).

Abbildung 9: Quantitative Ergebnisse der Flächenkorrektur anhand von ATKIS Daten


Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Die Auswirkungen der einzelnen Korrekturschritte sind in Abbildung 10 exemplarisch für ein Gebiet östlich der in Hamburg zentral gelegenen Wasserfläche der Außenalster dargestellt. Ausschnitt 1 zeigt alle von infas360 gelieferten Baublöcke. In Ausschnitt 2 sind nur noch diejenigen Baublöcke dargestellt, für die sowohl Miet- als auch Kaufspiegeldaten vorliegen. Im Ausschnitt 3 werden zusätzlich die relevanten ATKIS-Flächen (‚Wohnbaufläche‘ + ‚Fläche gemischter Nutzung‘) als Schraffur überlagert. Hier wird deutlich, dass der ATKIS-Datensatz zum Teil Flächen mit Wohnnutzung ausweist, für die infas360 keine Daten liefert. Ausschnitt 4 zeigt diejenigen Flächen, für die sowohl Miet- als auch Kaufspiegelwerte vorhanden sind und die sich nach der oben beschriebenen Definition mit den ATKIS-Basis DLM Flächen überlagern.

Abbildung 10: Effekte der Flächenkorrektur von infas360 Baublöcken durch Abgleich mit ATKIS-Basis DLM Flächen – Ausschnitt



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

3.1.2.1.3 Qualitative Untersuchung der Ergebnisse

Ergänzend zur quantitativen Auswahl wurden die Ergebnisse des Flächenabgleichs mit ATKIS-Daten stichprobenartig auch qualitativ überprüft. Die derzeitige Nutzung aller Flächen wurde anhand von Daten der online Kartendienste OpenStreetMap und Google Maps im Abgleich mit Ortskenntnissen der Projektbearbeitenden überprüft.

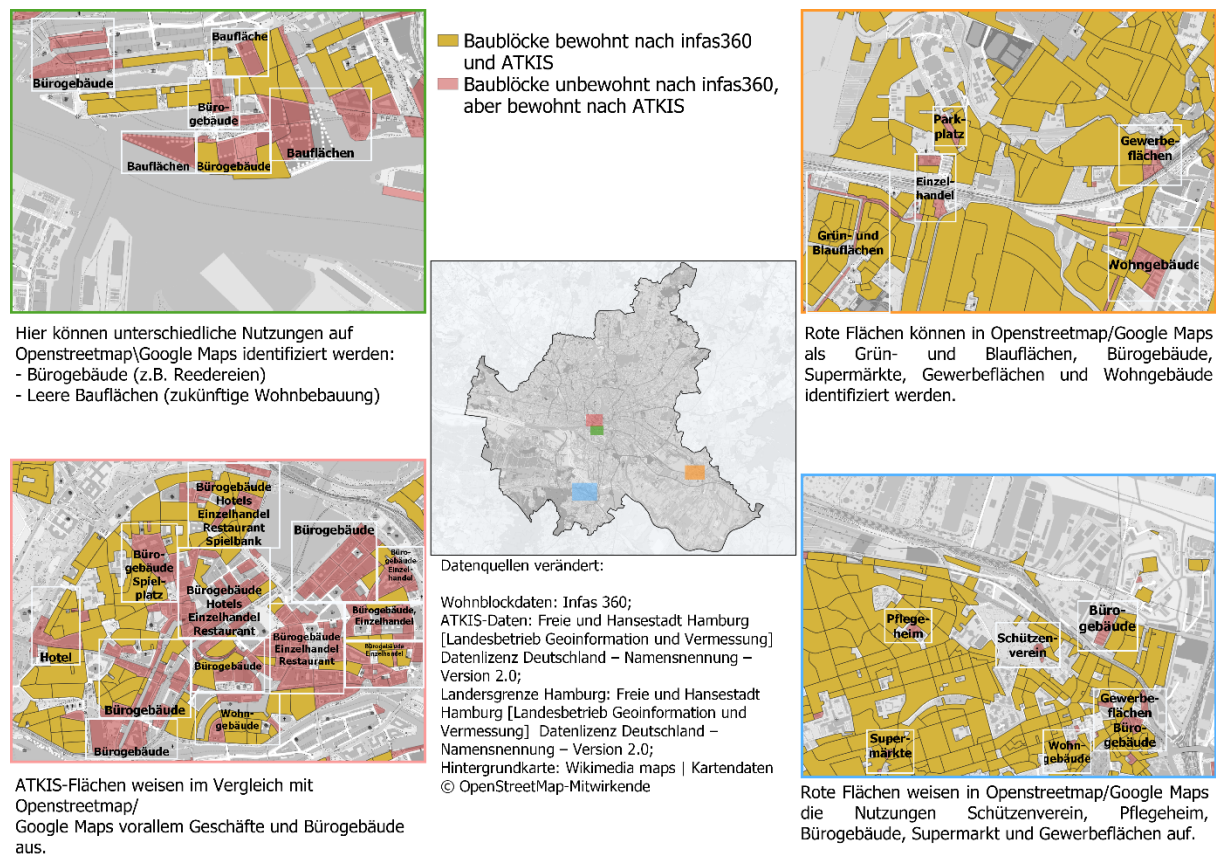
Abbildung 11 zeigt vier Beispielräume in Hamburg. Dargestellt sind sowohl Baublöcke aus Gruppe 2 in Abbildung 9, die nach Definition von infas360 als ‚bewohnt‘ gelten (Miet- und Kaufspiegel liegen vor, hellbraun dargestellt), als auch aus Gruppe 1b in Abbildung 9, die zwar nach infas360 nicht als ‚bewohnt‘ zu definieren sind (nur Miet-, jedoch kein Kaufspiegel vorhanden), die sich aber mit als ‚bewohnt‘ geltenden ATKIS-Flächen überlagern (rot-transparent dargestellt). Es gibt also Baublöcke in dieser Gruppe (laut infas360 unbewohnt), die nach ATKIS Definition allein als ‚bewohnt‘ gegolten hätten, obwohl sie in der Realität keine Wohnbebauung enthalten.

Ergänzend fiel auf, dass durch die ATKIS-Flächen auch Baublöcke selektiert würden, für die zwar eine Wohnbebauung geplant ist, die aber derzeit noch leere Baufelder aufweisen (vgl. Abbildung 11 links oben¹⁹). Die beiden Ausschnitte auf der rechten Seite von Abbildung 11 zeigen bei einer

¹⁹ Diese Beobachtung ist zumindest zum Teil dadurch zu erklären, dass sich ATKIS-Klassifizierungen auch aus Bebauungsplänen ableiten und somit auch ausgewiesene jedoch noch nicht gebaute Flächennutzungen abbilden.

Detailbetrachtung zusätzlich Flächen, für die (nur) nach ATKIS zwar eine Wohnnutzung besteht, die laut (aktuelleren) Informationen in OpenStreetMap bzw. Google Maps jedoch als Parkplatz, Supermarkt, Pflegeheim²⁰ oder Schützenverein genutzt werden. Es wurden in Gruppe 1b allerdings vereinzelt auch Baublöcke mit augenscheinlich existierender Wohnnutzung ausgemacht (vgl. Abbildung 11 oben rechts), die durch infas360 nicht als bewohnte Fläche klassifiziert werden. Dies war jedoch bei den überprüften Beispielen nur in geringem Ausmaß festzustellen.

Abbildung 11: Abgleich von a) Baublöcken bewohnt nach infas360 und ATKIS mit b) Baublöcken unbewohnt nach infas360 aber bewohnt nach ATKIS

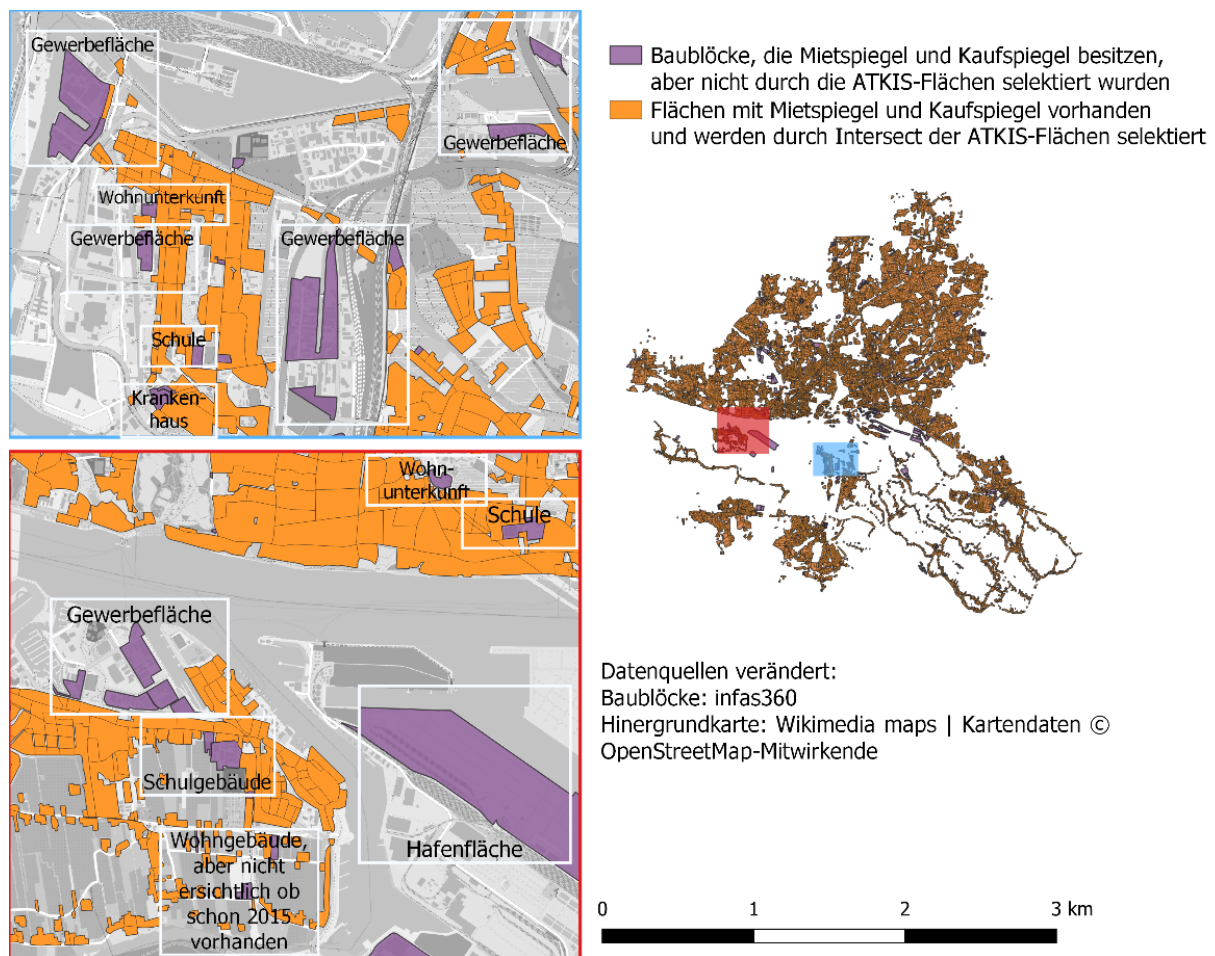


Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Als nächstes wurde untersucht, welche der laut infas360 bewohnten Baublöcke (Gruppe 2 in Abbildung 9) durch eine Baublockflächenkorrektur über ATKIS eine Wohnnutzung nicht verifiziert wurde und die somit für weitere Analysen entfielen (Abbildung 12, lila Darstellung). Der Großteil dieser Flächen enthält in der Stichprobe in der Tat keine Wohnbebauung, sondern vor allem Gewerbeflächen und Flächen mit öffentlichen Funktionen wie Schulgebäude.

²⁰ Wenngleich diese Art der Nutzung aus Perspektive der Umweltgesundheit auch relevant ist, wird sie im vorliegenden Projekt nicht mitberücksichtigt, da die gewählten SES-Indikatoren für diese Nutzungen keine Daten enthalten.

Abbildung 12: infas360 Baublöcke ‚bewohnt‘, die bei einem ATKIS-Abgleich entfallen



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Es kann festgehalten werden, dass beide Datensätze augenscheinlich falsch positive und falsch negative Klassifizierungen von Flächen als ‚bewohnt‘ enthalten. Zu berücksichtigen ist, dass die verwendeten Datensätze von ATKIS und infas360 sich auf das Jahr 2015 beziehen, um eine zeitliche Kongruenz mit dem Datensatz des UBA zur deutschlandweiten $PM_{2,5}$ Hintergrundbelastung zu gewährleisten (vgl. Abschnitt 4.2). Die Informationen der Portale von Google-Maps und OpenStreetMap haben jedoch generell einen aktuelleren Zeitbezug. Prinzipiell könnte weder eine Priorisierung von infas360-Definitionen noch eine der ATKIS-Klassifizierungen eine vollständig fehlerfreie Auswahl von Raumeinheiten mit Wohnnutzung gewährleisten. Es war jedoch wichtiger sicherzustellen, dass möglichst wenig Flächen in die weiteren Analysen einfließen, die in der Realität nicht bewohnt sind als zu verhindern, dass tatsächlich bewohnte Baublöcke ausgeschlossen werden – zumindest, soweit letzteres in verhältnismäßig geringem Umfang geschieht. Zudem war es im Rahmen dieses Projekts nicht sinnvoll, Baublöcke in die Analyse mit aufzunehmen, für die im infas360-Datensatz die SES-Indikatoren Miet- und Kaufspiegel nicht beide vorliegen. Bei einem ATKIS-basierten Korrekturverfahren sollten also nur die Baublöcke erhalten werden, die sowohl nach infas360- als auch nach ATKIS-Definition Wohnnutzung enthalten.

3.1.2.2 Abgleich mit 100 x 100 m² Zensusraster

Eine weiteres mögliches Korrekturverfahren besteht in einem Abgleich der nach infas360 als bewohnt geltenden Hamburger Baublöcke (N=11.608; vgl. Abbildung 9, Seite 62) mit Daten des Zensus von 2011. Dieser definiert für ein deutschlandweites 100 x 100 m² Raster die Größe der Wohnbevölkerung pro Zelle (wobei Zellen mit < 3 EW aus Datenschutzgründen als unbewohnt ausgewiesen werden; Metainformationen in Tabelle 71 in Anhang B). Im Rahmen dieses Abgleichs wurden diejenigen Baublöcke selektiert, in denen mindestens ein Zentroid einer bewohnten Rasterzelle liegt. Die Resultate wurden im Weiteren mit den Ergebnissen des Abgleichs mit ATKIS-Flächen aus dem oben beschriebenen Verfahren verglichen.

Bei der Bereinigung durch die Zensusdaten fehlen im Vergleich zu einer Korrektur über ATKIS-Daten vor allem Wohnflächen, die nach 2011 bezogen wurden. Vom 31.12.2011 bis zum 31.12.2015 wurden in Hamburg insgesamt 25.695 Wohneinheiten²¹ fertiggestellt, die bei einer Baublockflächenkorrektur mit Zensusdaten folglich nicht berücksichtigt würden. Aber auch eine datenschutzbedingte Nichtausweisung von einer Personenanzahl unter 3 je 100 x 100 m² Zelle führt in manchen Fällen dazu, dass in der Realität bewohnte Flächen in den Zensusdaten nicht als solche ausgewiesen werden. Die Daten des Zensus 2011 weisen 1.706.696 EW für Hamburg aus. Diese Zahl beträgt laut Statistikamt Nord in 2015 1.787.408²² – eine Differenz von 80.712 Menschen oder 4,7%.

Insgesamt verbleiben bei einer Zensus-basierten Baublockflächenkorrektur in Hamburg weniger Baublöcke (N=10.662) als bei dem oben beschriebenen Vorgehen über ATKIS-Flächen (N=10.879). Abbildung 13 verdeutlicht anhand von zwei Teilräumen in Hamburg exemplarisch die Unterschiede zwischen beiden Abgleichen (Informationen zur aktuellen Nutzung der Baublöcke wurden OpenStreetMap und Google Maps entnommen). Das Ergebnis einer Baublockflächenkorrektur mit dem bewohnten 100 x 100 m² Zensusraster (Datenstand 2011) ist im oberen Teil der Abbildung dargestellt (grüne Baublöcke). Es fehlen Baublöcke mit Wohnbebauung neueren Datums.

²¹ Eigene Berechnung nach: www.hamburg.de/contentblob/7541486/f80b0790cc1d96825ff52cb819aa91a1/data/d-wohnungsbau-bericht-2014-2015.pdf, S.6; zuletzt abgerufen am 24.2.2020

²² www.statistik-nord.de/zahlen-fakten/bevoelkerung/bevoelkerungsstand-und-entwicklung/dokumentenansicht/bevoelkerung-in-hamburg-2015-59017/; zuletzt abgerufen am 24.2.2020

**Abbildung 13: Korrekturverfahren für infas360-Baublöcke mit Miet- und Kaufspiegeldaten -
oben: Ergebnis des Abgleichs mit bewohnten 100 x 100 m² Zensusrasterzellen;
unten: Ergebnis des Abgleichs mit ATKIS-Flächen**



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Beim gezeigten Vergleich fallen allerdings auch Flächen mit Büro- und Gewerbenutzung auf, die durch einen ATKIS-Abgleich als ‚bewohnte Baublöcke‘ erhalten bleiben, über einen Zensus-Abgleich jedoch entfallen würden. In Abbildung 13 finden sich in dieser Kategorie unten links eine Schule und zwei Bürogebäude und unten rechts eine Gewerbefläche.

Allerdings ist bei den nach einem Abgleich mit ATKIS-Flächen augenscheinlich fälschlich enthaltenen (weil als gewerblich genutzt bekannten) Baublöcken nicht immer klar ersichtlich, ob dort nicht doch ebenfalls Menschen wohnen – beispielsweise in Einliegerwohnungen für Angestellte.

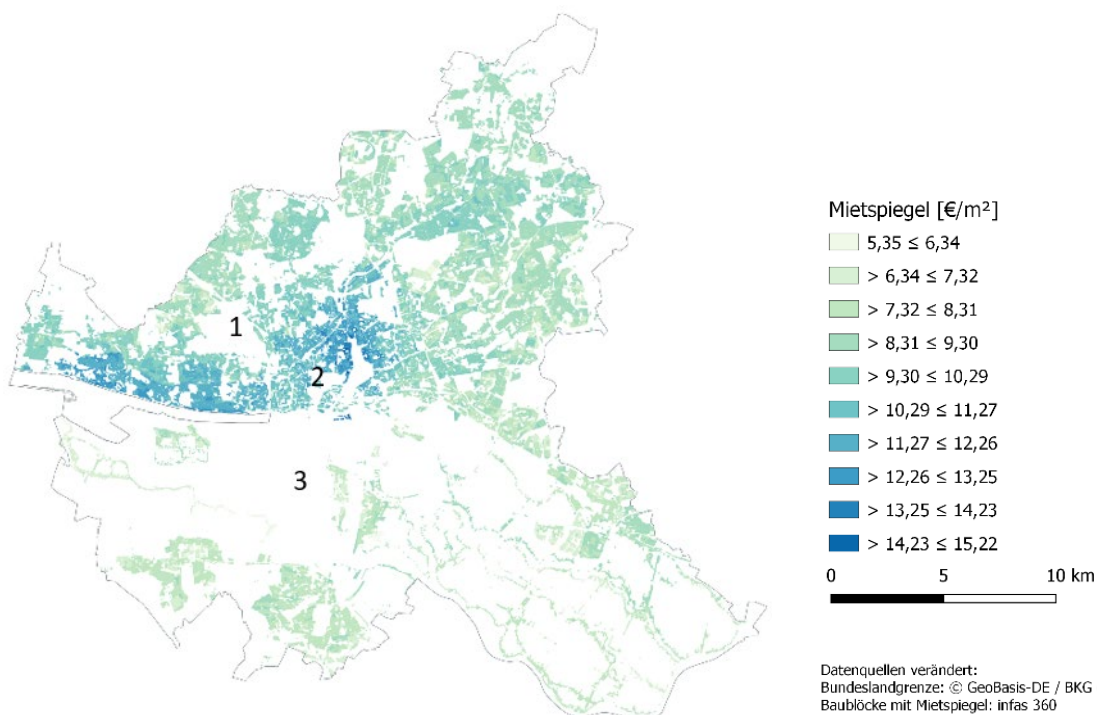
3.1.2.3 Flächengewichtete Zuweisung von Bevölkerungszahlen

Im Rahmen der Fragestellung war es unter anderem wichtig, quantifizieren zu können, wie viele Einwohnerinnen und Einwohner durch unterschiedliche Feinstaubkonzentrationen belastet sind (Ergebnisse siehe Kapitel 6). Für eine Analyse auf Baublockebene war es daher trotz der im vorangegangenen Abschnitt dargelegten Limitationen notwendig, auf die Bevölkerungsdaten aus dem 100 x 100 m² Zensusraster von 2011 als aktuellster Datenquelle dieser Art zurückzugreifen. Bevölkerungsdaten für die Wohnblöcke werden zwar von infas360 angeboten, allerdings sind diese auch kostenpflichtig und die für dieses Gutachten verwendeten Datensätze sollten – soweit im Rahmen der Aufgabenstellung darstellbar – aus frei verfügbaren Quellen stammen.

In Absprache mit dem Auftraggeber wurde daher eine flächengewichtete Zuweisung der Bevölkerungszahlen vom Zensusraster auf die Baublöcke vorgenommen. Dabei wurde die Zentroidregel aus Abschnitt 3.1.2.1.2 ausgesetzt. Somit wurden bei einer Verschneidung der Baublöcke mit dem bewohnten 100 x 100 m² Raster auch Teilstücke von Rasterzellen berücksichtigt, deren Zentroid nicht im jeweiligen Baublock liegt. Ergänzend wurden die Werte für die flächengewichtete Anzahl der Wohnbevölkerung einer Rasterzelle, die sich nur teilweise mit einem Baublock überlagert, auf ganze Zahlen gerundet, sodass Werte < 0,5 EW ausgeschlossen wurden. Von den 10.879 Baublöcke im Hamburger Stadtgebiet, die aus dem oben beschriebenen ATKIS-Flächenabgleich resultierten, verblieben so 10.763, denen eine Einwohnerzahl zugewiesen werden konnte. Das sind mehr als die N=10.662, als bei der rein zentroidbasierten Baublockflächenkorrektur über Zensusdaten für Hamburg ausgewählt wurden. Eine weitere stichprobenartige Überprüfung der auf diese Weise zusätzlich ausgeschlossenen Baublöcke zeigte zudem, dass zumindest einige von ihnen eine (überwiegend) gewerbliche Nutzung aufweisen, wie zum Beispiel Bürogebäude oder ein Autohandel.

Die für Hamburg auf diese Weise generierten Datensätze des Miet- und Kaufspiegels gehen in die weitere Bearbeitung ein und sind in den folgenden beiden Abbildungen kartographisch dargestellt. In Abbildung 14 zeigt sich der große quantitative Unterschied zwischen den in Abbildung 4 dargestellten 16.990 Baublöcken, für die infas360 einen Mietspiegel geliefert hatte (Abschnitt 3.1.1), und den 10.763 Fällen, die nach den dargelegten Schritten den weiteren Analysen zu Grunde lagen. Diese treten zum Beispiel in der Gegend des Altonaer Volksparks (1), in der Innenstadt (2) und im Gebiet des Hafens südlich der Elbe (3) deutlich zu Tage. Hier handelt es sich allerdings wie oben dargelegt auch laut infas360 zu einem großen Teil nicht um bewohnte Baublöcke, da für sie nicht gleichzeitig auch ein Kaufspiegel existiert²³.

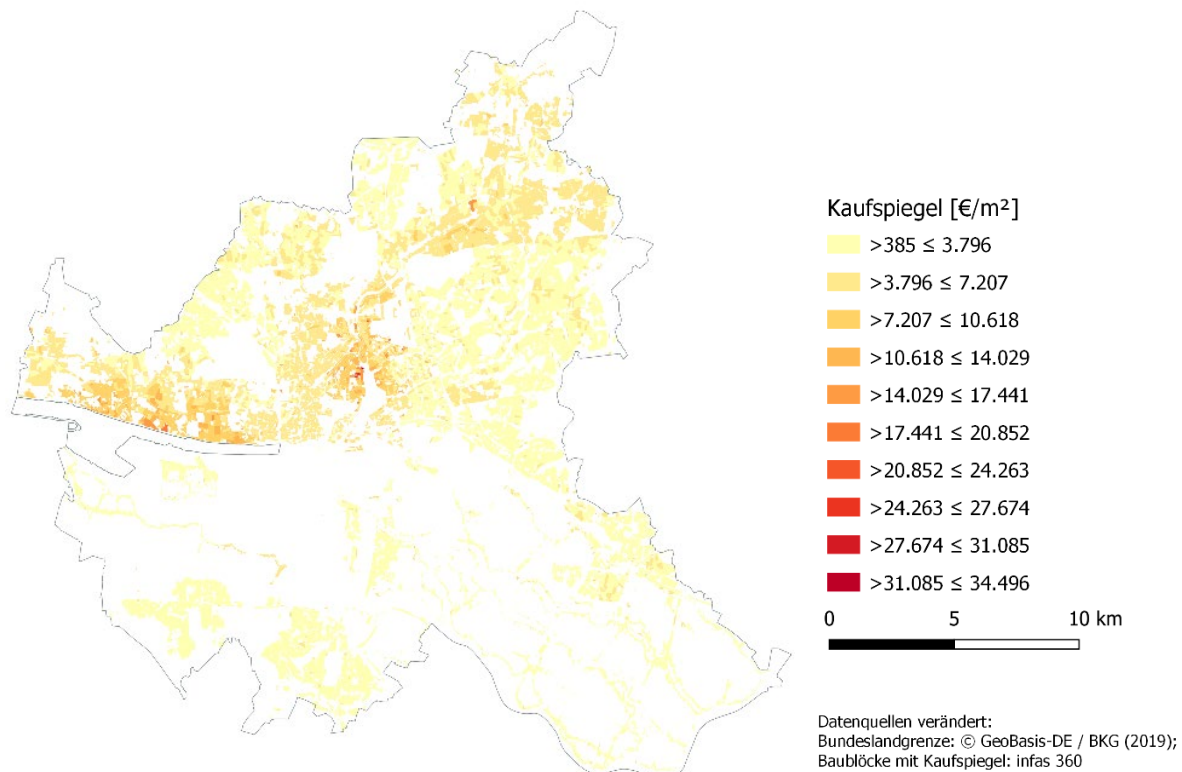
Abbildung 14: Karte des Mietspiegels in €/m² auf Baublockebene für Hamburg nach Flächenkorrektur



²³ Ob und wenn ja wie die Mietspiegeldaten allein nach Privat- und Gewerbemieten zu unterscheiden wären, geht aus den verfügbaren Datendokumentationen nicht hervor.

Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 15: Karte des Kaufspiegels in €/m² auf Baublockebene für Hamburg nach Flächenkorrektur



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 15 repräsentiert die Kaufpreiswerte für dieselben 10.763 Fälle. Hier fiel Reduktion von den ursprünglichen 11.608 Baublöcken aus Abbildung 5 anteilig deutlich kleiner aus – somit sind auch optisch die Unterschiede geringer.

3.1.2.4 Fazit für weiteres methodisches Vorgehen

Insgesamt bedeutet der Datenstand der Zensusdaten von 2011 zwar eine zusätzliche Fehlerquelle in Bezug auf die Wohnbevölkerung – nicht nur im Hinblick auf deren Anzahl, sondern auch, weil manche in 2015 bewohnte Flächen in 2011 noch als unbewohnt ausgewiesen waren. Dennoch werden die Informationen aus dem Zensus im Rahmen dieses Gutachtens benötigt.

Im Rahmen der Aufgabenstellung mit

1. der Vorgabe einer räumlichen Auflösung der Daten unterhalb der Gemeindeebene,
2. dem Bedarf nach Informationen zu Feinstaubbelastung und Einwohnerzahlen für alle untersuchten Raumeinheiten,
3. der nicht vollständig zuverlässigen Einordnung der infas360 Baublöcke als bewohnte Flächen und
4. dem Bestreben, möglichst frei verfügbare Datensätze zu verwenden,

wurde somit in Absprache mit dem Auftraggeber die folgende methodische Vorgabe formuliert, die für alle Untersuchungsräume gilt:

Die nach infas360 bewohnten Baublöcke (solche, für die sowohl Miet- als auch Kaufpreisdaten existieren) werden zunächst einer Baublockflächenkorrektur anhand von ATKIS-Daten unterzogen.

Den so ausgewählten Baublöcken werden über eine flächengewichtete Verschneidung Einwohnerzahlen aus dem 100 x 100 m² Zensusraster von 2011 zugewiesen. Baublöcke, für die keine EW-Werte ermittelt werden können, werden nicht für weitere Analysen übernommen.

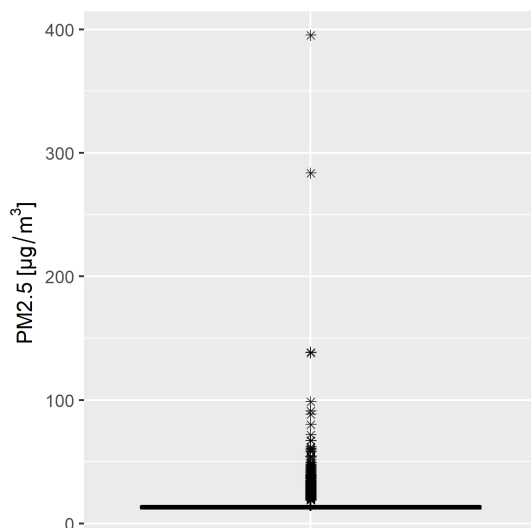
Durch dieses Vorgehen kann zwar die zeitliche Diskrepanz zwischen den Datensätzen nicht ausgeglichen werden, jedoch fallen die systemimmanenten ‚Verluste‘ bewohnter Baublöcke geringer aus, als bei einem rein zentroidbasierten Abgleich mit Zensusdaten. Zudem bleibt der Umfang der Datensätze für alle Untersuchungsräume auch nach der Baublockflächenkorrektur ausreichend groß, um belastbare statistische Analysen zu ermöglichen.

3.2 Feinstaubdaten

3.2.1 Originaldaten

Für den Untersuchungsraum Hamburg stellte das Helmholtz Zentrum Geesthacht (HZG) modellierte Daten für *lokale Belastung mit Feinstaub PM_{2.5} als Jahresdurchschnitt in µg/m³* mit einer räumlichen Auflösung von 100 x 100 m² (1 Hektar) zur Verfügung (Karl et al. 2019; Abbildung 16, Metadaten siehe Tabelle 73, Anhang B). Der Datensatz enthält 52.338 Werte mit Mittelwert = 13,61 µg/m³, Median = 12,99 µg/m³ und Standardabweichung = 3,32 µg/m³.

Abbildung 16: Boxplot für die lokale Belastung mit µg/m³ PM_{2.5} auf 100 x 100 m² in Hamburg

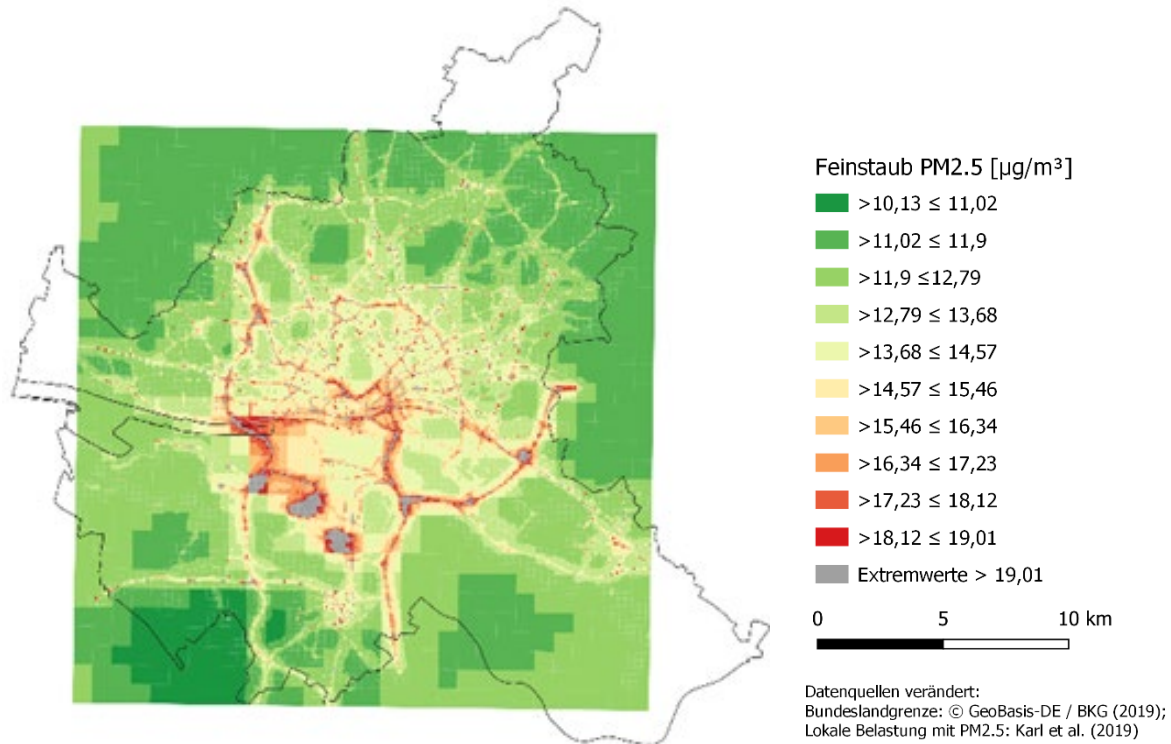


Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Anders als bei den Belastungsdaten für Berlin und Deutschland (vgl. Abschnitt 4.1 bzw. Abschnitt 4.2) bilden die Werte jeweils die Gesamtbelastung inklusive lokaler Spitzen ab. Dadurch ist die in Abbildung 16 abgebildete Wertespanne sehr groß. Entsprechend wurden für den Hamburg Datensatz die Extremwerte am oberen Ende in Abbildung 17 gesondert symbolisiert, weil eine visuelle Unterscheidbarkeit der Wertebereiche andernfalls nicht gegeben wäre: die große Mehrheit der Fälle in unteren Werteklassen mit dann gleicher Farbgebung stünde nur sehr wenigen Fällen in den oberen Wertklassen gegenüber. Die oberen Extremwerte finden sich zum Beispiel in der Nähe von Industrieanlagen und entstehen vor allem an den Bundesautobahnen im Hamburger Stadtgebiet, entlang des Elbverlaufs in Hafennähe sowie im weiteren Hafengebiet südlich der Elbe. Wie Abbildung 17 zu entnehmen ist, decken die modellierten Daten nicht die

gesamte Fläche der Stadt Hamburg ab (vgl.). Die Verschneidung der SES-Indikatoren mit den Belastungsdaten wird sich somit auf den in der Karte gezeigten Bereich des Hamburger Stadtgebiets beschränken.

Abbildung 17: Karte der Belastung mit PM_{2.5} auf 100 x 100 m² für Hamburg



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

3.2.2 Feinstaubbelastung und SES-Indikatoren – räumliche Zusammenführung

Prinzipiell wurde entschieden, dass für eine Untersuchung des Verhältnisses zweier Variablen mit unterschiedlicher räumlicher Auflösung immer die Variable mit höherer Auflösung auf die Ebene der geringer aufgelösten Variable aggregiert wird (weitere Erörterungen siehe folgende Abschnitte). Dieses Prinzip wurde bei der Umlage der Daten zur Feinstaubbelastung von 100 x 100 m² auf das 1 x 1 km² Raster der Daten zum Haushaltseinkommen verwendet (s. Seite 72). Im Falle der Baublöcke und des 100 x 100 m² Rasters für die Feinstaubbelastung in Hamburg ist jedoch nicht eindeutig, welche Auflösung die größere Maßstabebene darstellt – auch auf Grund des unterschiedlichen Zuschnitts der Raumeinheiten. Zwar liegt der Median für die Baublöcke mit Miet- und Kaufspiegeldaten nach der Flächenkorrektur für Hamburg bei 13.828 m² und ist somit größer als 1 Hektar. Da jedoch 38% der Baublöcke (N=4.130) kleiner als 1 Hektar sind, sollte in diesem Fall auf Basis der räumlichen Verteilungsmuster der Variablen entschieden werden. Der Entscheidungspfad ist im Folgenden beschrieben.

3.2.2.1 PM_{2.5} und Baublöcke – Auswahl der Aggregationsebene

Für die Entscheidung über die räumliche Zusammenführung von Miet- und Kaufspiegeldaten mit dem Belastungsparameter wurden die räumliche Verteilung der Datensätze untersucht. Ziel war es, vorhandene globale räumliche Muster der Daten – also eine mögliche Autokorrelation – so weit wie möglich zu erhalten. Zu diesem Zweck wurde für beide Raumeinheiten die Global Moran's *I*-Statistik errechnet.

Für die Berechnung von Global Moran's I ist es notwendig, für jede Raumeinheit die jeweils als benachbart geltenden Fälle zu definieren. Für die untersuchten Datensätze galten jeweils alle räumlich direkt angrenzenden Fälle als Nachbarn (*queen contiguity*, siehe auch Anhang D). Fälle ohne Nachbarn wurden bei der Berechnung nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse für die Hamburger Daten finden sich in Tabelle 15. Alle drei untersuchten Variablen sind mittel bis sehr stark geclustert und diese räumliche Autokorrelation ist jeweils global signifikant. Im Vergleich fällt jedoch Global Moran's I für die Feinstaubdaten am geringsten aus. Der Belastungsparameter weist somit weniger stark ausgeprägte räumliche Muster bzw. Autokorrelation auf als die Miet- und Kaufspiegeldaten. Die Zusammenführung der Daten wird somit auf Ebene der Baublöcke durchgeführt um die ausgeprägteren räumlichen Muster der SES-Indikatoren zu erhalten.

Tabelle 15: Global Moran's I Statistik für Hamburger Miet- und Kaufspiegel sowie Feinstaubdaten

	Anzahl gesamt	Anzahl Einheiten mit Nachbarinnen	Global Moran's I	Signifikanz
PM _{2.5} – 100 x 100m ²	N = 52.338	N = 52.338	0.4305	p < 0,001
Mietspiegel – Baublockebene	N = 10.879	N = 10.051	0.9194	p < 0,001
Kaufspiegel – Baublockebene			0.7519	p < 0,001

3.2.2.2 Verschneiden auf Ebene der Baublöcke

Um die Belastungsdaten des Feinstaubrasters den Baublöcken zuzuweisen, wurde eine Flächengewichtung der Feinstaubwerte vorgenommen. Die modellierten Feinstaubdaten für Hamburg lagen nicht für das gesamte Stadtgebiet vor (vgl. Abbildung 17). Alle Baublöcke ohne eine vollständige räumliche Abdeckung durch das Feinstaubraster wurden von der weiteren Analyse ausgeschlossen, da in diesen Fällen keine Grundlage für die flächengewichtete Berechnung der Feinstaubbelastung für den gesamten Baublock verfügbar war. Auf Grund der bekannten Ungenauigkeiten, die bei der räumlichen Überlagerung von Datensätzen mit ursprünglich unterschiedlichen Projektionen entstehen können wurde hierbei in Anlehnung an statistische Signifikanzbeurteilungen eine Toleranz von 0,1% Abweichung angesetzt. Alle Baublöcke, deren Abdeckungsgrad durch das Feinstaubraster < 99,9% war, wurden somit ausgeschlossen.

3.2.2.3 Verschneiden auf Rasterebene

Der Zuweisung der Belastungsdaten aus dem Hamburger Feinstaubraster auf das 1 x 1 km² Raster mit Daten zum Haushaltseinkommen wurde analog zum Vorgehen bei der Zuweisung auf die Baublöcke durchgeführt. Zu beachten ist, dass zwar beide Datensätze im Rasterformat vorliegen, die Zellgitter jedoch nicht deckungsgleich sind und somit nicht jeweils genau 100 Zellen des Feinstaubrasters in einer Zelle des 1 x 1 km² Rasters enthalten ist. Daher musste auch hier mit Flächengewichtungen gearbeitet werden und Flächen auf der 1 x 1 km² Ebene wurden ausgeschlossen, sofern sie nicht vollständig von 100 x 100 m² Daten abgedeckt waren.

Um den Zusammenhang zwischen den Daten für Hamburg zur Feinstaubgesamtbelastung auf 100 x 100 m² mit den Daten zur Hintergrundbelastung auf 2 x 2 km² aus dem Datensatz des UBA untersuchen zu können, wurde ebenfalls eine flächengewichtete Aggregation vorgenommen, da auch hier die Grenzen der Rasterzellen auf Grund von Projektionsunterschieden der Datensätze nicht räumlich kongruent verlaufen (eine 2 x 2 km² Zelle also nicht genau 400 der 100 x 100 m² Zellen enthält). Die Zuweisung von Einwohnerzahlen wurde in diesem Fall nicht benötigt.

3.2.2.4 Weiteres methodisches Vorgehen

Da die Daten zur Feinstaubbelastung mit Auflösung von $100 \times 100 \text{ m}^2$ nur für Hamburg vorliegen, entfiel der Schritt der Verschneidung auf Baublockebene für die Untersuchungsräume Berlin und Deutschland. Für die entsprechenden Datensätze wurden stattdessen die Daten zum Miet- und Kaufspiegel – gewichtet auf Basis der den Baublöcken zugewiesenen Einwohnerzahlen (vgl. Abschnitt 3.1.2) – den jeweiligen Rasterdaten zur Hintergrundbelastung mit $500 \times 500 \text{ m}^2$ (Berlin) bzw. $2 \times 2 \text{ km}^2$ (Deutschland) Auflösung zugewiesen (vgl. Abschnitt 4.3 zum weiteren Vorgehen für diese Untersuchungsräume).

3.3 Arbeitsdatensätze für Hamburg

Für Hamburg lagen nach der Baublockflächenkorrektur (Abschnitt 3.1.2) noch 10.763 Baublöcke vor. Für 750 von diesen existierten keine Daten zur Feinstaubbelastung, somit verblieben 10.013. Von den 655 Rasterzellen mit Daten zum Haushaltseinkommen verblieben 565. In Anhang G.1 sind die SES-Daten ergänzend in einer 3D-Darstellung kartiert.

Tabelle 16 zeigt die deskriptiven Statistiken der folgenden Arbeitsdatensätze: Baublöcke mit Miet- und Kaufspiegel sowie Feinstaubbelastung; $1 \times 1 \text{ km}^2$ Raster mit Haushaltseinkommen und Feinstaubbelastung. Ebenfalls angegeben sind die jeweilige Veränderung dieser Werte in Prozent gegenüber den Originaldatensätzen (für deren deskriptive Statistiken siehe Anhang C). Größtenteils betragen die Veränderungen auf der Baublockebene unter 1 %. Lediglich bei den Feinstaubwerten entfallen durch die Aggregation die – sehr hohen – oberen wie auch die unteren Extremwerte, was sich auch in der stark veränderten Standardabweichung niederschlägt. Auf Ebene des $1 \times 1 \text{ km}^2$ Rasters sind die Veränderungen der Werte nur etwas stärker ausgeprägt (zwischen 0 % und 2,7 %). Lediglich der Maximalwert der Feinstaubbelastung liegt in diesem Arbeitsdatensatz mit über 90 % Veränderung sehr deutlich unter dem ursprünglichen Höchstwert, mit einer entsprechenden Veränderung der Standardabweichung.

Tabelle 16: Deskriptive Statistiken der Arbeitsdatensätze für Hamburg mit Darstellung der Veränderung der Werte gegenüber den Originaldatensätzen in Prozent

BAUBLOCKEBENE	Mietspiegel in €/m ²	Kaufspiegel in €/m ²	PM _{2.5} in µg/m ³
gültige Werte	N = 10.013		
Mittelwert	9,12 (- 0,1%)	3.879 (+ 0,2%)	13,57 (- 0,3%)
Median	8,86 (- 0,2%)	3.308 (- 0,2%)	13,11 (+ 0,9%)
Standardabweichung	1,50 (+ 1,4%)	2.152 (- 0,3%)	1,87 (- 43,7%)
Minimum	5,35 (+/- 0%)	385 (+/- 0%)	10,37 (+ 2,4%)
Maximum	15,22 (+/- 0%)	34.496 (+/- 0%)	51,14 (- 87,1%)
1. Quartil	8,09 (+ 0,2%)	2.580 (+ 0,8%)	12,24 (+ 0,1%)
3. Quartil	9,87 (+/- 0%)	4.473 (- 0,5%)	14,41 (+ 1,1%)
1 x 1 km² RASTER	Haushaltseinkommen in € / Jahr	PM_{2.5} in µg/m³	
gültige Werte	N = 565		
Mittelwert	47.718 (- 1,9%)	13,33 (- 2,1%)	
Median	47.352 (- 1,6%)	12,85 (- 1,1%)	
Standardabweichung	8.610 (- 2,1%)	1,69 (-49,1%)	
Minimum	29.480 (+/- 0%)	10,34 (+ 2,1%)	
Maximum	79.668 (+/- 0%)	29,56 (- 92,5%)	
1. Quartil	41.715(- 2,3%)	12,15 (-0,6%)	
3. Quartil	52.281 (- 2,7%)	14,25 (+ 0,1%)	

Um die Zusammenhänge zwischen den Miet- und Kaufspiegeldaten und dem Haushaltseinkommen untersuchen zu können, wurden die Baublockdaten auf das 1 x 1 km² Raster mit Daten zum Haushaltseinkommen aggregiert. Hierfür wurde eine bevölkerungsbasierte Gewichtung verwendet. Dabei wurden die Daten genutzt, die nach dem in Abschnitt 3.1.2 erläuterten Verfahren erarbeitet wurden. Aus den in einer Rasterzelle ganz oder anteilig enthaltenen Baublocken wurde die (rechnerische) Einwohnerzahl jeder Zelle ermittelt. Entsprechend des Anteils, den die Einwohnerzahl eines Baublocks (oder eines Teils desselben) an der Einwohnerzahl der Zelle haben, floss dann der gewichtete Wert des Miet- bzw. Kaufspiegels in die Berechnung des Durchschnittswerts für die Rasterzelle ein. Die Feinstaubbelastung war für diesen Schritt nicht relevant. Es verblieben 623 der 1 x 1 km² Zellen. Das Verschneiden der beiden Datensätze zur Feinstaubbelastung resultierte in 281 gültigen Fällen auf der 2 x 2 km² Ebene. Diese Datensätze sind in Kapitel 5 näher beschrieben.

3.4 Statistische Methodik

3.4.1 Extremwerte

Prinzipiell wurde im Rahmen dieses Gutachtens die folgende Definition für Extremwerte verwendet:

$$\begin{matrix} \text{oberer} \\ \text{unterer} \end{matrix} \text{Extremwert} = \text{Median} \pm 3 * (\text{drittes Quartil} - \text{erstes Quartil})$$

Es zeigte sich, dass einige – aber nicht alle – der aufbereiteten Datensätze obere und/oder untere Extremwerte enthielten (siehe Abschnitt 3.3 und Kapitel 4). Diese wurden jeweils im Kontext der Daten und mit Bezug auf den Inhalt des Datensatzes auf ihre Plausibilität überprüft. Im Ergebnis wurde entschieden, die vorhandenen Extremwerte in allen Datensätzen beizubehalten. So ist zum Beispiel hinreichend bekannt, dass der Wohnungsmarkt sowohl in Hamburg als auch in Berlin in manchen Wohnlagen durch außergewöhnlich hohe Quadratmeterpreise geprägt ist. Ebenso ist plausibel, dass die Gesamtbelastung mit Feinstaub (Datensatz für Hamburg) in unmittelbarer Nähe zu Quellen wie großen Knotenpunkten, Hauptverkehrsstraßen oder Industrieanlagen lokale Spitzen aufweist, die über der durch die oben gezeigte Formel definierten Extremwertgrenze liegen.

3.4.2 z-Transformation

Das Konzept der z-Standardisierung oder z-Transformation beschreibt die Umrechnung der Realdaten eines Datensatzes in sogenannte z-Werte anhand der Formel $z_x = \frac{x - \bar{x}}{\sigma}$ wobei $\bar{x}$ den Mittelwert und σ die Standardabweichung eines Datensatzes bezeichnen. Die so standardisierten Werte sind um einen Mittelwert von 0 normalverteilt, mit einer Standardabweichung von 1. Dieses Vorgehen kann nicht nur die Verteilung der Daten normalisieren, es hilft auch, Datensätze mit sehr unterschiedlichen Wertespanssen oder aus unterschiedlichen Bezugsräumen (oder auch Zeiträumen) untereinander vergleichbarer zu machen. Das ist von besonderer Relevanz, wenn nicht nur die absoluten Werte der Datenpunkte, sondern auch ihr relatives Verhältnis zueinander von Interesse sind. Durch die Umkehrung der oben genannten Formel können z-Werte bei Bedarf wieder in Realwerte umgerechnet werden. Im vorliegenden Gutachten kam dieses Verfahren unter anderem aus folgendem Grund zur Anwendung: bei der deutschlandweiten Betrachtung der SES-Indikatoren ist es relevant zu berücksichtigen, wie sie sich in ihren lokalen oder regionalen Kontext einordnen, da u. a. die Niveaus von Wohnkosten und auch die Kaufkraft vergleichbarer Einkommen nicht überall in Deutschland gleich sind. Das genaue Vorgehen wird in Abschnitt 4.3.1 näher erläutert. Auch für die räumlichen Regressionsanalysen wurden die Daten zum Teil im Vorhinein z-transformiert (siehe nächster Abschnitt).

3.4.3 Räumliche Regressionsanalyse

Eine der Voraussetzungen für robuste lineare Regressionsmodelle ist eine gegenseitige Unabhängigkeit der Variablenwerte sowie der Residuen im Modell. Diese ist bei räumlichen Daten oft nicht gegeben (vgl. Toblers sogenanntes erstes geographisches Gesetz "[...] *everything is related to everything else, but near things are more related than distant things*" 1970, S.236–236). Somit wurden die verwendeten Datensätze zunächst anhand von Global Moran's I auf räumliche Autokorrelation überprüft (Ergebnisse in Abschnitt 3.2.2 sowie Kapitel 5 und 7). Diese Statistik kann einen Wert zwischen -1 und 1 annehmen, wobei -1 eine perfekte gleichmäßige Verteilung anzeigt (negative räumliche Autokorrelation) und 1 eine perfekte Clusterung (positive räumliche Autokorrelation; vgl. Anhang D). Wenn die Werte räumlich vollständig zufällig verteilt auftreten, ist Global Moran's $I = 0$. Die Statistik kann, abhängig von der räumlichen Struktur der Daten, ggf.

auch Werte >1 annehmen (Jong et al. 1984). Es ist anzumerken, dass es bei dieser Analyse nicht darum ging, einzelne Cluster innerhalb des Datensatzes zu identifizieren – hierfür wären Local Moran's I oder *'local indicators of spatial association'* (LISA) die geeigneten Verfahren.

Räumliche Autokorrelation war bei allen Variablen gegeben. Für die Regressionsanalysen wurde daher ein räumliches Regressionsmodell gewählt, das dieses Phänomen berücksichtigt: das *spatial error model* (vgl. Kissling und Carl 2008 für eine Diskussion der Vorteile dieses Modells gegenüber dem *spatial lag model* und gemischten Modellen).

Mittels eines räumlichen Regressionsmodells lässt sich sowohl der Regressionskoeffizient β errechnen als auch die Signifikanz der Korrelation zwischen den untersuchten Variablen. Das Akaike Informationskriterium (AIK) kann ebenfalls sowohl für das räumliche Regressionsmodell als auch sein lineares Äquivalent errechnet werden. Diese dimensionslose Zahl dient dazu, zu beurteilen, welches der beiden Modelle die Daten besser abbildet – der jeweils kleinere AIK-Wert zeigt das besser passende Modell an (Bivand et al. 2008; Field et al. 2012; Field 2009).

Bei der räumlichen Regressionsmodellierung gibt es allerdings kein direktes Äquivalent für den Korrelationskoeffizienten r^2 . Es ist somit nicht möglich, die Effektgröße der Korrelation zu quantifizieren. Im Rahmen dieses Gutachtens wurde jedoch davon abgesehen, zusätzlich bivariate Korrelationsanalysen nach Pearson durchzuführen, die die räumliche Autokorrelation der Daten nicht berücksichtigen. Die AIK-Werte zeigten in allen Fällen, dass das räumliche Regressionsmodell die Daten besser abbildet als seine nicht-räumliche Entsprechung. Zudem merkt Lee an: „*Bivariate spatial dependence points to situations in which nearby observational units carry shared information in terms of bivariate association, thus violating the assumption of independent sampling, and the shared information spuriously strengthens (or weakens) the nature of correlation between two variables under investigation, making any conventional statistical inferences or judgments considerably questionable.*“ (2017, S. 366).

Für die räumlichen Regressionsanalysen wurden alle Datensätze – also auch für die Untersuchungsräume Hamburg und Berlin – als z-transformierte Werte verwendet, da große Skalenerunterschiede der Realdaten bei diesen Berechnungen zu Problemen führen können. Diese treten z. B. zwischen Werten für Haushaltseinkommen und Feinstaubbelastung auf. Daraus ergibt sich, dass die Werte der jeweils errechneten Regressionskoeffizienten β keine Realwerte der jeweiligen Variablen darstellen.

Bei Regressionsmodellen nimmt üblicherweise die inhaltlich abhängige Variable die linke Position der Gleichung ein, während die unabhängige Variable auf der rechten Seite der Gleichung steht – vereinfacht im Folgenden als $x \sim y$ repräsentiert. Bei den im Rahmen dieses Gutachtens durchgeführten Regressionen kann inhaltlich jedoch nicht in jedem Fall eindeutig von unabhängigen und abhängigen Phänomenen ausgegangen werden. Es wird daher prinzipiell von der jeweils ‚linken‘ und ‚rechten‘ Variable gesprochen.

Für alle in diesem Abschnitt dargestellten Analysen wurde R Language and Environment for Statistical Computing verwendet (R Core Team 2012). Die räumlichen Daten wurden mit Hilfe des R Package *rgdal* (Bivand et al. 2013) aus dem ArcGIS shape-Format eingelesen, für die weiteren Analysen wurden *spDep* 1.1-3 (Bivand 2019), *spatialReg* (Bivand und Piras 2019) und *spDataLarge* 0.1.3 (Nowosad und Lovelace 2017) genutzt.

Eine Anforderung der Algorithmen in *spatialReg* ist, dass keine der beteiligten Variablen fehlende Werte enthält. Alle Fälle, in denen der Wert für mindestens eine der beiden zu untersuchenden Variablen fehlte, wurden somit von der Regressionsanalyse ausgeschlossen. Selbiges gilt für alle Fälle, die nach der verwendeten Definition keine räumlichen Nachbarinnen haben (*queen contiguity* – vgl. Anhang D), da auch dies eine Voraussetzung für die Berechnung einer

räumlichen Regression ist. Die Anforderung erklärt sich daraus, dass die räumlichen Bezüge der Variablen zueinander über eine Nachbarschaftsmatrix berücksichtigt werden. In dieser Matrix muss jedem Fall mindestens eine Nachbarin zugeordnet werden.

3.4.4 Einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA)

3.4.4.1 Generelles Vorgehen

Eine allgemeine Hypothese von Untersuchungen zur Umweltgerechtigkeit ist, dass ein Zusammenhang besteht zwischen der Belastung mit Umweltstressoren wie z. B. Feinstaub und dem sozioökonomischen Status eines Menschen. Das UKAGEP- Projekt fragt wiederum danach, inwiefern die Krankheitslast auf Grund von Umweltbelastung differenziert für verschiedene sozioökonomische Gruppen berechnet werden kann. Dafür muss zunächst die Frage beantwortet werden, inwiefern Unterschiede im Belastungsparameter überhaupt mit Unterschieden bei den SES-Indikatoren einhergehen (hier Miet- und Kaufspiegel sowie Haushaltseinkommen). Die Feinstaubbelastung wird in diesem Zusammenhang als unabhängige Variable definiert, da angenommen wird, dass die Umweltqualität – bzw. Faktoren wie Verkehr, die diese beeinflussen – über die Miet- oder ggf. Kaufpreise die Leistbarkeit von Wohnraum und somit auch die Wohnstandortwahl von Haushalten beeinflusst.

Um untersuchen zu können, ob eine unterschiedlich starke Feinstaubbelastung mit signifikanten sozioökonomischen Unterschieden bei der Wohnbevölkerung einhergeht, musste zunächst entschieden werden, wie die Gruppierung der SES-Variablen auf Basis der Werte zur Feinstaubbelastung vorzunehmen war. Im Folgenden konnte mittels einer einfaktoriellen ANOVA (*Analysis of Variance*) untersucht werden, ob sich diese Gruppen in Bezug auf die Mittelwerte des jeweiligen SES-Indikators signifikant voneinander unterscheiden.

Für das ANOVA-Verfahren wird generell eine Normalverteilung der Daten innerhalb der verglichenen Gruppen, sowie eine Homogenität der Varianzen zwischen den einzelnen Fallgruppen angenommen. Gleichzeitig schließt Field (2009) jedoch, dass die F-Statistik der ANOVA sich robust gegenüber Abweichungen von der Normalverteilung verhält und bei Fallgruppengrößen von $N > 40$ zudem eine gegen normal strebende Verteilung zu erwarten sei (ebd. S. 154-155).

Die Homogenität der Varianzen wurde hingegen im Rahmen der Analysen jeweils mit Levene's Statistik (LS) überprüft. War LS statistisch signifikant ($p < 0.05$) und diese Homogenität somit nicht gegeben, wurde die Gleichheit der Mittelwerte der Fallgruppen mit dem robusten ANOVA-Verfahren nach Welch überprüft (Field 2009). Zudem wurde das post-hoc Verfahren nach Games-Howell angewendet (ebd.) um festzustellen, welche der Fallgruppen sich jeweils signifikant voneinander unterscheiden.

3.4.4.2 Gruppenbildung für die einfaktorielle Varianzanalyse (ANOVA)

Eine Möglichkeit der Gruppenbildung zum Zwecke einer ANOVA ist, die SES-Indikatoren anhand äquidistanter Klassen der Feinstaubvariablen zu unterteilen. Der Vorteil dieses Vorgehens wäre, dass die so entstehenden SES-Gruppierungen sich jeweils innerhalb einer vergleichbaren Spanne von $PM_{2.5}$ -Belastung befinden. Andererseits können Extremwerte der Feinstaubvariablen gerade im Maximalbereich dazu führen, dass nur noch sehr wenige Fälle der SES-Variablen in den oberen Klassen zu finden sind, was statistisch robuste Analysen erschwert. Generell führt eine solche Aufteilung zu ungleich großen Gruppen von SES-Fällen. Alternativ können die Feinstaubvariablen in Quantile eingeteilt werden. Der Datensatz würde also beispielsweise in fünf oder zehn gleichgroße Gruppen aufgeteilt – jede Gruppe enthält dann 20% bzw. 10 % der Daten. Vorteil sind konstante Fallzahlen in jeder Gruppe, Nachteil ist, dass die Spanne der Feinstaubbelastung für jede Gruppe recht unterschiedlich ausfallen kann.

Die beschriebenen Optionen wurden anhand des Datensatzes für Hamburg verglichen. Bei einer Gruppierung der Baublöcke anhand zehn äquidistanter Klassen der Feinstaubwerte mit aufsteigender Belastung (Spanne = $4,077 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ergeben sich wie erwartet sehr geringe Fallzahlen in den Gruppen mit hoher Feintaubbelastung und manche Klassen sind überhaupt nicht besetzt. Gruppiert man die Baublöcke anhand fünf äquidistanter Feinstaubwerteklassen (Spanne = $8,155 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ergibt sich erwartungsgemäß ein ähnliches Bild (Tabelle 17). Diese Gruppierungsmethode war im Rahmen dieses Gutachtens somit für eine ANOVA ungeeignet und die Baublöcke wurden für alle Untersuchungsräume stattdessen anhand von Dezilen der Feinstaubwerte gruppiert.

Tabelle 17: Ergebnis einer Gruppierung der Baublockdaten für Hamburg anhand äquidistanter Gruppen der $\text{PM}_{2,5}$ Belastung

10 äquidistante Gruppen			5 äquidistante Gruppen		
Gruppe PM _{2,5} Belastung	Anzahl Fälle	Prozent gültiger Fälle	Gruppe PM _{2,5} Belastung	Anzahl Fälle	Prozent gültiger Fälle
1	7.564	75,5	1	9.800	97,9
2	2.236	22,3	2	209	2,1
3	189	1,9	3	3	0,0
4	20	0,2	4	keine Fälle	
5	1	0,0	5	1	0,0
6	2	0,0	GESAMT (zus. fehlend = 750)	10.013	100%
7	keine Fälle				
8	keine Fälle				
9	keine Fälle				
10	1	0,0			
GESAMT (zus. fehlend = 750)	10.013	100%			

Eine vergleichbare Aufteilung der Daten für Hamburg zum Haushaltseinkommen auf $1 \times 1 \text{ km}^2$ Ebene führte zu ähnlichen Ergebnissen (Tabelle 18). Auch diese Daten wurden im Weiteren für alle Untersuchungsräume nach Dezilen der Feinstaubwerte gruppiert.

Tabelle 18: Ergebnis einer Gruppierung der Daten zum Haushaltseinkommen (1 x 1 km²) für Hamburg anhand äquidistanter Gruppen der PM_{2.5} Belastung

10 äquidistante Gruppen			5 äquidistante Gruppen		
Gruppe PM _{2,5} Belastung	Anzahl Fälle	Prozent gültiger Fälle	Gruppe PM _{2,5} Belastung	Anzahl Fälle	Prozent gültiger Fälle
1	168	29,7	1	419	74,2
2	251	44,4	2	138	24,4
3	108	19,1	3	7	1,2
4	30	5,3	4	keine Fälle	
5	6	1,1	5	1	0,2
6	1	0,2	GESAMT (zus. fehlend = 90)	565	100%
7	keine Fälle				
8	keine Fälle				
9	keine Fälle				
10	1	0,2			
GESAMT (zus. fehlend = 90)	565	100%			

Die ANOVA-Verfahren für Hamburg und Berlin wurden mit den Realwerten der SES-Indikatoren durchgeführt – auf eine Normalisierung durch eine z-Transformation (vgl. Abschnitt 3.4.2) wurde verzichtet. Für Deutschland wurden zwar z-transformierte Werte dieser Indikatoren verwendet, allerdings fand diese Transformation nach Maßgabe des Forschungsauftrags auf der Ebene der Gemeinden statt (wodurch naturgemäß keine Normalverteilung der Daten für ganz Deutschland erzielt wurde). Da die Fallgruppen auf dieser Ebene sehr groß waren, wurde auch hier davon ausgegangen, dass F sich robust verhält.

Es wäre prinzipiell auch möglich gewesen, die Gruppenbildung anhand der SES-Indikatoren durchzuführen um zu untersuchen, ob sich die Feinstaubbelastung des Wohnstandorts signifikant zwischen Gruppen unterscheidet, deren Einkommen bzw. Wohnkosten sich – relativ – ähnlich sind. Inhaltlich würde ein solches Vorgehen aber eher die Frage beantworten, ob Gruppen mit einem relativ homogenen SES auch eher ähnlich stark belastete Wohnstandorte ‚wählen‘, da in diesem Fall der SES-Indikator als unabhängige Variable gelten würde. In diesem Projekt wird jedoch eher die Frage untersucht, ob die Umweltbelastung als unabhängiger Faktor – ggf. eben über die Leistbarkeit von Wohnraum – die Wohnstandortwahl beeinflusst. Somit wurde auch für die entsprechenden Regressionsanalysen im Folgenden die Feinstaubbelastung als unabhängige bzw. linke Variable des Modells verwendet (vgl. Abschnitt 3.4.3).

4 Arbeitsdaten für Berlin und Deutschland

4.1 Berlin

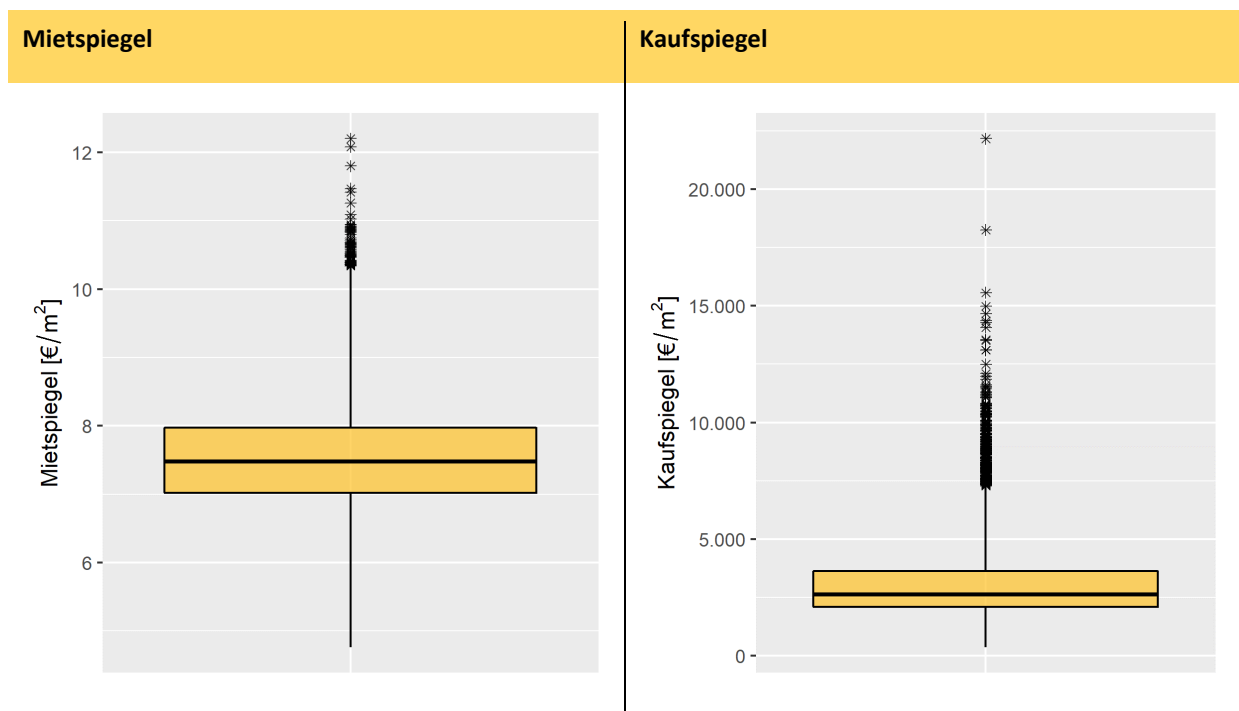
4.1.1 Sozioökonomische Indikatoren

4.1.1.1 Miet- und Kaufspiegel

Wie im Falle Hamburgs wurden auch für die Stadt Berlin die innerhalb der BKG-Gemeindegrenze liegenden Baublöcke aus dem deutschlandweiten Datensatz selektiert. Aus der ursprünglichen Grundgesamtheit von 21.164 durch infas360 gelieferten Baublöcken enthielten 18.130 Daten zum Mietspiegel mit Mittelwert = 7,51 €/m², Median = 7,44 €/m² und Standardabweichung = 0,90 €/m². Für 13.199 Fälle lagen Informationen zum Kaufspiegel vor: Mittelwert = 3.089 €/m², Median = 2.674 €/m² und Standardabweichung = 1.560 €/m². Diese Werte liegen durchgehend auf einem niedrigeren Niveau als für Hamburg (vgl. Abschnitt 3.1.1).

Die Baublockflächenkorrektur wurde nach der anhand des Datensatzes für Hamburg beschriebenen Methode durchgeführt (vgl. Abschnitt 3.1.2) und das insgesamt niedrigere Niveau der Werte bleibt auch nach diesem Schritt erhalten: die Kosten für Wohnraum sind in Berlin im Durchschnitt geringer als in Hamburg. Die resultierenden Arbeitsdatensätze des Miet- und Kaufspiegels enthielten 11.953 Fälle. Für den Mietspiegel gelten Mittelwert = 7,53 €/m², Median = 7,48 €/m² und Standardabweichung = 0,93 €/m². Der Kaufspiegeldatensatz zeigt Mittelwert = 3.065 €/m², Median = 2.627 €/m² und Standardabweichung = 1.574 €/m² (vgl. Abbildung 18).

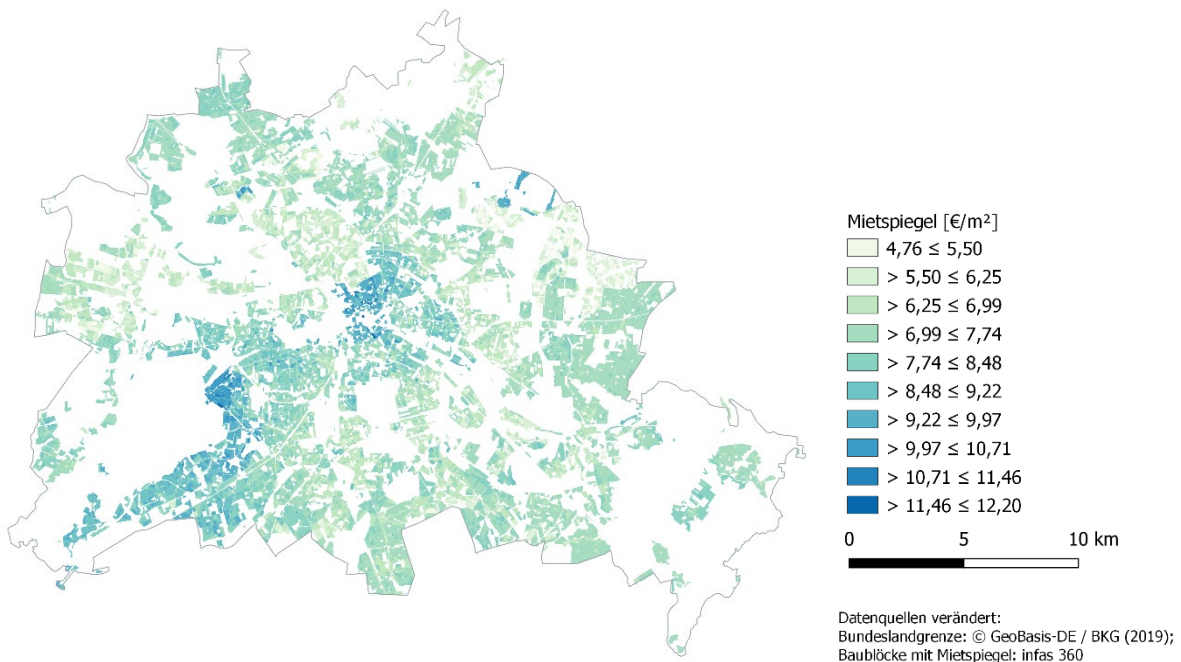
Abbildung 18: Boxplots für Miet- und Kaufspiegeldaten in €/m² auf Baublockebene für Berlin



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Der Karte in Abbildung 19 ist zu entnehmen, das höhere Mietspiegel in Berlin verstärkt entlang einer Achse vom Südwesten (angrenzend an den Grunewald) über das Zentrum bis Nordosten auftreten. Niedrige Werte finden sich eher östlich dieser Achse sowie im Westen der Stadt in Spandau (Abbildung 19; die SES-Daten für Berlin sind in Anhang G.2 zusätzlich als 3D-Abbildung kartiert).

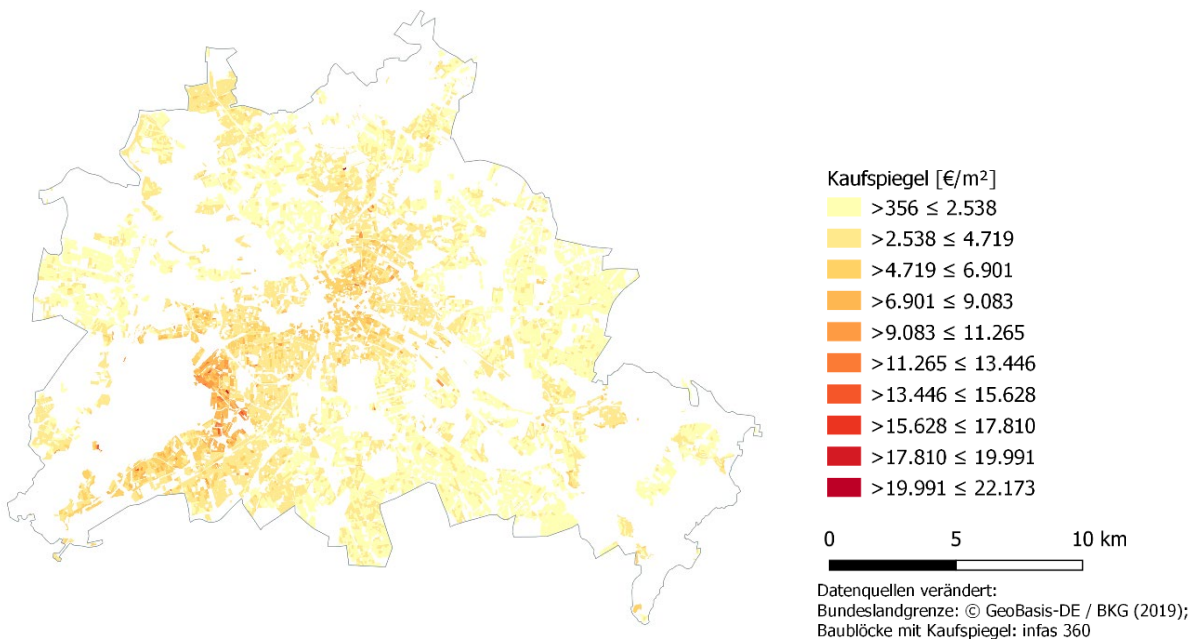
Abbildung 19: Karte des Mietspiegels in €/m² auf Baublockebene für Berlin



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Die räumlichen Verteilungsmuster des Indikators Kaufspiegel im Berliner Stadtgebiet in Abbildung 20 zeigen höhere Werte vor allem an der östlichen Seite des Grunewalds sowie im Zentrum der Stadt, vornehmlich östlich des Tiergartens in den Stadtteilen Mitte und Prenzlauer Berg. Die niedrigen Werteklassen lassen sich hauptsächlich im Westen und Osten der Stadt verorten.

Abbildung 20: Karte des Kaufspiegels in €/m² auf Baublockebene für Berlin

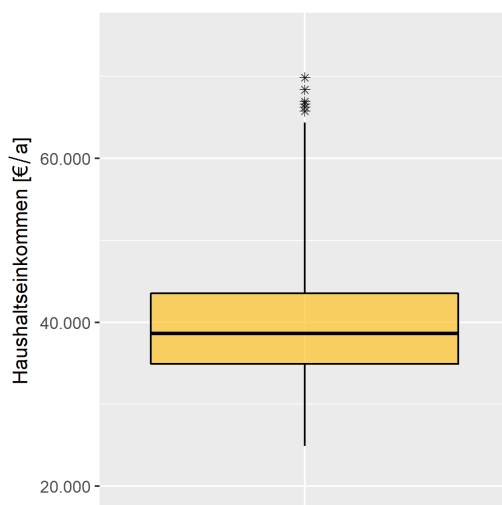


Quelle: eigene Darstellung, TUHH

4.1.1.2 Haushaltseinkommen

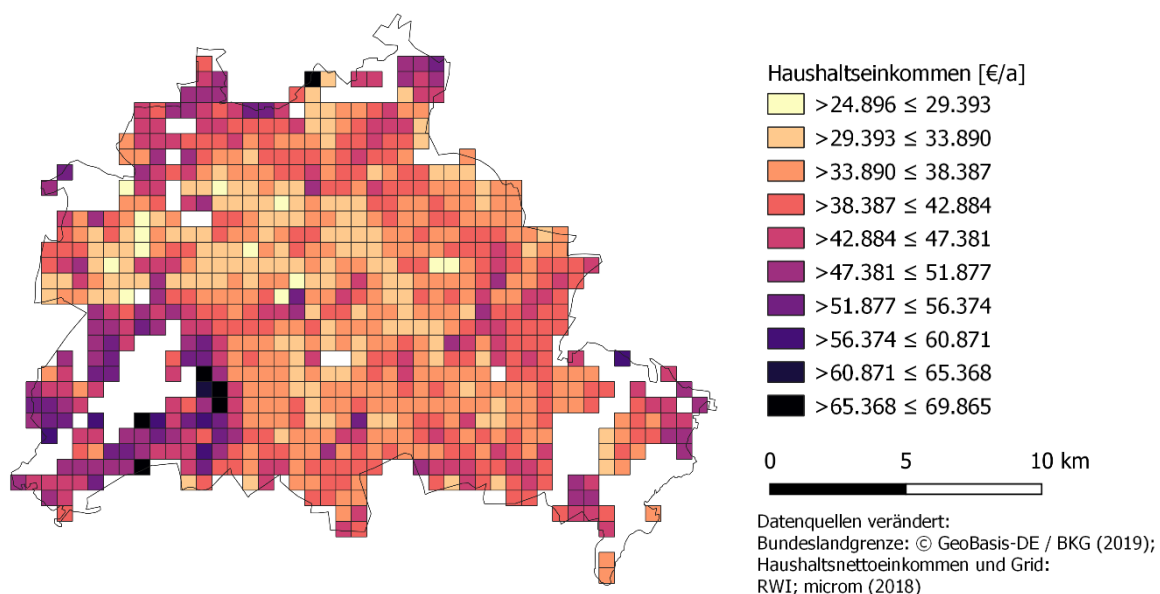
Auch für Berlin wurden die Daten für den Indikator Haushaltseinkommen aus dem deutschlandweiten Datensatz entnommen. Wie auch für Hamburg erfolgte die Auswahl auf Basis der Lage der Zentroide der $1 \times 1 \text{ km}^2$ Zellen innerhalb der Gemeindegrenzen nach BKG. Der so generierte Arbeitsdatensatz mit 650 Fällen hat Mittelwert = 39.776 €/Jahr, Median = 38.652 €/Jahr und Standardabweichung = 6.692 €/Jahr (siehe auch Abbildung 21). Diese Werte sind deutlich niedriger als im Falle der Hamburg Daten (Tabelle 16). Abbildung 22 verdeutlicht, dass sich in Berlin vor allem im westlichen Stadtgebiet um den Grunewald herum Fälle mit hohen durchschnittlichen Jahresnettoeinkommen finden. Ansonsten befinden sich Fälle mit überdurchschnittlichen Werten hauptsächlich in der Nähe der Stadtgrenzen.

Abbildung 21: Boxplot für das durchschnittliche Haushaltsnettoeinkommen in €/Jahr auf $1 \times 1 \text{ km}^2$ für Berlin



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 22: Karte des durchschnittlichen Haushaltseinkommens in €/Jahr auf $1 \times 1 \text{ km}^2$ für Berlin

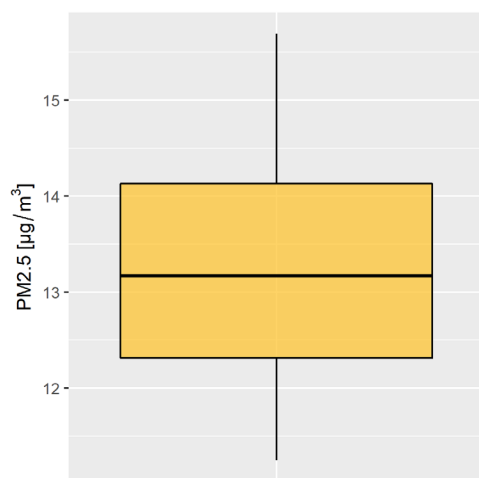


Quelle: eigene Darstellung, TUHH

4.1.2 Feinstaubdaten

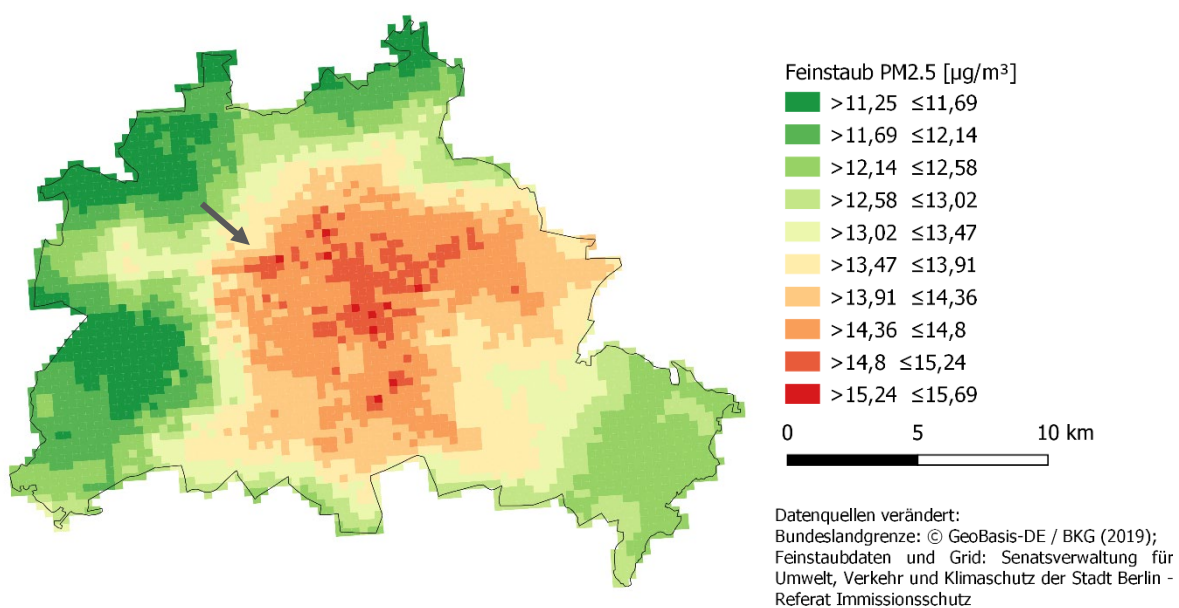
Für Berlin wurden Belastungsdaten für die Jahresdurchschnittsbelastung mit $\text{PM}_{2.5}$ in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ von der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SENUVK) der Stadt bereitgestellt (Metadaten in Tabelle 68, Anhang B). Die Daten haben eine räumliche Auflösung von $500 \times 500 \text{ m}^2$ und bilden – im Unterschied zu den Belastungsdaten für Hamburg (Abschnitt 3.2) – nur die Hintergrundbelastung des Betrachtungsraums ab. Da somit lokale Belastungsspitzen nicht dargestellt werden, und auch auf Grund der größeren räumlichen Auflösung, ergibt sich für die 3.747 Werte in diesem Datensatz eine geringere Wertespreizung. Mittelwert und Median sind bis auf die zweite Nachkommastelle identisch und die Standardabweichung fällt geringer aus als in Hamburg: Mittelwert = $13,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, Median = $13,17$ und Standardabweichung = $1,06 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dem Boxplot in Abbildung 23 ist außerdem zu entnehmen, dass dieser Datensatz im Gegensatz zu den Daten für Hamburg keine Extremwerte enthält.

Abbildung 23: Boxplot für die Hintergrundbelastung mit $\text{PM}_{2.5}$ in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $500 \times 500 \text{ m}^2$ in Berlin



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 24: Karte der Hintergrundbelastung mit $\text{PM}_{2.5}$ in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ auf $500 \times 500 \text{ m}^2$ in Berlin



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 24 zeigt (anders als die Daten für Hamburg in Abbildung 17) eine eher konzentrische Verteilung der Werte mit hoher Belastung in zentraleren bzw. dichter besiedelten Teilen der Stadt, die zum Stadtrand hin abnehmen – mit einer durch die Siedlungsmuster begründeten Ausnahme im Osten. Spitzenwerte in Verbindung mit lokalen Feinstaubquellen sind erwartungsgemäß kaum zu erkennen. Lediglich der Flughafen Berlin Tegel ist auch in der Hintergrundbelastung recht deutlich zu verorten (siehe grauer Pfeil).

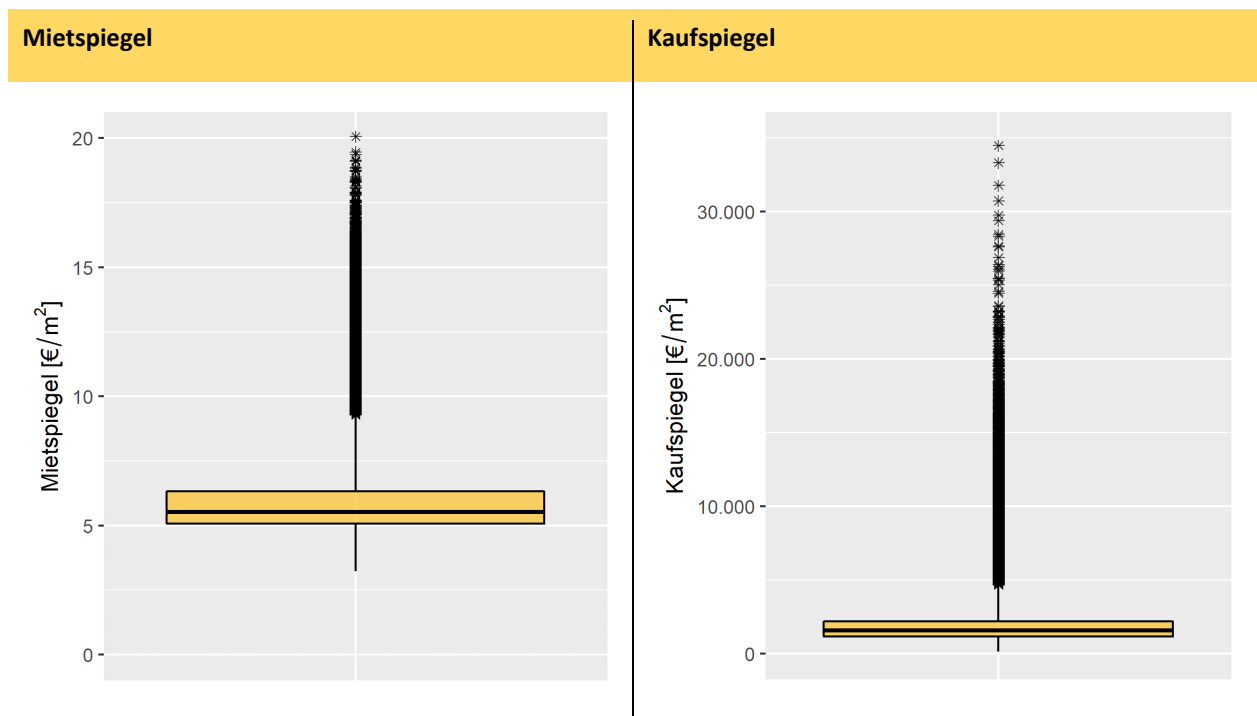
4.2 Deutschland

4.2.1 Sozioökonomische Indikatoren

4.2.1.1 Miet- und Kaufspiegel

Ausgehend von einem ursprünglichen Datensatz mit $N=2.950.464$ Baublöcken verblieben nach Abzug der Fälle ohne Daten und nach der Baublockflächenkorrektur (vgl. Abschnitt 3.1.2) noch 1.866.984 Fälle. Dies schließt die Daten für Hamburg und Berlin mit ein, da beide Untersuchungsräume in die deutschlandweiten Analysen mit einbezogen wurden. Für die Mietspiegeldaten gelten Mittelwert = $5,87 \text{ €/m}^2$, Median = $5,52 \text{ €/m}^2$ und Standardabweichung = $1,23 \text{ €/m}^2$. Die Kaufspiegelwerte sind mit Mittelwert = 1.850 €/m^2 , Median = 1.583 €/m^2 und Standardabweichung = 1.122 €/m^2 zusammenzufassen (entsprechende Informationen zum Originaldatensatz und weitere deskriptive Statistiken finden sich in Tabelle 77 und Tabelle 78 in Anhang C). Die Boxplots für beide SES-Indikatoren machen deutlich, dass die Datensätze am oberen Ende der Werteskala eine recht große Menge an Extremwerten enthalten (Abbildung 25).

Abbildung 25: Boxplots für Miet- und Kaufspiegeldaten in €/m² auf Baublockebene für Deutschland



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

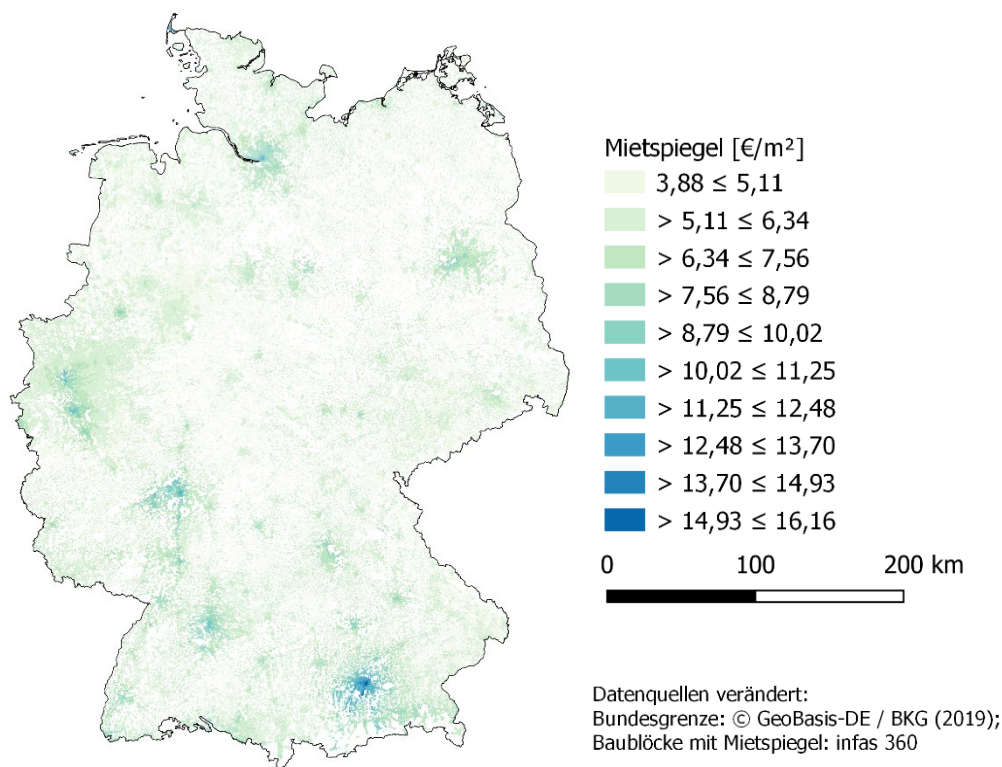
Die Fälle mit besonders hohen Werten lassen sich anhand der Kartendarstellungen im Folgenden verorten. Der Mietspiegel nimmt erwartungsgemäß höhere Werte in Metropolregionen und urbanen Ballungszentren an (Abbildung 26). Die höchsten Werte finden sich im Raum München.

Aber auch das Rhein-Maingebiet mit der Stadt Frankfurt ist in diese Kategorie einzuordnen. In Berlin und Umgebung sind die Werte generell niedriger als in anderen Metropolregionen. Besonders im östlichen Teil der Bundesrepublik fallen weite Regionen auf, für die keine Werte vorliegen (weiße Flächen).

Der Indikator Kaufspiegel ist in Abbildung 27 dargestellt. Auch die höheren Kaufspiegelwerte finden sich in größeren Städten und deren Umland. Auch für diesen Indikator können die höchsten Werte im Raum München ausgemacht werden. Aber auch in zentralen Bereichen anderer Großstädte lassen sich hohe Werte feststellen. In den ländlichen Regionen Ostdeutschlands finden sich die geringsten Werte dieses Indikators.

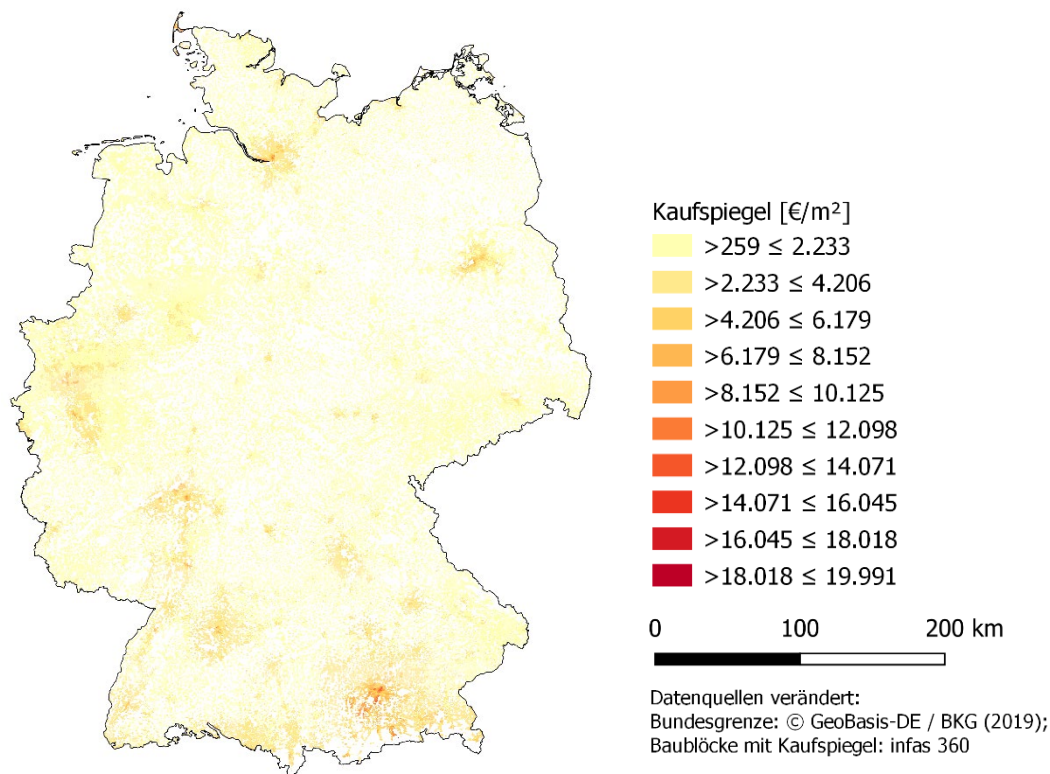
Für die dünn besiedelten Gebiete am Alpenrand enthalten diese Datensätzen ebenfalls nur wenige Werte.

Abbildung 26: Karte des Mietspiegels in €/m² auf Baublockebene für Deutschland^a



^a Im Sinne einer besseren Lesbarkeit werden die Baublockdaten gemittelt auf Ebene des 1 x 1 km² Rasters dargestellt.
 Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 27: Karte des Kaufspiegels in €/m² auf Baublockebene für Deutschland^b

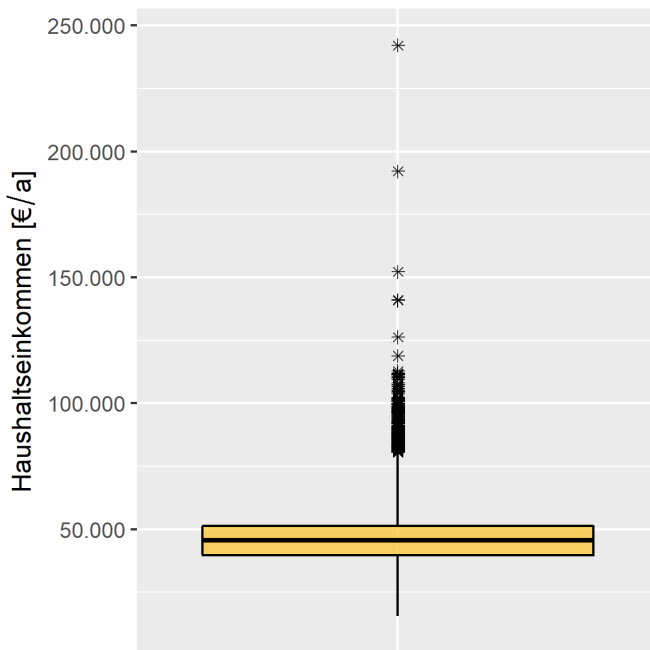


^b Im Sinne einer besseren Lesbarkeit werden die Baublockdaten gemittelt auf Ebene des 1 x 1 km² Rasters dargestellt.
 Quelle: eigene Darstellung, TUHH

4.2.1.2 Haushaltseinkommen

Der ursprünglich vom FDZ Ruhr am RWI zur Verfügung gestellte Datensatz enthielt 149.810 formal gültige Fälle mit der Summe des jährlichen Nettoeinkommens aller Haushalte in einer Rasterzelle. Einige Zellen waren jedoch mit dem Wert 0 € belegt und für einige lagen keine Informationen zur Anzahl der Haushalte in der Zelle vor, da diese aus Datenschutzgründen bei $x < 10$ pro 1 x 1 km² Zelle nicht angegeben wird, selbst wenn ein kumulierter Wert für das Haushaltseinkommen vorhanden ist. Für diese Fälle konnte somit der SES-Indikator des durchschnittlichen Haushaltseinkommens nicht errechnet werden. Es verblieben 149.145 gültige Fälle mit Mittelwert = 45.670 €/Jahr, Median = 45.448 €/Jahr und Standardabweichung = 9.200 €/Jahr (Abbildung 28).

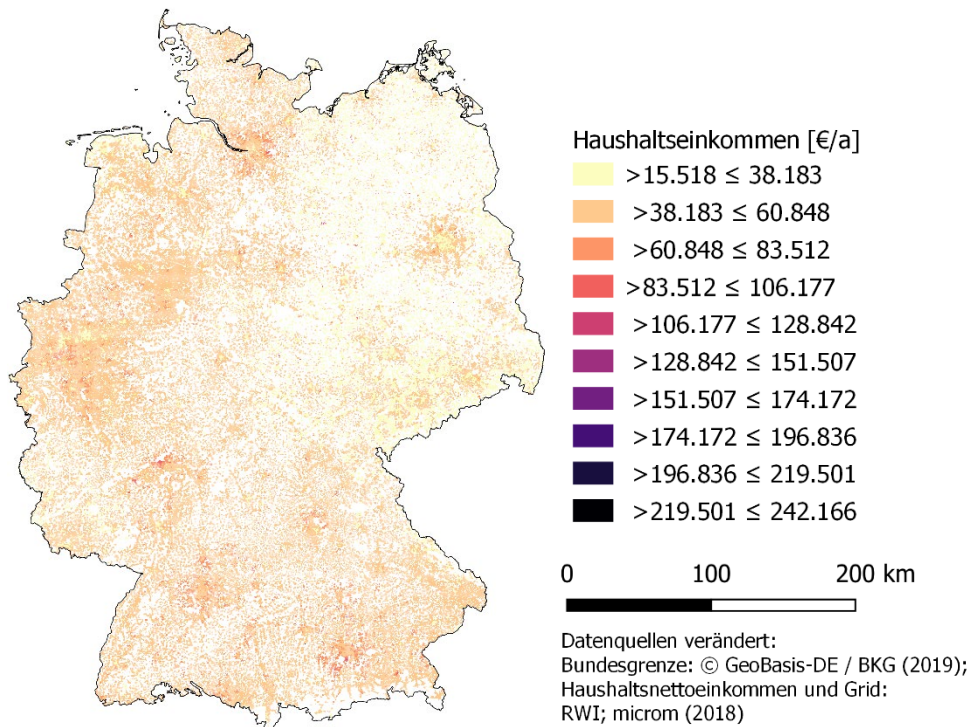
Abbildung 28: Boxplot für das durchschnittliche Haushaltseinkommen in €/Jahr auf 1 x 1 km² für Deutschland



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Die Kartendarstellung dieses Indikators findet sich in Abbildung 29. Auch dort ist die Tendenz zu höheren Werten in Ballungsräumen abzulesen, sie tritt jedoch weniger deutlich zu Tage als im Falle der Miet- und Kaufspiegel. Dieser Effekt kann zum Teil mit der größeren räumlichen Auflösung des Datensatzes zu tun haben, die dazu führt, dass besonders hohe Einzelwerte für Haushaltseinkommen (die im ursprünglichen Datensatz bereits in den pro Rasterzelle kumulierten Werten subsummiert waren) sich im Datensatz weniger klar absetzen. Außerdem ist denkbar und sogar sehr wahrscheinlich, dass Haushalte mit einem relativ hohen Einkommen in Gebieten mit geringeren Quadratmeterpreisen für Wohnraum größere Einheiten mieten oder kaufen – für viele Haushalte ist diese Möglichkeit ein Beweggrund, sich für Wohnstandorte außerhalb von Städten zu entscheiden. So verteilen sich dann Einkommen gleichmäßiger im Raum als die Miet- und Kaufspiegel, die für sich genommen nichts über die tatsächliche Größe der jeweiligen Wohneinheiten aussagen. Ein dritter Grund für das Verteilungsmuster der Werte dürfte sein, dass es nicht möglich war, die Daten zum Haushaltseinkommen zu Haushaltsgrößen in Relation zu setzen. Ein größerer Haushalt mit einem durchschnittlichen Jahresnettoeinkommen von 45.670 € wohnt ggf. eher abseits urbaner Zentren mit ihren höheren Quadratmeterpreisen als ein Singlehaushalt mit dem gleichen Haushalts- aber deutlich höherem pro-Kopf-Einkommen (siehe auch Abschnitt 8.2).

Abbildung 29: Karte des durchschnittlichen Haushaltseinkommens in €/Jahr auf 1 x 1 km² für Deutschland

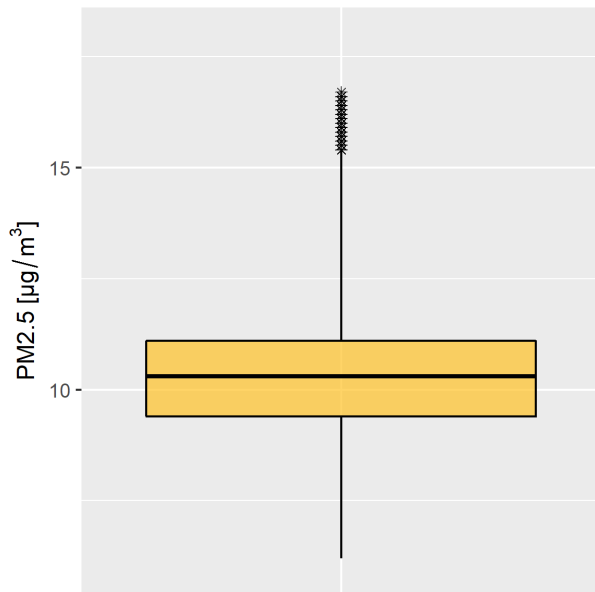


Quelle: eigene Darstellung, TUHH

4.2.2 Feinstaubdaten

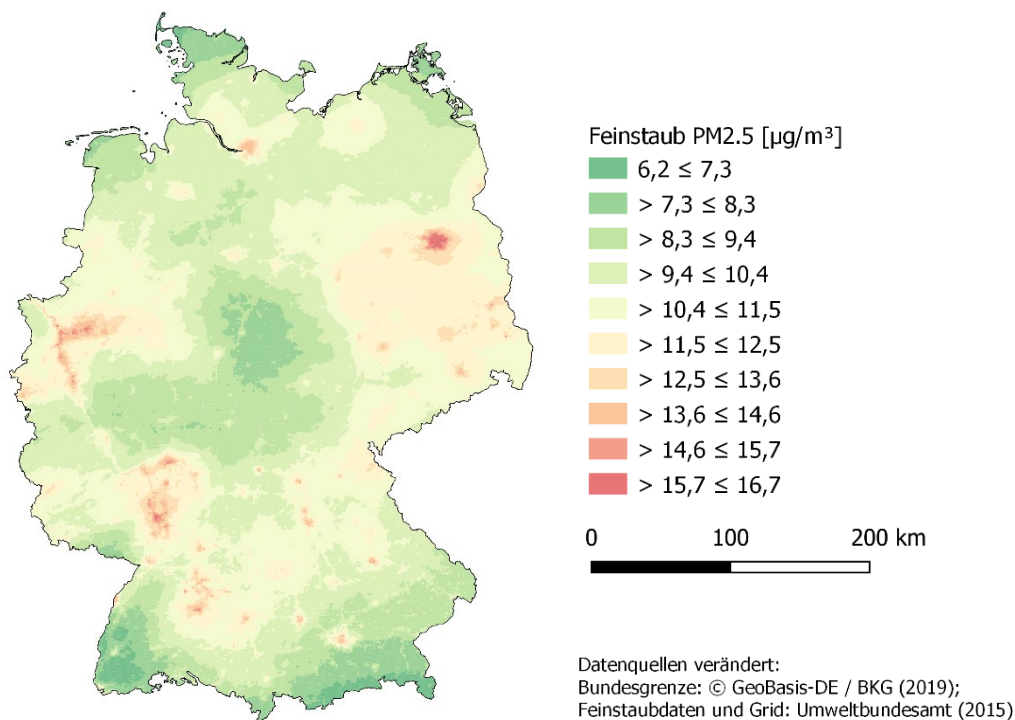
Die in diesem Gutachten verwendeten Daten zur Feinstaubhintergrundbelastung in Deutschland basieren auf modellierten PM_{2.5}-Jahresmittelwerten für Deutschland für das Jahr 2015. Sie wurden vom UBA zur Verfügung gestellt (Metadaten in Tabelle 69, Anhang B). Der Datensatz liegt mit einer räumlichen Auflösung von 2 x 2 km² vor und deckt die Bundesrepublik Deutschland sowie anrainende Gebiete der Nachbarländer ab (letztere wurden in diesem Gutachten jedoch nicht betrachtet). Die Belastungswerte wurden für die Zentroide der jeweiligen 2 x 2 km² Zellen modelliert und sind als Durchschnittsbelastung der entsprechenden 4 km zu betrachten. Auch in diesem Fall wurden alle Rasterzellen für weitere Analysen übernommen, deren Zentroide innerhalb der vom BKG verfügbaren Grenzen der Bundesrepublik Deutschland liegen. Für den Datensatz gilt Mittelwert = 10,26 µg/m³, Median = 10,30 und Standardabweichung = 1,31 µg/m³ (weitere deskriptive Statistiken in Anhang C; Boxplot in Abbildung 30). Die Werte sind deutschlandweit somit im Schnitt niedriger als für den Ballungsraum Berlin. Da dieser Datensatz alle Raumtypen abdeckt, ist der Unterschied erwartbar und sollte auch zu beobachten sein, wenn die Daten zur Hintergrundbelastung räumlich gleich aufgelöst wären.

Abbildung 30: Boxplot für die Hintergrundbelastung mit PM_{2.5} in µg/m³ auf 2 x 2 m² in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Die Karte in Abbildung 31 macht deutlich, dass die relativ gesehen niedrigsten Werte für die Hintergrundbelastung hauptsächlich in den deutschen Mittelgebirgsregionen, am Alpenrand und im Schwarzwald zu finden sind. Auch viele ländliche Regionen zeichnen sich durch niedrige Werte aus, allerdings generieren auch Aktivitäten wie zum Beispiel Massentierhaltung und Ackerwirtschaft Feinstaubemissionen, sodass auch in solchen Raumtypen vielerorts eine höhere mittlere Belastung auftritt. Die verdichteten urbanen Räume zeigen die zu erwartenden hohen Werte, man sieht aber zum Beispiel einen deutlichen Unterschied zwischen den errechneten Hintergrundbelastungen für Hamburg und Berlin. In der Hansestadt findet auf Grund der Küstennähe mehr Luftaustausch statt und die umliegenden Regionen – die den Belastungshintergrund in der Stadt mit beeinflussen – zeigen generell niedrigere Werte als im Umland von Berlin.

Abbildung 31: Karte der Hintergrundbelastung mit PM_{2,5} in Deutschland auf 2 x 2 km²


Quelle: eigene Darstellung, TUHH

4.3 Ergänzende Schritte der Datenaufbereitung

4.3.1 z-Transformation

Für den Betrachtungsraum Deutschland wurden die SES-Variablen aus 4.2.1 vor der Durchführung der weiteren Schritte zunächst z-normalisiert (vgl. Abschnitt 3.4.2). Dies geschah auf Ebene der Gemeinden auf Basis des 8-stelligen amtlichen Gemeindeschlüssels. Hintergrund für diese Entscheidung war die Tatsache, dass die gewählten SES-Indikatoren keine Unterschiede in regionalen oder örtlichen Niveaus der Wohnkosten oder der verfügbaren Einkommen berücksichtigen, sondern solche Effekte durch einen landesweiten Vergleich der Realdaten im Gegenteil nivelliert würden (vgl. Abschnitt 8.2.2). Daten aller Gemeinden mit $N < 10$ Baublöcken wurden von der z-Transformation ausgeschlossen, da diese Normalisierung bei einer so geringen Grundgesamtheit nicht sinnvoll durchführbar ist. In Ermangelung eines tatsächlichen Datensatzes, der die Kaufkraftunterschiede in unterschiedlichen Raumeinheiten deutschlandweit abbildet, sollte dieses Vorgehen den verwendeten SES-Indikatoren einen lokalen Bezug hinzufügen.

Der mittlere Quadratmeterpreis für die Kaltmiete einer Wohnung liegt zum Beispiel in Hamburg bei 9,12€ (Abschnitt 3.3) und in Berlin bei 7,52€ (Abschnitt 4.1.1). Deutschlandweit beträgt dieser Wert 5,90€ – unter anderem, weil das Mietniveau in ländlichen Regionen deutlich niedriger ist als in den urbanen Lagen. Damit ist eine direkte Vergleichbarkeit der Bedeutung absoluter Werte des Miet- und Kaufspiegels für die Möglichkeiten der Wohnstandortwahl von Haushalten nicht gegeben. Die resultierenden z-Werte bilden dann den Abstand des Realwerts in €/m² vom Mittelwert für die jeweilige Gemeinde in Einheiten der Standardabweichung ab. Ein z-Wert von -0,5 repräsentiert also in jedem Fall einen Quadratmeterpreis, der um 0,5 Standardabweichungen niedriger ist als der mittlere Preis in der jeweiligen Gemeinde – unabhängig von der Höhe des realen Werts. Äquivalente Prinzipien gelten für das Haushaltseinkommen.

Die Datenwerte für alle Raumeinheiten, deren Zentroide innerhalb der Grenze einer Gemeinde liegen, wurden mit Hilfe von Mittelwert und Standardabweichung für die jeweilige Gemeinde transformiert (Grundlage: der 8-stellige Amtliche Gemeindeschlüssel, Geodaten des Bundesamts für Kartographie und Geodäsie). Die z-Werte wurden danach für die gesamte Bundesrepublik wieder zusammengeführt (vgl. Abschnitt C.2, Anhang C). Aus diesem Grund lassen sich Daten aus dem resultierenden deutschlandweiten Datensatz und die mit ihnen errechneten Ergebnisse dann jedoch nicht mehr in Realdaten umrechnen, da sie sich nicht auf dieselben Werte für Mittelwert und Standardabweichung beziehen.

4.3.2 Räumliche Verschneidungen der Variablen

Sowohl die Datensätze der SES-Indikatoren als auch die Daten zur Feinstaubbelastung liegen in unterschiedlicher räumlicher Auflösung vor – sowohl innerhalb der beiden Domänen SES und Umweltqualität als auch zwischen diesen beiden Domänen. Vor der Anwendung der in Abschnitt 3.4 dargestellten bivariaten statistischen Verfahren wurden diese Datensätze daher jeweils auf der Maßstabsebene mit der geringeren Auflösung miteinander verschnitten – also eine räumliche Aggregation vorgenommen. Grund hierfür ist die Tatsache, dass es sich bei den vorliegenden Variablen zwar um Durchschnittswerte für die jeweiligen Flächeneinheiten handelt, jedoch nicht davon auszugehen ist, dass z. B. die Feinstaubbelastung auf $2 \times 2 \text{ km}^2$ oder auch das Haushaltseinkommen auf $1 \times 1 \text{ km}^2$ in der Realität tatsächlich gleichmäßig verteilt innerhalb der jeweiligen Raumeinheit auftreten. Eine Disaggregation der Datensätze auf Ebenen mit höherer Auflösung würde somit eine räumliche Genauigkeit suggerieren, die die Variablen in der Realität nicht enthalten.

Da sowohl die Zusammenhänge zwischen den drei SES-Indikatoren untereinander untersucht werden sollen als auch der Zusammenhang dieser Indikatoren mit der Feinstaubbelastung, waren die folgenden Aggregationsschritte für die jeweiligen räumlichen Betrachtungsebenen notwendig.

► Hamburg (siehe auch Abschnitt 3.2.2):

- Baublockdaten aggregiert auf die $1 \times 1 \text{ km}^2$ Auflösung der Daten zum Haushaltseinkommen
- $100 \times 100 \text{ m}^2$ Feinstaubdaten aggregiert auf die Ebene der Baublockdaten
- $100 \times 100 \text{ m}^2$ Feinstaubdaten aggregiert auf die $1 \times 1 \text{ km}^2$ Auflösung der Daten zum Haushaltseinkommen

► Berlin:

- Baublockdaten aggregiert auf die $500 \times 500 \text{ m}^2$ Auflösung der Feinstaubdaten
- Baublockdaten aggregiert auf die $1 \times 1 \text{ km}^2$ Auflösung der Daten zum Haushaltseinkommen
- $500 \times 500 \text{ m}^2$ Feinstaubdaten aggregiert auf die $1 \times 1 \text{ km}^2$ Auflösung der Daten zum Haushaltseinkommen

► Deutschland (vgl. Abschnitt 4.3.1 zu den z-Werten)

- gemeindebasierte z-Werte der Baublockdaten aggregiert auf die $1 \times 1 \text{ km}^2$ Auflösung der Daten zum Haushaltseinkommen
- gemeindebasierte z-Werte der Baublockdaten aggregiert auf die $2 \times 2 \text{ km}^2$ Auflösung der Feinstaubdaten
- gemeindebasierte z-Werte der $1 \times 1 \text{ km}^2$ Daten zum Haushaltseinkommen aggregiert auf die $2 \times 2 \text{ km}^2$ Auflösung der Feinstaubdaten

Bei der Zuweisung des Miet- und Kaufspiegels von der Baublockebene auf Raster mit Zellgrößen von $1 \times 1 \text{ km}^2$ (Haushaltseinkommen) bzw. $2 \times 2 \text{ km}^2$ ($\text{PM}_{2.5}$ Hintergrund für Deutschland) wurde eine bevölkerungsbasierte Gewichtung verwendet. Hierfür wurden Daten genutzt, die nach dem in Abschnitt 3.1.2 erläuterten Verfahren erarbeitet wurden. Aus den in einer Rasterzelle ganz oder anteilig enthaltenen Baublöcken wurde die (rechnerische) Einwohnerzahl jeder Zelle ermittelt. Entsprechend des Anteils, den die Einwohnerzahl eines Baublocks (oder eines Teils desselben) an der Einwohnerzahl der Zelle hat, floss dann der gewichtete Wert des Miet- bzw. Kaufspiegels in die Berechnung des Durchschnittswerts für die Rasterzelle ein.

Die Daten für das Haushaltseinkommen auf $1 \times 1 \text{ km}^2$ wurden ebenfalls bevölkerungsgewichtet auf die Ebene des $2 \times 2 \text{ km}^2$ Rasters für die Feinstaubhintergrundbelastung in Deutschland aggregiert. Dabei konnte für die Bevölkerungswerte direkt auf die Daten aus dem Zensus von 2011 zurückgegriffen werden, da diese für das gleiche Raster vorliegen wie die Daten zum Haushaltseinkommen. Damit fiel ein Berechnungsschritt weniger an als im Falle der Baublöcke. Die Zuordnung der Fälle vom $1 \times 1 \text{ km}^2$ Raster auf das $2 \times 2 \text{ km}^2$ Raster basierte auf der Lage ihrer Zentroide.

5 Zusammenhänge der Variablen innerhalb der Domänen SES und Feinstaubbelastung

Wie in Abschnitt 3.4.3 dargelegt, ist es auf Grund der spezifischen Eigenschaften räumlicher Daten angezeigt, im Vorfeld der Anwendung von bivariaten statistischen Verfahren wie Regressionsanalysen zu überprüfen, ob eine räumliche Autokorrelation innerhalb der Datensätze besteht. Da Global Moran's I für alle Variablen diesen Sachverhalt bestätigte (die Statistiken hierzu finden sich im Folgenden in den jeweiligen Abschnitten), wurden alle Regressionsanalysen mit räumlichen Modellen durchgeführt. So wurde überprüft, ob die gewählten Variablen in den jeweiligen Untersuchungsräumen statistisch signifikant miteinander korrelieren und in welche Richtung (positiv oder negativ) sowie mit welchem Maß sie zusammenhängen (Regressionskoeffizient β).

Im vorliegenden Kapitel geht es zunächst um die Frage, wie die verschiedenen SES-Indikatoren untereinander zusammenhängen und ob die modellierten Feinstaubwerte auf $100 \times 100 \text{ m}^2$ bzw. $500 \times 500 \text{ m}^2$ einen Zusammenhang mit den Daten auf $2 \times 2 \text{ km}^2$ aufweisen. Die aus der Umweltgerechtigkeitsperspektive relevanten Zusammenhänge zwischen SES-Indikatoren und Feinstaubbelastung werden in Kapitel 7 untersucht.

5.1 SES Indikatoren

5.1.1 Hamburg

Eine stark unterschiedliche Skalierung von Variablen kann bei der räumlichen Regressionsrechnung zu Problemen führen. Daher wurden die Daten des Miet- und Kaufspiegels wie auch diejenigen zum Haushaltseinkommen z-transformiert. Die Ergebnisse für Global Moran's I sowie der räumlichen Regressionsanalysen bleiben hiervon unberührt, man vermeidet jedoch Probleme bei den Regressionsalgorithmen. Die deskriptiven Werte für die normalisierten Daten finden sich in Anhang C.2. Aufgrund der in Abschnitt 3.4.3 beschriebenen Datenanforderungen für räumliche Regressionsanalysen enthalten die im Folgenden verwendeten Datensätze nur Fälle, welche über räumliche Nachbarinnen verfügen.

Die in Tabelle 19 dargestellten Werte für Global Moran's I zeigen, dass die Variablen Miet- und Kaufspiegel auf der Baublockebene signifikante positive räumliche Autokorrelation aufweisen. Das gleiche gilt für die SES-Daten auf Ebene des $1 \times 1 \text{ km}^2$ Rasters. Die Daten unterliegen somit einer starken räumlichen Clusterung. Dieses Ergebnis bestätigt, dass die untersuchten Raumeinheiten (Baublock, Rasterzelle) jeweils eher von Einheiten mit vergleichbaren als mit stark unterschiedlichen Ausprägungen derselben Variable umgeben sind.

Tabelle 19: Global Moran's I Statistiken für Hamburger SES-Indikatoren auf Baublock- und $1 \times 1 \text{ km}^2$ Ebene

Ebene: Baublock	N (nur Polygone mit Nachbarn)	Global Moran's I	Signifikanz
Mietspiegel	9.396	0,912	$p < 0,001$
Kaufspiegel		0,748	$p < 0,001$
Ebene: $1 \times 1 \text{ km}^2$			
Mietspiegel (aggregiert)	623	0,8420	$p < 0,001$
Kaufspiegel (aggregiert)		0,7707	$p < 0,001$
Haushaltseinkommen		0,5792	$p < 0,001$

Die Regressionsanalysen ergaben, dass Miet- und Kaufspiegeldaten auf Ebene der Baublöcke signifikant positiv miteinander korrelieren. Gleiches gilt für das Verhältnis zwischen den aggregierten Miet- und Kaufspiegeldaten zum durchschnittlichen jährlichen Haushaltseinkommen auf Ebene des 1 x 1 km² Rasters. Höhere Mietspiegel gehen also tendenziell auch mit höheren Kaufspiegeln einher bzw. niedrigere mit niedrigeren. Gleiches gilt für den Zusammenhang zwischen Miet- bzw. Kaufspiegel und Haushaltseinkommen. Die Werte des Regressionskoeffizienten β , seines Standardfehlers, das Signifikanzmaß der Korrelation sowie die Werte für das AIK finden sich in Tabelle 20. Es sei daran erinnert, dass β sich hier nicht auf Realdaten, sondern die z-Werte bezieht. Sein Wert beschreibt also gemeinsame Veränderungen der Variablen in Standardabweichungen. Der Wert des AIK für die räumlichen Regressionsmodelle ist in allen drei Fällen kleiner als für ihre linearen Äquivalente. Das räumliche Modell ist somit in allen drei Fällen die bessere Repräsentation der Daten.

Tabelle 20: Ergebnis der räumlichen Regressionsanalysen der z-standardisierten SES-Variablen für Hamburg

	Baublockebene	1 x 1 km ² Raster	
	Mietspiegel~ Kaufspiegel	Haushaltseinkommen~ Kaufspiegel	Haushaltseinkommen~ Mietspiegel
β	0,452	0,440	0,526
Standardfehler	0,007	0,048	0,057
Signifikanz	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001
AIK räumliches Modell	15.092	1.301	1.299
AIK lineares Modell	20.407	1.729	1.765

5.1.2 Berlin

In Berlin befinden sich 11.953 Wohnblöcke, die nach der in Abschnitt 3.1.2 entwickelten Definition bewohnt sind. Von diesen sind 227 ohne Nachbarn, es verbleiben somit 11.726 Fälle für die räumliche Regressionsanalyse. Auf Ebene des 1 x 1 km² Rasters mit 892 Zellen für das Land Berlin verbleiben 755 Fälle. Alle Berliner SES-Variablen weisen sowohl auf der Baublockebene als auch auf Ebene des 1 x 1 km² Rasters signifikant positive räumliche Autokorrelation auf (vgl. Tabelle 21). Sie tendieren also auf beiden Ebenen der räumlichen Auflösung zu einer Clusterung ähnlicher Werte.

Tabelle 21: Global Moran's I / Statistik für Berliner Miet- und Kaufspiegel sowie Haushaltseinkommen

Ebene: Baublöcke	N (nur Polygone mit Nachbarn)	Global Moran's I	Signifikanz
Mietspiegel	11.726	0,713	p < 0,001
Kaufspiegel		0,692	p < 0,001
Ebene: 1 x 1 km²			
Mietspiegel	755	0,632	p < 0,001
Kaufspiegel		0,741	p < 0,001
Haushaltseinkommen		0,516	p < 0,001

Wie in Hamburg korrelieren diese Variablen ebenfalls auf beiden Ebenen jeweils signifikant positiv miteinander (Tabelle 22). Auch hier weisen die SES-Indikatoren also insgesamt im räumlichen Vergleich in dieselbe Richtung. Der Regressionskoeffizient β nimmt jedoch niedrigere Werte an als in Hamburg, eine Veränderung des z-Werts der Variablen auf der rechten Seiten der Gleichung um eine Standardabweichung geht also in Berlin mit einer geringeren Veränderung des z-Werts der Variablen auf der linken Seite einher.

Tabelle 22: Ergebnis der räumlichen Regressionsanalysen der z-standardisierten SES-Variablen für Berlin

	Baublockebene	1 x 1 km ² Raster	
	Mietspiegel~ Kaufspiegel	Haushaltseinkommen~ Kaufspiegel	Haushaltseinkommen~ Mietspiegel
β	0,484	0,301	0,234
Standardfehler	0,008	0,045	0,040
Signifikanz	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001
AIK räumliches Modell	21.708	1663	1672
AIK lineares Modell	26.325	2053	2027

5.1.3 Deutschland

Deutschlandweit verblieben nach der Baublockflächenkorrektur (vgl. Abschnitt 3.1.2) 1.866.984 Baublöcke, für die ein Miet- und Kaufspiegel vorlag. Nach dem Ausschluss aller Gemeinden mit $N < 10$ Baublöcken von der z-Transformation blieben 1.865.241 Baublöcke, von denen 276.777 keine Nachbarn hatten. Für die räumlichen Analysen konnten somit 1.590.207 Baublöcke verwendet werden. Auf der 1 x 1 km² Ebene existieren 145.854 Fälle, für die sowohl Kauf- und Mietspiegeldaten als auch Daten zum Haushaltseinkommen vorliegen. Von diesen haben 143.489 Zellen mindestens eine Nachbarin.

Die signifikanten, positiven Global Moran's I Werte in Tabelle 23 zeigen, dass die z-Werte der SES-Variablen auch deutschlandweit eher geclustert auftreten. Allerdings ist diese Tendenz auf der 1 x 1 km² Ebene weniger stark ausgeprägt als in den beiden Untersuchungsräumen Berlin und Hamburg – in Deutschland insgesamt liegen die Werte also weniger häufig in direkter Nachbarschaft zu sehr ähnlichen Werten als in den beiden Metropolen. Es gibt – relativ betrachtet – stärker ausgeprägte örtliche Unterschiede.

Auf Ebene der Baublöcke präsentiert sich ein anderes Bild – hier nimmt Global Moran's I einen signifikant positiven Wert nahe 1 ein, sowohl für den Miet- als auch den Kaufspiegel. Im Falle des Mietspiegels weist diese Statistik sogar einen Wert > 1 auf.

Tabelle 23: Global Moran's I / Statistik für Miet- und Kaufspiegel sowie Haushaltseinkommen für Deutschland

Ebene: Baublöcke	N (nur Polygone mit Nachbarn)	Global Moran's I	Signifikanz
Mietspiegel	1.590.207	1,068	p < 0,001
Kaufspiegel		0,892	p < 0,001
Ebene: 1 x 1 km²			
Mietspiegel	143.489	0,306	p < 0,001
Kaufspiegel		0,230	p < 0,001
Haushaltseinkommen		0,278	p < 0,001

Bei der Berechnung von räumlichen Regressionen für diese Daten stieß die an der TUHH verfügbare Hardware an kapazitive Grenzen, da R dem Arbeitsspeicher theoretisch Objekte von einer Größe bis zu 18,8 Terabyte hätte zuweisen müssen. Dies liegt unter anderem darin begründet, dass bei einer räumlichen Regression nicht nur das Verhältnis aller Variablenpaare zueinander betrachtet wird, sondern dabei auch der jeweilige Nachbarschaftsbezug jeder Variable zu jeder anderen zu berücksichtigen ist. Um dieses Problem zu umgehen, wäre in diesem Zusammenhang alternativ ein Arbeiten mit repräsentativen Stichproben oder die Unterteilung des Datensatzes in kleinere räumlich Einheiten denkbar. Dabei wäre dann auch näher zu untersuchen, wie sich diese Verfahren auf die Repräsentativität der Ergebnisse auswirken. Da die Zusammenhänge der SES-Indikatoren untereinander jedoch nicht zum primären Erkenntnisinteresse dieses Gutachtens gehören (vgl. Abschnitt 1.2), wurden diese Ansätze im Rahmen des vorliegenden Gutachtens nicht weiter verfolgt.

5.2 Feinstaubvariablen

5.2.1 Hamburg: 100 x 100 m² und 2 x 2 km²

Hamburg ist der einzige Untersuchungsraum, für den Daten zur Gesamtbelastung mit PM_{2.5} vorliegen. Anhand dieses Beispiels sollte daher untersucht werden, in welcher Relation die Daten zur Hintergrundbelastung des UBA auf 2 x 2 km² zu dem Werten des HZG für die Gesamtbelastung auf 100 x 100 m² stehen. Gemäß dem Prinzip des Aggregierens von Informationen auf die Ebene mit der jeweils geringeren räumlichen Auflösung (vgl. Abschnitt 3.2.2), wurde allen 2 x 2 km² Zellen im Stadtgebiet Hamburgs, die vollständig vom 100 x 100 m² Raster abgedeckt werden, ein flächengewichteter Mittelwert für die Gesamtbelastung zugewiesen. Teilweise abgedeckte Zellen des 2 x 2 km² Rasters wurden nur entsprechend ihres durch das HZG-Raster abgedeckten Anteils berücksichtigt. Tabelle 24 stellt die deskriptiven Statistiken für beide Variablen auf dieser Ebene gegenüber.

Tabelle 24: Deskriptive Statistiken für PM_{2.5} in µg/m³ auf 2 x 2 km² für Hamburg – Hintergrund- und Gesamtbelastung

	Fläche*	PM _{2.5} Hintergrundbelastung	PM _{2.5} Gesamtbelastung, aggregiert von 100 x 100 m²	Differenz Δ Gesamtbelastung – Hintergrundbelastung
Einheit	km²	µg/m³		
N	281			
Mittel	3,20	12,13	12,7	0,58
Median	3,58	12,26	12,1	0,66
Standardabweichung	0,88	1,22	1,47	1,34
Minimum	0,003	9,7	10,2	-2,08
Maximum	3,66	14,4	20,4	8,14

*Die Unterschiede in der lokalen Projektion des Hamburger Feinstaubrasters (Lambert Azimuthal Equal Area) und des Deutschlandrasters (Transverse Mercator) führen dazu, dass auch vollständige 2 x 2 km² Zellen bei einer Flächenberechnung nicht 4 km² umfassen.

Besonders der Maximalwert der (aggregierten) PM_{2.5}-Gesamtbelastung ist – wie zu erwarten – deutlich höher als jener für die Hintergrundbelastung. Auch die Differenzen der Variablenpaare, berechnet als $\Delta = \text{Gesamtbelastung} - \text{Hintergrundbelastung}$, zeigen an, dass die Werte für die Gesamtbelastung tendenziell höher sind. Da jedoch die Mittelwerte und Mediane relativ dicht beieinanderliegen und es sich hier um sachinhaltlich gleiche Variablen bei verbundenen Stichproben handelt, wurde ergänzend ein Test auf Gleichheit der Mittelwerte durchgeführt. Eine Normalverteilung beider Variablen liegt nach Kolmogorov-Smirnov nicht vor: für Gesamtbelastung $D(281)^{24} = 0,18$; für Hintergrundbelastung $D(281) = 0,08$, in beiden Fällen $p < 0,001$. Daher wurde der nicht-parametrische Test nach Wilcoxon verwendet. Dessen Ergebnis zeigt an, dass die beiden Variablen bezüglich ihres Mittelwerts nicht homogen verteilt sind ($Z = -6,80$, $p < 0,001$). In der Sache lässt sich dieses Ergebnis dahingehend interpretieren, dass die (aggregierten) Werte für die Gesamtbelastung im Durchschnitt signifikant höher sind als jene für die Hintergrundbelastung (Eckstein 2012).

Dennoch stellt sich die Frage, ob die Werte miteinander korrelieren. Global Moran's I für beide Feinstaubvariablen ist signifikant und das dementsprechend angewendete räumliche Regressionsmodell zeigt eine signifikant positive Korrelation der beiden Variablen (vgl. Tabelle 25 – die AIK-Werte bestätigen, dass es die Daten besser repräsentiert als ein einfaches lineares Modell). Eine Veränderung der Hintergrundbelastung auf 2 x 2 km² um 1 µg/m³ entspricht also im Durchschnitt einer Veränderung der Gesamtbelastung auf 100 x 100 m² um 0,65 µg/m³ in die jeweils gleiche Richtung. Das bedeutet, dass Haushalte in Hamburg, an deren Wohnort nach den für dieses Gutachten verwendeten Daten eine höhere Hintergrundbelastung der Außenluft auftritt, generell auch einer höheren Gesamtbelastung ausgesetzt sind.

²⁴ D bezeichnet die Kolmogorov-Smirnov Teststatistik, die Zahl in Klammern gibt die statistischen Freiheitsgrade an.

Tabelle 25: Ergebnis der räumlich-statistischen Analysen der Feinstaubvariablen für Hamburg auf Ebene des 2 x 2 km² Rasters

	räumliche Autokorrelation		räumliche Regression	
	PM _{2,5} Gesamtbelastung aggregiert von 100 x 100m ²	PM _{2,5} Hintergrundbelastung auf 2 x 2km ²		PM _{2,5} Gesamtbelastung ~ Hintergrundbelastung
Global Moran's I	0,781	0,915	β	0,648
Signifikanz	p < 0,001	p < 0,001	Standardfehler	0,131
			Signifikanz	p < 0,001
			AIK räumliches Modell	624
			AIK lineares Modell	932

Diese Ergebnisse gelten für Hamburg. Es sollte aber auf Grund der sehr unterschiedlichen Belastungssituationen außerhalb einer Großstadt nicht notwendigerweise davon ausgegangen werden, dass sie sich bei einem (hier auf Grund der Datenverfügbarkeit nicht möglichen) deutschlandweiten Vergleich genauso darstellen würden.

5.2.2 Berlin: 500 x 500 m² und 2 x 2 km²

Da die Daten für die Hintergrundbelastung in Berlin für zwei unterschiedliche räumliche Auflösungen vorliegen (die auch aus unterschiedlichen Modellierungsverfahren stammen, vgl. Tabelle 68 und Tabelle 69), sollte untersucht werden, inwiefern die jeweiligen Darstellungen der Belastungssituationen miteinander korrespondieren.

Auf Ebene der für 2 x 2 km² berechneten PM_{2,5} Hintergrundbelastung wird Berlin von 245 Zellen abgedeckt, deren Zentroide innerhalb der Landesgrenzen liegen. Diesen Zellen wurden flächengewichtete Mittelwerte der PM_{2,5} Hintergrundbelastung zugewiesen, die im Rahmen der Modellrechnungen der SENUVK für ein 500 x 500 m² Raster quantifiziert wurde. Tabelle 26 stellt die deskriptiven Statistiken gegenüber. Interessanterweise weichen in diesem Fall Mittelwerte und Mediane stärker voneinander ab als im Falle Hamburgs bei einer geringeren Differenz der Maximalwerte. Die Zusammenfassung der Differenzen der Wertepaare zeigt, dass die Werte des UBA-Datensatzes ohne Ausnahme höher liegen als die der SENUVK-Belastungsdaten. Dies deutet auf einen systemischen Unterschied bei der Modellierung hin.

Ein Vergleich der Mittelwerte bestätigt diese Beobachtung. Auch für Berlin weisen die Belastungsvariablen nach Kolmogorov-Smirnov keine Normalverteilung auf: für PM_{2,5} nach UBA $D(245) = 0,11$ mit $p < 0,001$; für PM_{2,5} nach SENUVK $D(245) = 0,08$ mit $p = 0,001$. Der Wilcoxon-Test zeigt, dass auch diese beiden Variablen bezüglich ihres Mittelwerts nicht homogen verteilt sind ($Z = -13,57$, $p < 0,001$). Die Werte für die PM_{2,5} Hintergrundbelastung auf 2 x 2 km² sind im Durchschnitt signifikant höher als die (aggregierten) Werte für 500 x 500 m².

Tabelle 26: Deskriptive Statistiken der Feinstaubvariablen für Berlin auf Ebene des 2 x 2 km² Rasters

	Fläche	PM _{2,5} Hintergrund aggregiert von 500 x 500 m ²	PM _{2,5} Hintergrund auf 2 x 2 km ²	Differenz Δ Daten UBA – Daten SENUVK
	km ²	µg/m ³		
N	245			
Mittelwert	3,69	13,21	14,60	1,42
Median	3,69	13,24	14,70	1,42
SD	0,02	1,04	1,23	0,35
Minimum	3,65	11,36	12,10	0,29
Maximum	3,75	15,04	16,70	2,16

*Die Unterschiede zur theoretischen Fläche von 4 km² für das 2 x 2 km² Raster sind in diesem Fall geringer als für die Daten für Hamburg (vgl. Tabelle 24), da alle 2 x 2 km²-Zellen komplett von den Daten in höherer Auflösung abgedeckt sind und somit keine dieser Flächen nur anteilig in die Berechnung einging. Verbleibende Abweichungen resultieren aus der Datenprojektion.

Auch für diese Daten wurde eine räumliche Regression gerechnet, da sie signifikante räumliche Autokorrelation aufweisen (Tabelle 27). Die Variablen korrelieren signifikant miteinander: eine Veränderung der Hintergrundbelastung auf 2 x 2 km² um 1 µg/m³ korrespondiert mit einer Veränderung um 0,69 µg/m³ der (aggregierte) Hintergrundbelastung auf 500 x 500 m². Auch diese beiden Variablen weisen in ihrer relativen Darstellung von Belastungssituationen also in die gleiche Richtung und der quantitative Zusammenhang ist ähnlich dem in Hamburg, obwohl in diesem Falle nur Hintergrundbelastungen verglichen wurden.

Tabelle 27: Ergebnis der räumlich-statistischen Analysen von Feinstaubvariablen für Berlin auf 2 x 2 km² Ebene

	räumliche Autokorrelation		räumliche Regression	
	PM _{2.5} Hintergrundbelastung (aggregiert von 500 x 500 m ²)	PM _{2.5} Hintergrundbelastung (2 x 2 km ²)		PM _{2.5} Hintergrundbelastung: von 500 x 500 m ² ~ 2 x 2 km ²
Global Moran's I	0,901	0,855	β	0,688
Signifikanz	p < 0,001	p < 0,001	Standardfehler	0,030
			Signifikanz	p < 0,001
			AIK räumliches Modell	-216
			AIK lineares Modell	52

5.3 Vergleichende Betrachtung der Zusammenhänge für die Untersuchungs- räume Hamburg und Berlin

Tabelle 28 fasst die Ergebnisse zur Korrelation zwischen den jeweiligen Indikatoren innerhalb der beiden Untersuchungsdomänen – SES und Feinstaubbelastung – zusammen.

Tabelle 28: Korrelationen der Variablen innerhalb der Domänen SES und Feinstaubbelastung

untersuchte Korrelation	räumliche Ebene	Hamburg		Berlin	
		β	Signifikanz	β	Signifikanz
Mietspiegel~ Kaufspiegel	Baublöcke	0,452	$p < 0,001$	0,484	$p < 0,001$
Haushaltseinkommen~Mietspiegel	1 x 1 km ²	0,526	$p < 0,001$	0,234	$p < 0,001$
Haushaltseinkommen~Kaufspiegel		0,440	$p < 0,001$	0,301	$p < 0,001$
PM _{2.5} *: 100 x 100 m ² ~2 x 2 km	2 x 2 km ²	0,648	$p < 0,001$	-	-
PM _{2.5} *: 500 x 500 m ² ~2 x 2 km		-	-	0,688	$p < 0,001$

* jeweils aggregiert auf die Ebene mit geringerer Auflösung

SES

Insgesamt ist erkennbar, dass die Variablen innerhalb der Domänen alle signifikant positiv miteinander korrelieren, sowohl in Hamburg als auch in Berlin. Wie in Abschnitt 3.4.3 erläutert, lässt sich im Rahmen einer räumlichen Regression kein Maß für die Effektgröße berechnen, das Äquivalent zum Korrelationskoeffizienten r^2 interpretierbar wäre. Allerdings kann der Regressionskoeffizient β genutzt werden, um den Einfluss der jeweils rechten auf die jeweils linke Variable zu beschreiben. Bei den SES-Variablen ist dieser Zusammenhang in Hamburg insgesamt stärker ausgeprägt als in Berlin und ist im Verhältnis zwischen Mietspiegel und Haushaltseinkommen am größten, wogegen er in Berlin bei diesem Variablenpaar am niedrigsten ist. Dies könnte theoretisch damit zusammenhängen, dass die insgesamt geringeren Quadratmeterpreise von Wohnungen in Berlin einen weniger starken ‚Einfluss‘ auf das Einkommen der in ihnen lebenden Haushalte haben. Allerdings ist in Berlin auch das Haushaltseinkommen im Durchschnitt niedriger als in Hamburg (vgl. Abschnitt 4.1.1).

Feinstaub

Bei den jeweiligen Feinstaubvariablen ist Regressionskoeffizient β in beiden Städten relativ ähnlich. Dies mag zunächst überraschend erscheinen, da der Vergleich in Hamburg die modellierten Werte für die lokale Gesamtbelastung betrachtet, wohingegen die Daten für Berlin für das 500 x 500 m² Raster wie auch die 2 x 2 km² Daten lediglich die Hintergrundbelastung abbilden. Allerdings hat die räumliche Aggregation der Daten für Hamburg für 100 x 100 m² auf 2 x 2 km² die zunächst große Spreizung der lokalen Belastungsdaten (vgl. Abschnitt 3.2) – erwartungsgemäß – stark verringert. Die ursprüngliche Standardabweichung von 3,32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ fiel auf 1,47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabelle 16 bzw. Tabelle 24) während die der Berliner 500 x 500 m² Daten durch die Aggregation nur sehr geringfügig sank – von ursprünglich 1,06 auf 1,04 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Abschnitte 4.1.2 und 5.2.2). Damit wird die Ähnlichkeit der Regressionskoeffizienten in der Domäne Feinstaub zwischen beiden Städten wieder plausibel.

Die Analyseergebnisse aus Abschnitt 5.2 deuten darauf hin, dass die Daten zur $\text{PM}_{2.5}$ -Hintergrundbelastung für eine vergleichende Betrachtung der Belastung verschiedener Bevölkerungsgruppen in äquivalenten Räumen prinzipiell auch geeignet sein könnten, nicht jedoch für kleinräumigere Analysen wie in diesem Sachverständigengutachten. Für eine Berechnung der Krankheitslast anhand von absoluten Belastungswerten sind sie außerdem nur bedingt einsetzbar, da sie diese als zu niedrig ausweisen.

6 Differenzierung der sozioökonomischen Merkmale nach Feinstaubbelastung – explorative Betrachtung

Im diesem Kapitel wird die Ausprägung der drei SES-Indikatoren (Miet- und Kaufspiegel, Haushaltseinkommen) für jeden $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Abschnitt der Wertespanne der Feinstaubbelastung im jeweiligen Betrachtungsraum dargestellt. Ziel ist es, einen deskriptiven Überblick darüber zu vermitteln, wo in dieser Hinsicht Unterschiede zu beobachten sind und ob sich dabei auch generelle Trends feststellen lassen. Dargestellt werden jeweils die deskriptiven Statistiken für Miet- und Kaufspiegel (Baublockebene) sowie das jährliche Nettoeinkommen der Haushalte ($1 \times 1 \text{ km}^2$), zusammengefasst nach $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schritten der Feinstaubbelastung (im Folgenden: Belastungsgruppen). Die jeweils betroffene Bevölkerungsanzahl ist ebenfalls angegeben. Dabei ist zu beachten, dass die gezeigten Gesamtsummen für die Bevölkerung auf Grund der Baublockflächenkorrektur (vgl. Abschnitt 3.1.2) sowie den Schritten zur räumlichen Aggregation der Daten (Abschnitt 3.2.2 und 4.3.2) nicht mehr den tatsächlichen Bevölkerungszahlen für die Betrachtungsräume entsprechen. Sie bilden stattdessen die in der Analyse verbliebenen Grundgesamtheiten ab. Für die gleiche räumliche Betrachtungsebene – z. B. Baublöcke in Hamburg – sind die Bevölkerungszahlen innerhalb der Belastungsgruppen der SES-Indikatoren jeweils gleich. Sie sind im Interesse der Lesbarkeit dennoch in jeder Tabelle mit angegeben.

6.1 Hamburg

In den folgenden Tabellen sind nur die $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schritte dargestellt, die in den modellierten Feinstaubbelastungen tatsächlich vorkommen. So enthalten die Belastungsdaten z. B. keine Werte zwischen $>28 \mu\text{g}$ und $32 \mu\text{g PM}_{2.5}/\text{m}^3$.

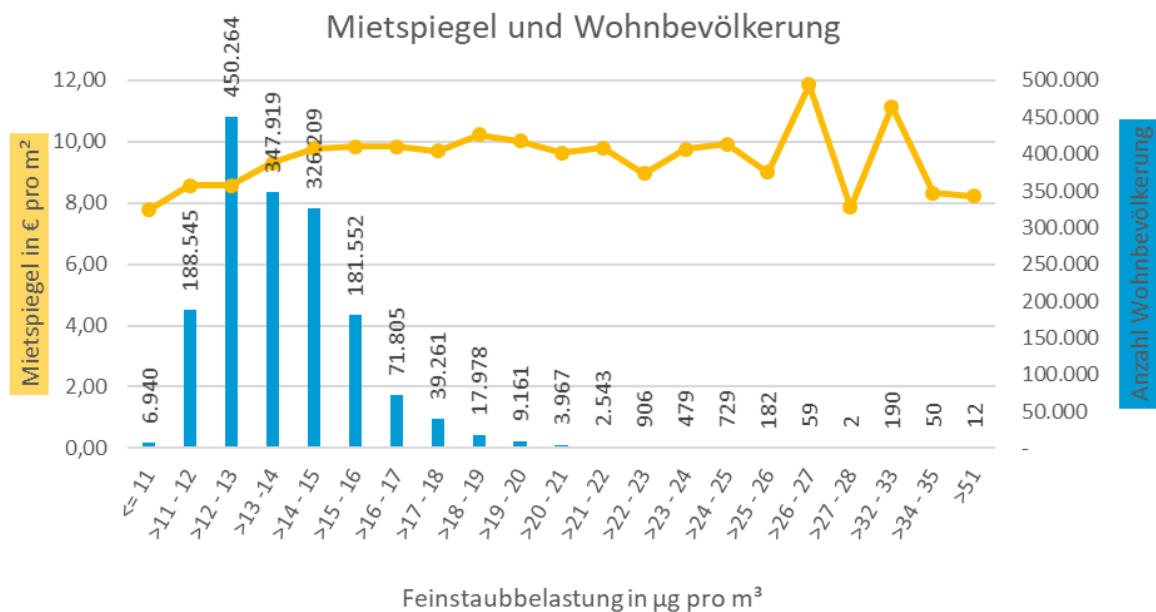
Mit 90,6% findet sich der weitaus größte Teil der Hamburger Wohnbevölkerung in Baublöcken mit einer $\text{PM}_{2.5}$ Belastung zwischen $>11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tabelle 29). Die Mittelwerte des Mietspiegels folgen in den unteren Belastungsgruppen einem aufsteigenden Trend. Dieser setzt sich zwar am oberen Ende der Belastungsskala nicht fort, das betrifft aber ab Werten $>19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nur noch weniger als 2% der betrachteten Bevölkerung. Gleiches gilt für die Kaufspiegeldaten.

Tabelle 29: Hamburger Mietspiegeldaten in €/m² auf Baublockebene zusammengefasst nach µg/m³-Schritten der Feinstaubbelastung

Feinstaub- belastungs- klasse (in µg/m ³)	Werte in € pro Quadratmeter				N = Anzahl Baublücke	Wohnbevölkerung	
	Mittelwert	Standardab- weichung ²⁵	Minimum	Maximum		Anzahl	Prozent
≤ 11	7,78	0,42	6,83	8,70	63	6.940	0,4
>11 - 12	8,56	0,92	5,70	13,00	1.554	188.545	11,4
>12 - 13	8,58	1,27	5,35	14,09	3.139	450.264	27,3
>13 - 14	9,31	1,59	5,54	14,58	1.969	347.919	21,1
>14 - 15	9,78	1,61	5,54	15,13	1.573	326.209	19,8
>15 - 16	9,84	1,55	5,60	14,41	824	181.552	11,0
>16 - 17	9,84	1,40	6,42	15,22	382	71.805	4,4
>17 - 18	9,71	1,41	6,28	13,13	228	39.261	2,4
>18 - 19	10,22	1,39	7,10	13,25	114	17.978	1,1
>19 - 20	10,03	1,58	6,79	12,41	69	9.161	0,6
>20 - 21	9,64	1,35	7,59	12,26	40	3.967	0,2
>21 - 22	9,80	1,45	7,76	12,82	27	2.543	0,2
>22 - 23	8,96	1,00	8,18	10,67	8	906	0,1
>23 - 24	9,76	1,40	7,40	11,84	10	479	0,0
>24 - 25	9,92	1,26	8,62	12,03	5	729	0,0
>25 - 26	9,00	1,27	7,54	9,89	3	182	0,0
>26 - 27	11,86	-	11,86	11,86	1	59	0,0
>27 - 28	7,86	-	7,86	7,86	1	2	0,0
>32 - 33	11,14	-	11,14	11,14	1	190	0,0
>34 - 35	8,33	-	8,33	8,33	1	50	0,0
>51	8,22	-	8,22	8,22	1	12	0,0

²⁵ Die Standardabweichung kann für Datensätze mit N=1 nicht errechnet werden.

Abbildung 32: Mittelwerte des Mietspiegels in €/m² auf Baublockebene sowie Anzahl der Wohnbevölkerung je µg-Schritt der Feinstaubbelastung in Hamburg (Mittelwert gesamt = 9,12 €/m²)



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

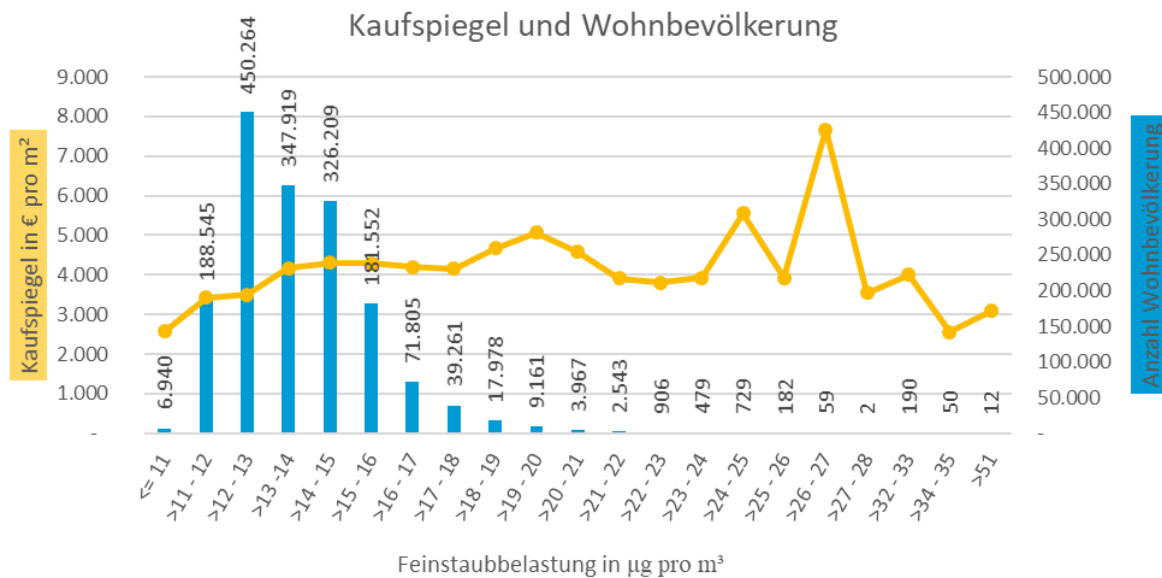
Die Zuordnung der Wohnbevölkerung zu den Belastungsgruppen des Kaufspiegels in Tabelle 30 entspricht derjenigen in Tabelle 29. Die Entwicklung des SES-Indikators entlang der Feinstaubbelastungsgruppen ist mit einer leichten Steigung des Mietspiegels vergleichbar – lediglich am oberen Ende der Skala ab >19 µg/m³ lassen sich zum Teil Unterschiede erkennen. In diesen Belastungsgruppen sind jedoch wie zuvor nur noch unter 2% der Bevölkerung zu finden.

Tabelle 30: Hamburger Kaufspiegeldaten in €/m² auf Baublockebene zusammengefasst nach µg/m³-Schritten der Feinstaubbelastung

Feinstaub- belastungs- klasse (in µg/m ³)	Werte in € pro Quadratmeter				N = Anzahl Baublöcke	Wohnbevölkerung	
	Mittelwert	Standard-ab- weichung ²⁶	Minimum	Maximum		Anzahl	Prozent
≤ 11	2.578	688	385	4.145	63	6.940	0,4
>11 - 12	3.425	1.403	605	11.886	1.554	188.545	11,4
>12 - 13	3.501	1.900	396	17.357	3.139	450.264	27,3
>13 - 14	4.165	2.601	647	34.496	1.969	347.919	21,1
>14 - 15	4.306	2.380	511	22.131	1.573	326.209	19,8
>15 - 16	4.290	2.234	1.063	27.607	824	181.552	11,0
>16 - 17	4.193	1.946	595	13.283	382	71.805	4,4
>17 - 18	4.158	2.081	1.206	12.724	228	39.261	2,4
>18 - 19	4.673	1.820	1.454	9.597	114	17.978	1,1
>19 - 20	5.062	3.069	1.618	15.674	69	9.161	0,6
>20 - 21	4.586	2.374	1.756	12.497	40	3.967	0,2
>21 - 22	3.911	2.031	1.700	11.183	27	2.543	0,2
>22 - 23	3.809	1.483	2.730	7.188	8	906	0,1
>23 - 24	3.933	2.146	1.368	8.496	10	479	0,0
>24 - 25	5.555	4.105	3.134	12.839	5	729	0,0
>25 - 26	3.931	2.086	2.470	6.320	3	182	0,0
>26 - 27	7.670	-	7.670	7.670	1	59	0,0
>27 - 28	3.543	-	3.543	3.543	1	2	0,0
>32 - 33	4.006	-	4.006	4.006	1	190	0,0
>34 - 35	2.558	-	2.558	2.558	1	50	0,0
>51	3.092	-	3.092	3.092	1	12	0,0

²⁶ Die Standardabweichung kann für Datensätze mit N=1 nicht errechnet werden

Abbildung 33: Mittelwerte des Kaufspiegels in €/m² auf Baublockebene sowie Anzahl der Wohnbevölkerung je µg-Schritt der Feinstaubbelastung in Hamburg (Mittelwert gesamt = 3.879 €/m²)



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Für sowohl den Miet- als auch den Kaufspiegel stellt sich der Zusammenhang zwischen der Belastung und dem SES-Indikator in Hamburg somit anders dar, als es im Rahmen von Umweltgerechtigkeitsuntersuchungen häufig der Fall ist (Bolte et al. 2012).

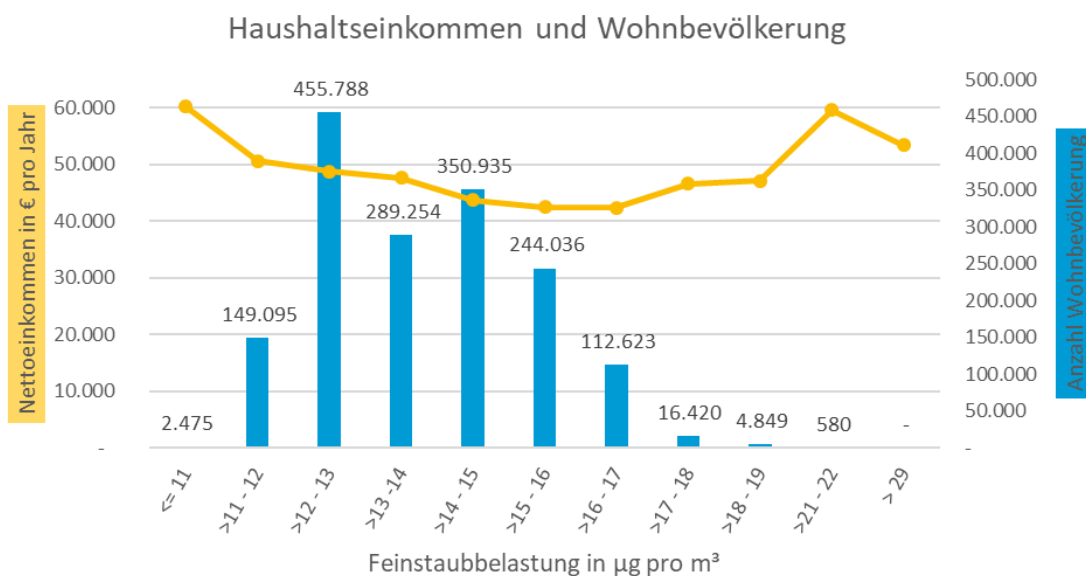
Durch das Aggregieren der Feinstaubdaten auf das 1 x 1 km² Raster des Haushaltseinkommens entfallen die Extremwerte am oberen Ende und die verbleibende Belastungsskala weist daher eine geringere Spreizung auf als auf der Baublockebene und es leben nur wenige Menschen in den Belastungsbereichen am oberen und unteren Ende dieser Skala (Tabelle 31). Gleichzeitig finden sich dort die höchsten Werte für das Haushaltseinkommen. Abgesehen von den vier oberen Belastungsgruppen mit weniger als 1,4% der Bevölkerung zeigt sich bei diesem SES-Indikator jedoch ein anderer Trend als für Miet- und Kaufspiegel: das durchschnittliche Haushaltseinkommen sinkt mit steigender Belastung.

Tabelle 31: Daten für Hamburg zum Haushaltseinkommen in €/Jahr auf 1 x 1 km² zusammengefasst nach µg/m³-Schritten der Feinstaubbelastung

Feinstaubbelastungs- klasse (in µg/m ³)	Werte in € pro Quadratmeter				N = Anzahl Baublöcke	Wohnbevölkerung	
	Mittelwert	Standard-ab- weichung ²⁷	Minimum	Maximum		Anzahl	Prozent
≤ 11	60.165	11.833	48.704	79.668	5	2.475	0,2
>11 - 12	50.598	6.536	32.059	66.859	105	149.095	9,2
>12 - 13	48.803	7.616	31.843	78.522	189	455.788	28,0
>13 - 14	47.668	9.557	32.213	76.643	95	289.254	17,8
>14 - 15	43.742	8.961	30.480	74.453	68	350.935	21,6
>15 - 16	42.481	9.763	29.480	72.111	39	244.036	15,0
>16 - 17	42.343	6.536	34.443	57.335	22	112.623	6,9
>17 - 18	46.588	10.326	36.419	64.835	7	16.420	1,0
>18 - 19	47.178	6.199	37.732	53.703	5	4.849	0,3
>21 - 22	59.588	-	59.588	59.588	1	580	0,0
>29	53.395	-	53.395	53.395	keine An- gaben	keine Angaben	-

Anmerkung: Der Datensatz enthält aus Datenschutzgründen keine Angaben zur Anzahl der Wohnbevölkerung in der Rasterzelle mit der höchsten Feinstaubbelastung von >29 µg /m³.

Abbildung 34: Mittelwerte des Haushaltseinkommens in €/Jahr auf 1 x 1km² sowie Anzahl der Wohnbevölkerung je µg/m³-Schritt der Feinstaubbelastung in Hamburg (Mittelwert gesamt = 47.418 €/Jahr)



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

²⁷ Die Standardabweichung kann für Datensätze mit N=1 nicht errechnet werden.

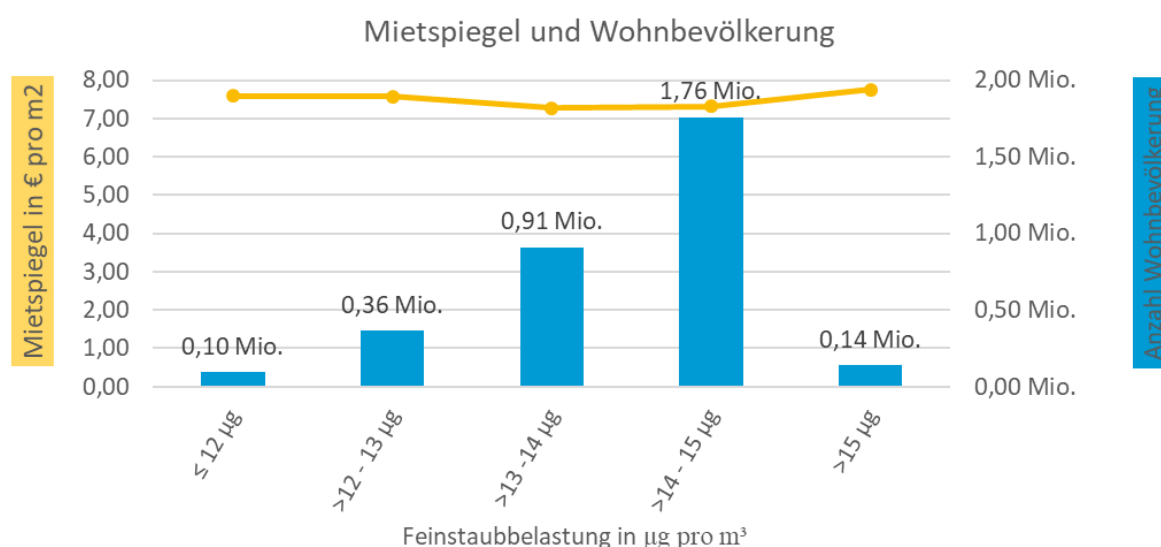
6.2 Berlin

Auf Grund der Verwendung von Daten zur Hintergrund- und nicht Gesamtbelastung, fällt für Berlin die Anzahl der Feinstaubbelastungsgruppen mit fünf deutlich geringer aus als für Hamburg (gleiches gilt für den Betrachtungsraum Deutschland, siehe folgender Abschnitt). Über die Hälfte der Wohnbevölkerung in Berlin lebt in Bereichen mit einer $PM_{2,5}$ -Hintergrundbelastung von $>14-15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Anders als in Hamburg sinken die Mittelwerte des Mietspiegels (auf Ebene der $500 \times 500 \text{ m}^2$ Rasterzellen für die Feinstaubhintergrundbelastung) mit steigender Feinstaubbelastung in den ersten drei Belastungsgruppen, steigen in der vierten – und größten – Gruppe dann aber zunächst leicht und in der fünften deutlich über den Wert der am geringsten belasteten dritten Gruppe (Tabelle 32 und Abbildung 35).

Tabelle 32: Berliner Mietspiegeldaten in €/m² auf $500 \times 500 \text{ m}^2$ zusammengefasst nach $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schritten der Feinstaubhintergrundbelastung

Feinstaubbelastungs- klasse (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Werte in € pro Quadratmeter				N = Anzahl Rasterzellen	Wohnbevölkerung	
	Mittelwert	Standard-ab- weichung	Minimum	Maximum		Anzahl	Prozent
≤ 12	7,59	0,73	5,51	10,40	255	95.264	2,9
$>12 - 13$	7,58	1,02	5,09	10,24	629	362.655	11,1
$>13 - 14$	7,28	0,88	5,34	10,38	856	909.891	27,8
$>14 - 15$	7,33	0,83	5,23	10,86	915	1.758.896	53,8
>15	7,75	0,97	6,05	9,84	47	140.833	4,3

Abbildung 35: Mittelwerte des Mietspiegels in €/m² auf $500 \times 500 \text{ m}^2$ sowie Anzahl der Wohnbevölkerung je $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schritt der Feinstaubhintergrundbelastung in Berlin (Mittelwert gesamt = 7,53 €/m²)



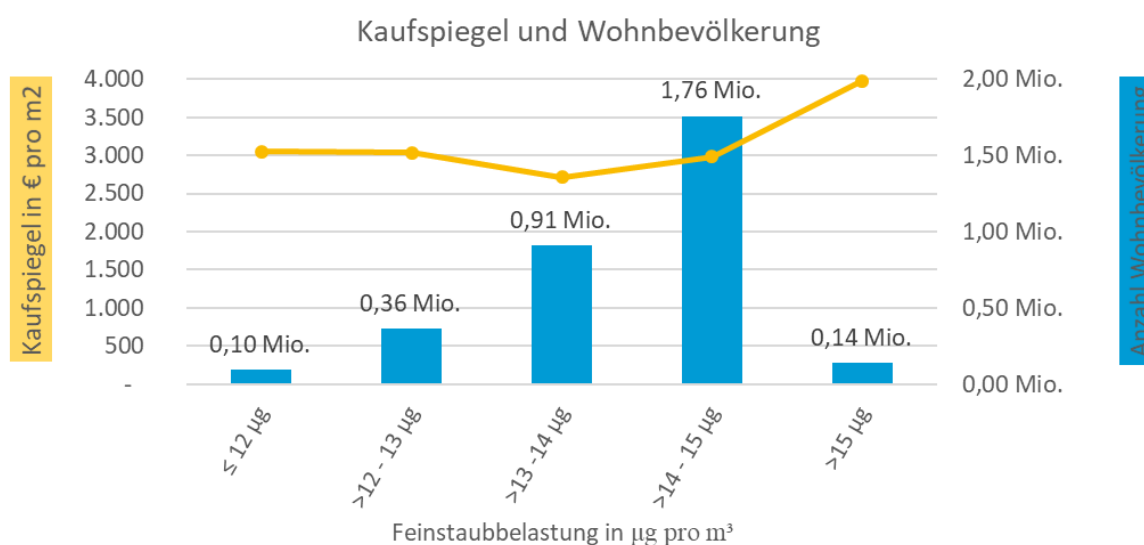
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Die Entwicklung der mittleren Kaufspiegelwerte in den Belastungsgruppen entlang der Belastungsskala verläuft für Berlin sehr ähnlich wie beim Mietspiegel. Lediglich der Anstieg in der fünften Belastungsgruppe ist bei diesem SES-Indikator noch ausgeprägter (Tabelle 33 und Abbildung 36).

Tabelle 33: Berliner Kaufspiegeldaten in €/m² auf 500 x 500 m² zusammengefasst nach µg/m³-Schritten der Feinstaubhintergrundbelastung

Feinstaubbelastungs- klasse (in µg/m ³)	Werte in € pro Quadratmeter				N = Anzahl Rasterzellen	Wohnbevölkerung	
	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum		Anzahl	Prozent
≤ 12	3.050	1.172	906	9.468	255	95.264	2,9
>12 - 13	3.039	1.528	942	10.815	629	362.655	11,1
>13 -14	2.712	1.294	686	10.023	856	909.891	27,8
>14 - 15	2.987	1.263	544	8.273	915	1.758.896	53,8
>15	3.979	1.515	1.302	6.756	47	140.833	4,3

Abbildung 36: Mittelwerte des Kaufspiegels in €/m² auf 500 x 500 m² sowie Anzahl der Wohnbevölkerung je µg/m³-Schritt der Feinstaubhintergrundbelastung in Berlin (Mittelwert gesamt = 3.065 €/m²)



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

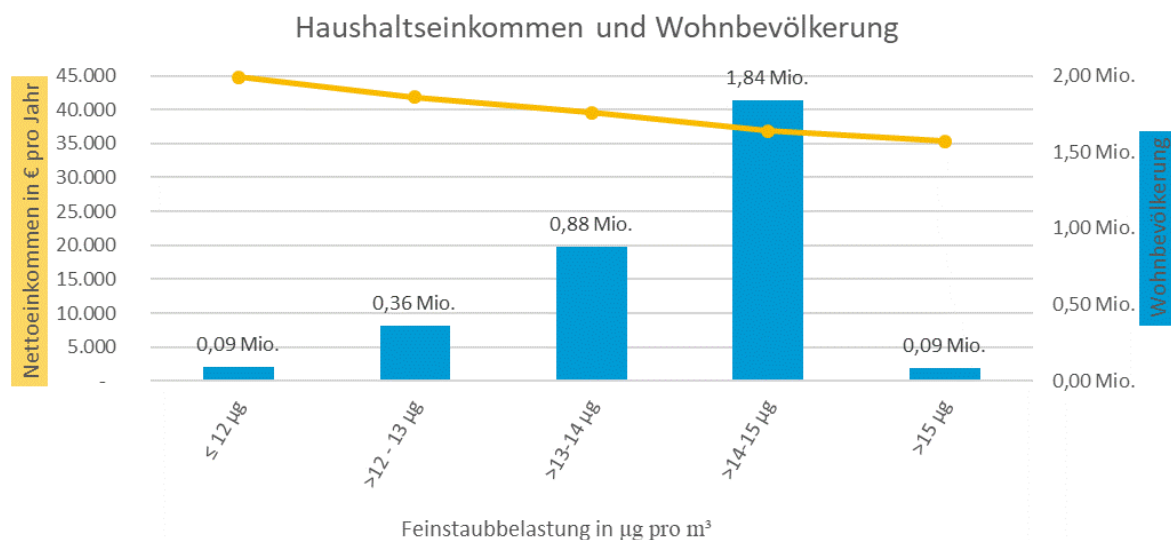
Im Gegensatz zu allen anderen bisher betrachteten Fällen zeigt das durchschnittliche Haushaltseinkommen in Berlin einen kontinuierlich sinkenden Trend entlang der Feinstaubbelastungsgruppen (Tabelle 34 und Abbildung 37). Im Kontext der für die Menschen in der höchsten Belastungsgruppe andererseits offenbar vorherrschenden besonders hohen Kosten für Wohnraum ist dieser Umstand bemerkenswert (siehe hierzu auch Schlussfolgerungen in Abschnitt 8.1).

Tabelle 34: Daten für Berlin zum Haushaltseinkommen in €/Jahr auf 1 x 1 km² zusammengefasst nach µg/m³-Schritten der Feinstaubhintergrundbelastung

Feinstaubbelastungs- klasse (in µg/m ³)	Werte in € pro Monat				N = Anzahl Rasterzellen	Wohnbevölkerung	
	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum		Anzahl	Prozent
≤ 12	44.823	29.098	68.376	7.335	85	93.582	2,9
>12 - 13	41.848	26.700	66.938	7.882	192	362.725	11,1
>13 -14	39.551	24.896	69.865	5.857	230	880.350	27,0
>14 - 15	36.875	25.450	53.795	4.355	258	1.835.817	56,3
>15	35.375	31.587	41.185	4.004	6	86.665	2,7

In den Summen für die Wohnbevölkerung in der letzten Spalte sind nur diejenigen Rasterzellen berücksichtigt, für die auch Informationen zum Nettoeinkommen vorliegen.

Abbildung 37: Mittelwerte des Haushaltseinkommens in €/Jahr auf 1 x 1 km² sowie Anzahl der Wohnbevölkerung je µg/m³-Schritt der Feinstaubhintergrundbelastung in Berlin (Mittelwert gesamt = 39.776 €/Jahr)



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

6.3 Deutschland

Tabelle 35 bis Tabelle 37 sowie Abbildung 38 fassen die z-Werte der sozioökonomischen Variablen nach $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schritten der Feinstaubbelastung für ganz Deutschland zusammen. Die grafische Darstellung wurde in diesem Fall in einem Diagramm zusammengefasst, da für alle drei SES-Indikatoren nur eine Skala benötigt wird. Die Anzahl der jeweils betroffenen Wohnbevölkerung ist im Diagramm ebenfalls dargestellt.

Die z-Werte sind als durchschnittliche Abweichung des SES-Indikators vom Mittelwert der jeweiligen Gemeinde in Einheiten der entsprechenden Standardabweichung zu lesen (vgl. Abschnitt 3.4.2). In den fünf (von insgesamt 11) Belastungsgruppen von > 9 bis $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ leben 82,7% der Wohnbevölkerung.

Tabelle 35: z-Werte der Mietspiegeldaten in $\text{€}/\text{m}^2$ für Deutschland auf $2 \times 2 \text{ km}^2$ zusammengefasst nach $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schritten der Feinstaubhintergrundbelastung

Feinstaubbelastungs- klasse (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Werte in € pro Quadratmeter				N = Anzahl Rasterzellen	Wohnbevölkerung	
	Mittelwert	Standard- abweichung	Minimum	Maximum		Anzahl	Prozent
≤ 7	-0,11	0,53	-5,66	2,11	743	94.181	0,1
$> 7 - 8$	-0,04	0,60	-6,09	6,81	3.761	1.270.824	1,6
$> 8 - 9$	0,00	0,58	-6,50	6,81	12.165	5.164.966	6,6
$> 9 - 10$	-0,01	0,60	-5,35	7,20	23.052	10.730.047	13,7
$> 10 - 11$	-0,01	0,61	-5,84	5,94	30.333	16.882.269	21,5
$> 11 - 12$	0,00	0,63	-4,62	7,20	16.830	16.730.634	21,3
$> 12 - 13$	-0,04	0,66	-4,15	3,30	5.437	12.099.349	15,4
$> 13 - 14$	-0,08	0,69	-3,67	3,41	1.260	8.495.713	10,8
$> 14 - 15$	-0,17	0,71	-2,20	2,30	379	3.879.437	4,9
$> 15 - 16$	-0,29	0,79	-2,04	2,13	130	2.086.439	2,7
> 16	-0,28	0,90	-2,06	2,34	36	1.021.550	1,3

Tabelle 36: z-Werte der Kaufspiegeldaten in €/m² für Deutschland auf 2 x 2 km², zusammengefasst nach µg/m³-Schritten der Feinstaubhintergrundbelastung

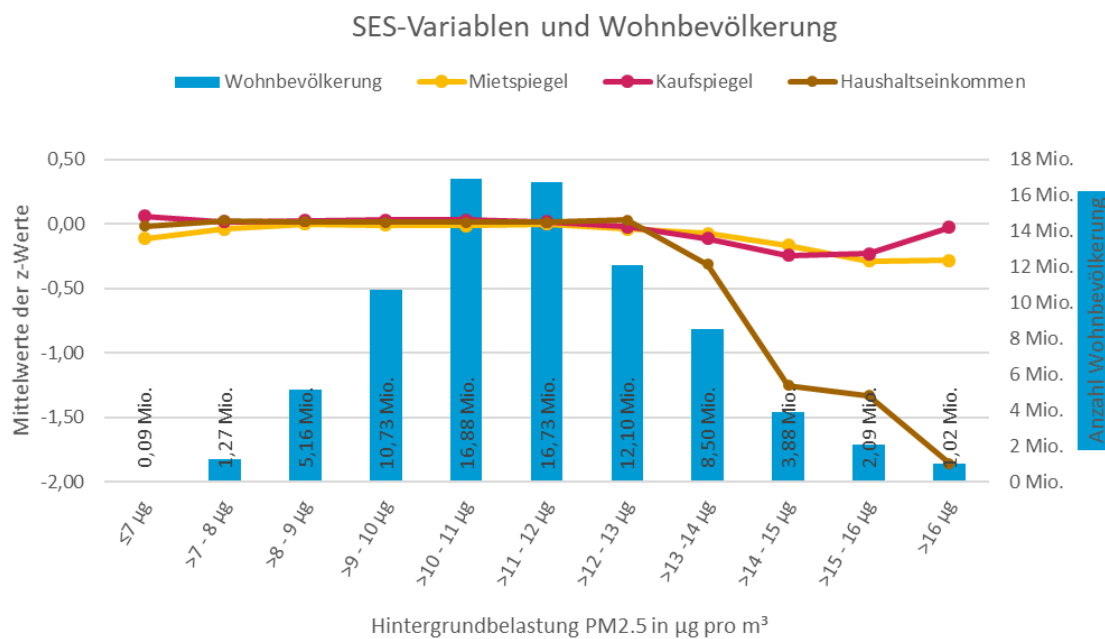
Feinstaub-belastungs-klasse (in µg/m ³)	Werte in € pro Quadratmeter				N = Anzahl Rasterzellen	Wohnbevölkerung	
	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	Maximum		Anzahl	Prozent
≤ 7	0,06	0,55	-2,48	6,12	743	94.181	0,1
>7 - 8	0,01	0,53	-4,11	5,42	3.761	1.270.824	1,6
> 8 - 9	0,02	0,62	-3,89	11,17	12.165	5.164.966	6,6
> 9 - 10	0,03	0,60	-2,98	15,27	23.052	10.730.047	13,7
> 10 - 11	0,03	0,61	-3,45	12,92	30.333	16.882.269	21,5
>11 - 12	0,02	0,63	-3,24	13,50	16.830	16.730.634	21,3
>12 - 13	-0,02	0,59	-2,93	8,34	5.437	12.099.349	15,4
>13 -14	-0,11	0,57	-1,84	5,06	1.260	8.495.713	10,8
>14 - 15	-0,25	0,52	-1,36	3,95	379	3.879.437	4,9
>15 - 16	-0,23	0,61	-1,34	1,79	130	2.086.439	2,7
>16	-0,03	0,83	-1,41	1,88	36	1.021.550	1,3

Tabelle 37: z-Werte der Daten zum Haushaltseinkommen in €/Jahr für Deutschland auf 2 x 2 km², zusammengefasst nach µg/m³-Schritten der Feinstaubhintergrundbelastung

Feinstaub-belastungs-klasse (in µg/m ³)	Werte in € pro Quadratmeter				N = Anzahl Rasterzellen	Wohnbevölkerung	
	Mittelwert	Standard-abweichung	Minimum	Maximum		Anzahl	Prozent
≤ 7	-0,02	0,83	-5,08	5,27	743	94.181	0,1
>7 - 8	0,02	1,14	-6,50	6,04	3.761	1.270.824	1,6
>8 - 9	0,01	1,17	-7,58	6,92	12.165	5.164.966	6,6
>9 - 10	0,01	1,25	-7,97	7,48	23.052	10.730.047	13,7
>10 - 11	0,01	1,28	-7,12	7,26	30.333	16.882.269	21,5
>11 - 12	0,01	1,41	-7,44	9,43	16.830	16.730.634	21,3
>12 - 13	0,03	1,64	-7,17	9,99	5.437	12.099.349	15,4
>13 -14	-0,31	2,13	-6,64	12,41	1.260	8.495.713	10,8
>14 - 15	-1,25	2,03	-5,87	8,23	379	3.879.437	4,9
>15 - 16	-1,33	1,99	-5,47	5,74	130	2.086.439	2,7
>16	-1,86	1,43	-4,20	1,04	36	1.021.550	1,3

In den unteren Belastungsgruppen weichen die z-Werte im Durchschnitt nur wenig vom Mittel der jeweiligen Gemeinden ab. Dies ändert sich ab der Gruppe mit Belastungswerten >13-14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ Feinstaub. Die Werte für das Haushaltseinkommen fallen zum oberen Ende der Belastungsskala ab da am deutlichsten und kontinuierlich bis auf eine durchschnittliche Differenz von fast -2 Standardabweichungen ab. Beim Mietspiegel bleibt die Differenz kleiner als -0,2 Standardabweichungen und für den Kaufspiegel fällt sie zwar zunächst mit bis zu -0,23 Standardabweichungen etwas größer aus, danach steigt der Wert aber dann wieder fast auf Niveau des Mittelwerts der Bezugsgrößen (die Nulllinie der linken vertikalen Achse in Abbildung 38).

Abbildung 38: Mittelwerte der z-Werte für die SES-Variablen auf 2 x 2 km² sowie Anzahl der Wohnbevölkerung je $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Schritt der Feinstaubhintergrundbelastung in Deutschland



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

7 Regressionen und ANOVA – Untersuchung der statistischen Zusammenhänge

Um die in Kapitel 6 dargestellten Sachverhalte statistisch zu analysieren, wurden für eine zusammenfassende Perspektive zunächst Regressionsberechnungen durchgeführt und durch ANOVA-Verfahren ergänzt. Auf diese Weise konnte festgestellt werden, ob die durch die Regressionsmodelle dargestellten Trends sich durch die gesamten Stichproben ziehen, oder ob es – innerhalb der Datensätze – quasi entlang der Regressionstrends – signifikante Unterschiede in den Zusammenhängen zwischen SES-Indikatoren und Feinstaubbelastung gibt, wie es die Betrachtungen aus Kapitel 6 nahe legen. Für die Regressionsrechnungen wurden auf Grund der Skalendifferenzen der Variablen in allen Fällen z-standardisierte Daten verwendet. Das methodische Vorgehen für die ANOVA sowie für die Gruppierung der Daten ist im Abschnitt 3.4.4 erläutert. Die Gesamtheit der SES-Datenpunkte innerhalb eines Belastungsdezils werden im Folgenden als Fallgruppen bezeichnet (Anmerkung: da nicht alle Datensätze glatt durch 10 zu teilen sind, enthalten die Dezile zum Teil um N=1 unterschiedliche Fallzahlen).

7.1 Hamburg

7.1.1 Regressionsanalysen SES-Indikatoren ~ Feinstaubbelastung

Alle für den Betrachtungsraum Hamburg verwendeten Datensätze weisen signifikante räumliche Autokorrelation auf (vgl. Informationen zu Global Moran's I in Tabelle 38 und Tabelle 39). Für die Regressionsanalysen wurden daher räumliche Modelle verwendet, deren AIC in jedem der dargestellten Fälle zeigt, dass diese die untersuchten Daten besser zusammenfassen als äquivalente lineare Regressionsmodelle.

Von den – nach der in diesem Projekt verwendeten Definition (vgl. Abschnitt 3.1) – bewohnten und mit Feinstaubdaten belegten 10.013 Hamburger Baublöcken, verfügen 9.396 über räumliche Nachbarschaftsbeziehungen und konnten somit in die Regressionsanalysen eingehen. Diese ergaben, dass die Feinstaubbelastung mit sowohl dem Miet- als auch dem Kaufspiegel signifikant positiv korreliert (Tabelle 38). Die positive Korrelation bestätigt prinzipiell die im vorigen Kapitel dargestellten Trends: eine höhere Feinstaubbelastung geht tendenziell mit höheren Wohnkosten pro Quadratmeter einher. Diese Verbindung ist beim Mietspiegel etwa doppelt so stark ausgeprägt wie beim Kaufspiegel. Der relativ kleine Regressionskoeffizient (in Einheiten der Standardabweichung der Datensätze) entspricht dabei der Beobachtung, dass es zwischen den niedrigeren Miet- und Kaufspiegelwerten am unteren Ende der Belastungsskala und den zum Teil deutlich höheren Werten an deren oberen Ende durchaus auch große Abweichungen von diesem Trend gibt.

Tabelle 38: Ergebnis der räumlichen Regressionsanalysen von z-Werten des Hamburger Miet- und Kaufspiegels und lokaler Feinstaubbelastung auf Baublockebene

	räumliche Autokorrelation			räumliche Regression		
	Mietspiegel	Kaufspiegel	PM _{2.5} Belastung pro Baublock		Mietspiegel~ PM _{2.5}	Kaufspiegel~ PM _{2.5}
Global Moran's I	0,912	0,748	0,710	β	0,188	0,095
Signifikanz	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	Standardfehler	0,009	0,010
				Signifikanz	p < 0,001	p < 0,001
				AIK räumliches Modell	17.150	20.916
				AIK lineares Modell	25.734	26.527

Auf der 1 x 1 km² Ebene der Daten für das durchschnittliche jährliche Haushaltseinkommen verblieben 536 Raumeinheiten mit gültigen Werten und direkt benachbarten Zellen für die räumliche Regression, deren Ergebnisse Tabelle 39 zu entnehmen sind. Das Haushaltseinkommen korreliert schwach aber signifikant negativ mit der Feinstaubbelastung. Auch dieses Ergebnis bestätigt die Beobachtungen aus Kapitel 6. Der Regressionskoeffizient liegt zwischen denen der Variablen für die Wohnkosten.

Tabelle 39: Ergebnis der räumlichen Regressionsanalysen von z-Werten des Hamburger Haushaltseinkommens und lokaler Feinstaubbelastung auf 1 x 1 km²

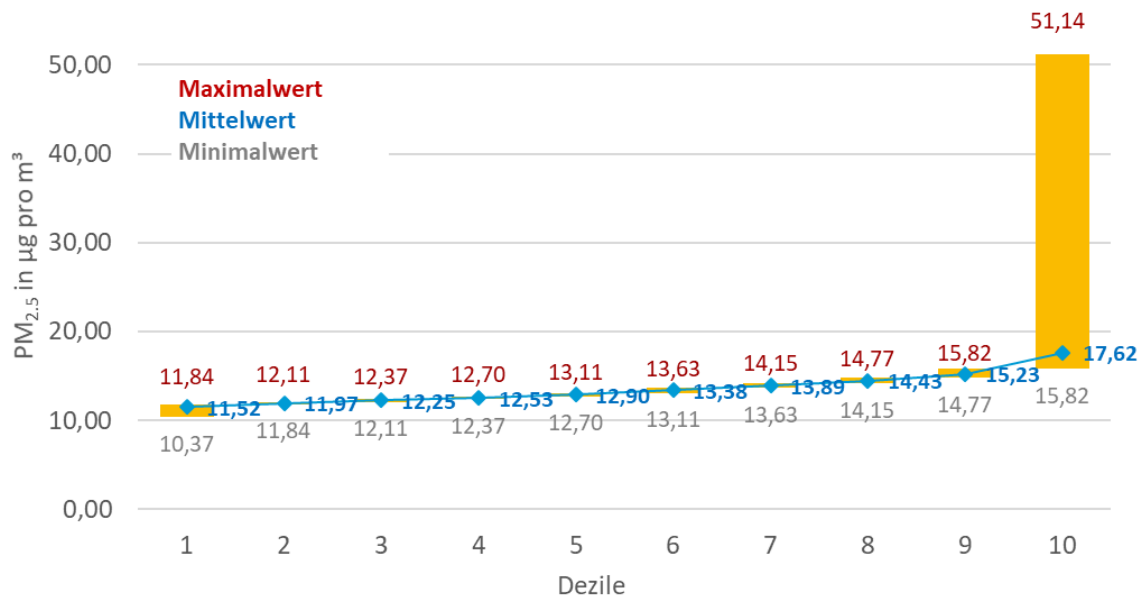
	räumliche Autokorrelation		räumliche Regression	
	Haushaltseinkommen	PM _{2.5} Belastung (aggregiert von 100 x 100m ²)		Haushaltseinkommen~ PM _{2.5}
Global Moran's I	0,547	0,733	β	-0,124
Signifikanz	p < 0,001	p < 0,001	Standardfehler	0,053
			Signifikanz	p < 0,001
			AIK räumliches Modell	1.198
			AIK lineares Modell	1.473

7.1.2 ANOVA der SES-Indikatoren in Feinstaubdezilen

Die folgende Abbildung 39 zeigt das Ergebnis der für die ANOVA vorgenommenen Dezilbildung aus der Feinstaubvariable auf Ebene der Hamburger Baublöcke. Die enthaltenen Fallzahlen unterscheiden sich leicht, da sich die Grundgesamtheit nicht glatt auf zehn Gruppen verteilen lässt und Dezile nur zwischen Fällen mit unterschiedlichen Werten getrennt werden können. Es ist

deutlich zu erkennen, dass die Spannweite der Feinstaubwerte am oberen und unteren Ende jeweils größer ausfällt als für die acht Gruppen dazwischen, da das unterste und oberste Dezil die relativ weiter gestreuten Werte am jeweiligen Ende der Skala einschließen.

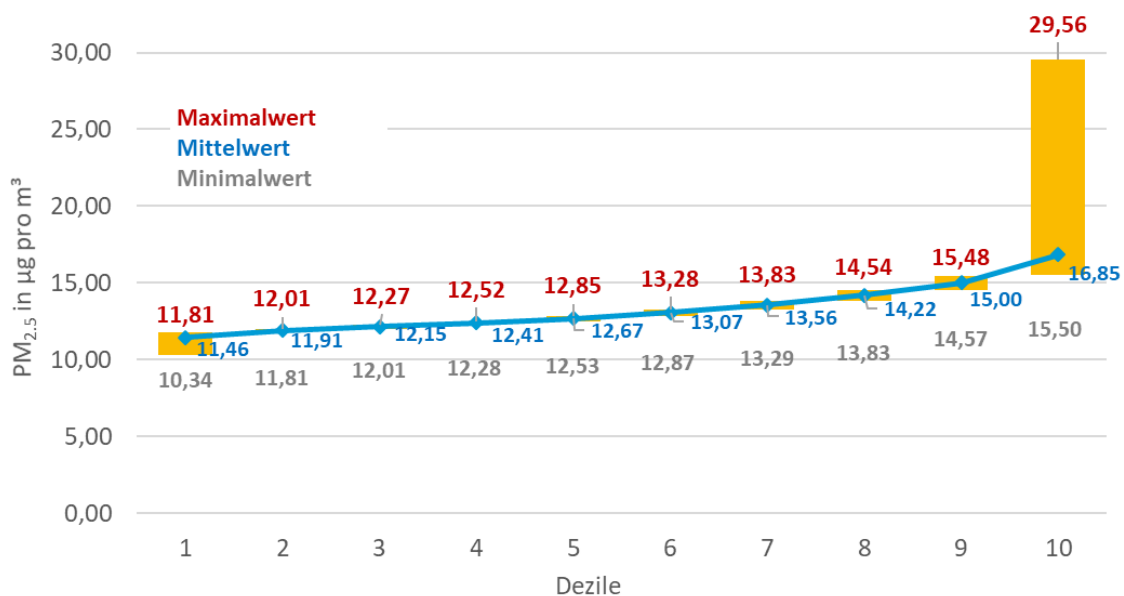
Abbildung 39: Dezile der PM_{2,5} Belastung auf Ebene der Hamburger Baublöcke (N=1.000 bis 1.002)



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Die Dezile der Feinstaubbelastung auf Ebene des 1 x 1 km² Rasters mit Daten zum Haushaltseinkommen umfassen in Folge der räumlichen Aggregation eine geringere Wertespanne als auf Baublockebene (Abbildung 40).

Abbildung 40: Dezile der PM_{2,5} Belastung auf Ebene des 1 x 1 km² Rasters für Hamburg (N=56 bis 57)



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

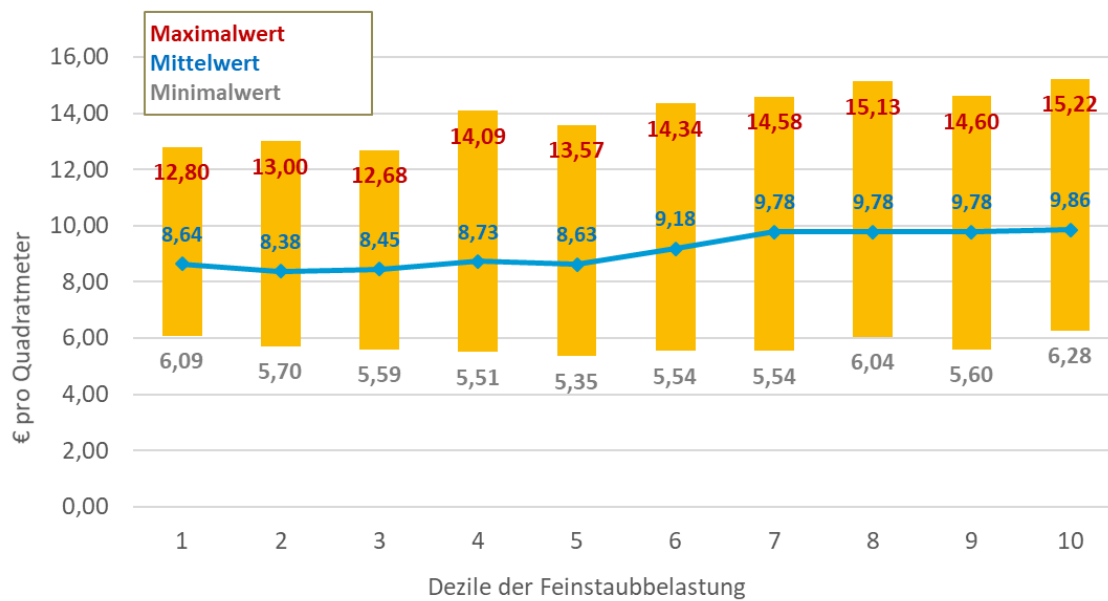
Da bei keiner der untersuchten Variablen eine Homogenität der Varianzen zwischen den Fallgruppen gegeben war (vgl. Tabelle 40, Levene's Test) wurden die ANOVA mit dem robusten Verfahren nach Welch durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Unterschiede der Mittelwerte der SES-Fallgruppen insgesamt statistisch signifikant sind. Die Richtungen der Zusammenhänge zwischen SES-Indikatoren und Belastungsvariablen bleiben erhalten: der Miet- als auch der Kaufspiegel ist in den Dezilen der höheren Feinstaubbelastung tendenziell ebenfalls höher, beim Haushaltseinkommen verhält es sich umgekehrt.

Tabelle 40: Ergebnis der ANOVA für Miet- und Kaufspiegel (Baublockebene) sowie Haushaltseinkommen (1 x 1 km²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung in Hamburg

	Levene's Test			ANOVA nach Welch		
	Statistik	df1; df2	Signifikanz	F-Statistik	df1; df2	Signifikanz
Mietspiegel €/m ²	104,83	9; 10.003	p < 0,001	219,66	9; 4.061,89	p < 0,001
Kaufspiegel €/m ²	54,43	9; 10.003	p < 0,001	62,68	9; 4.062,92	p < 0,001
Haushaltseinkommen € netto/Jahr	2,93	9; 555	p < 0,005	5,752	9; 225,70	p < 0,001

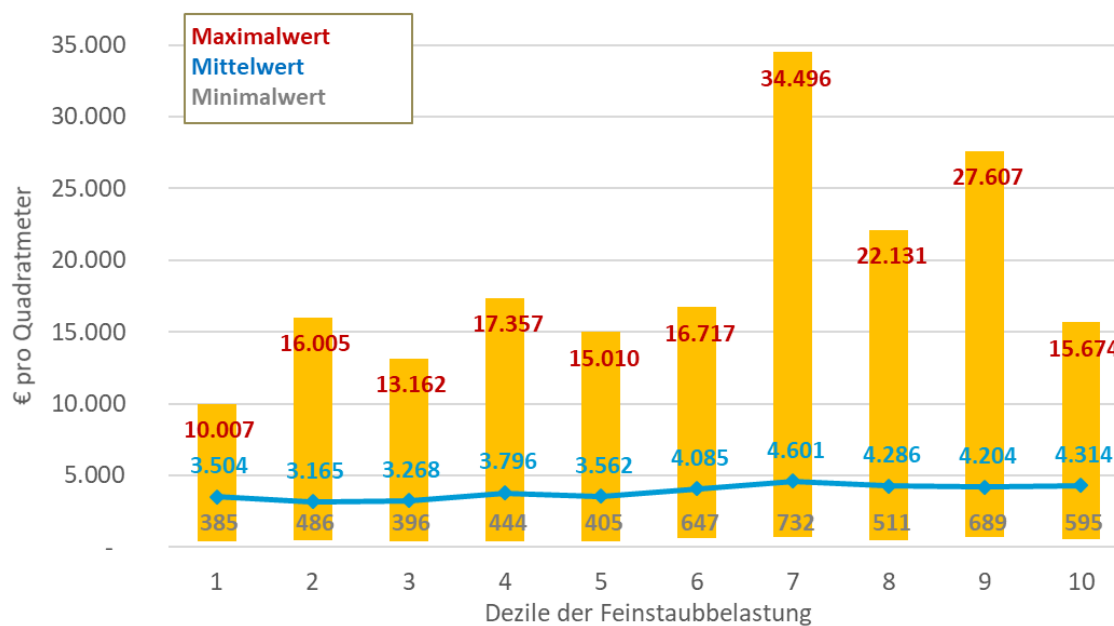
Die Verteilung der Werte der SES-Indikatoren innerhalb der Dezile für die Feinstaubbelastung sind Abbildung 41 bis Abbildung 43 zu entnehmen. Die Wertespanssen des Mietspiegels in den jeweiligen Dezilen sind dabei untereinander deutlich ähnlicher als es bei sowohl Kaufspiegel als auch Haushaltseinkommen der Fall ist. Die Entwicklung der Mittelwerte der SES-Fallgruppen spiegeln die Ergebnisse der Regressionsanalysen. Es zeigt sich hier auch, dass die Differenzen der Mittelwerte zwischen benachbarten Dezilen durchaus unterschiedlich ausfallen. Welche dieser Unterschiede statistisch signifikant sind, ist Tabelle 41 (Mietspiegel), Tabelle 42 (Kaufspiegel) und Tabelle 43 (Haushaltseinkommen) auf Seite 119 ff. zu entnehmen (detaillierte Statistiken für diese Vergleiche finden sich in Anhang F.1). Die genannten Tabellen enthalten auch ein Mittelwertdiagramm für die Fallgruppen des jeweiligen SES-Indikators. Diese Mittelwerte entsprechen jenen aus Abbildung 41 bis Abbildung 43.

Abbildung 41: Fallgruppen der Mietspiegelwerte auf Baublockebene in Feinstaubdezilen für Hamburg

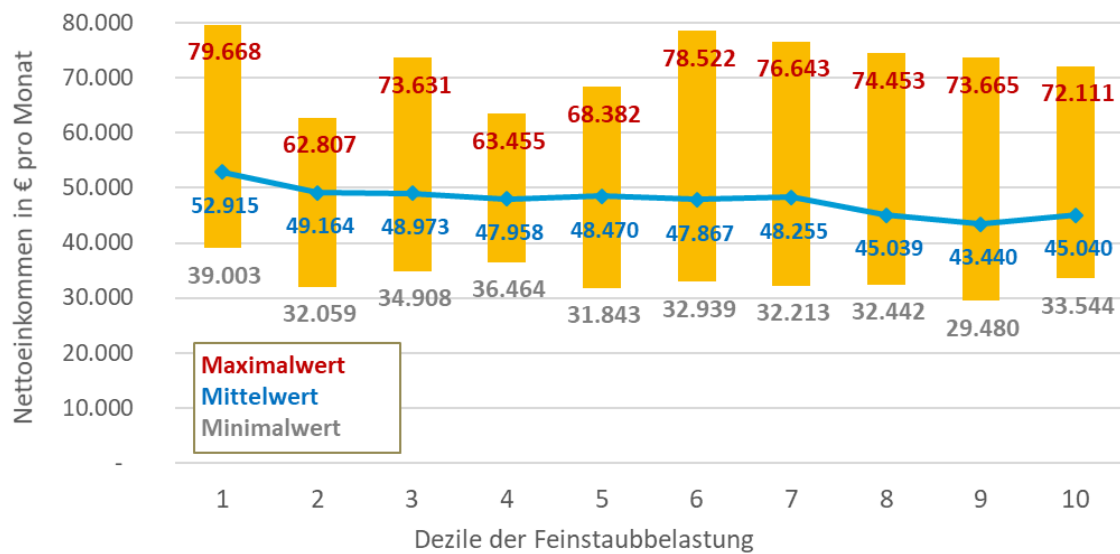


Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 42: Fallgruppen der Kaufspiegelwerte auf Baublockebene in Feinstaubdezilen für Hamburg



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 43: Fallgruppen des jährlichen Haushaltseinkommens für Hamburg (1 x 1 km²) in Feinstaubdezilen


Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Tabelle 41 zeigt, dass die Mittelwerte der meisten Fallgruppen des Mietspiegels in Hamburg sich signifikant voneinander unterscheiden. Lediglich am oberen Ende der Belastungsskala fallen die – dort höheren – Mittelwerte statistisch betrachtet zueinander ähnlich aus.

Tabelle 41: Fallgruppen der Mietspiegeldaten für Hamburg (Baublockebene) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden * $p < 0,05$ und Mittelwertdiagramm

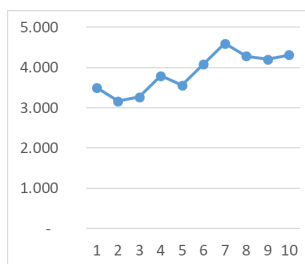
Bevölkerung im Dezil	PM _{2,5} Dezil	2	3	4	5	6	7	8	9	10
128.861	1	*	*	-	-	*	*	*	*	*
123.460	2		-	*	*	*	*	*	*	*
140.701	3			*	*	*	*	*	*	*
137.954	4				-	*	*	*	*	*
154.806	5					*	*	*	*	*
170.498	6						*	*	*	*
200.311	7							-	-	-
205.010	8								-	-
214.306	9									-
172.846	10									

Dezil	Mittelwert
1	8,5
2	8,5
3	8,5
4	8,5
5	8,5
6	9,0
7	9,5
8	9,5
9	9,5
10	9,5

Bei den Hamburger Kaufspiegeldaten (Tabelle 42) bietet sich ein ähnliches Bild wie für den Mietspiegel. Allerdings fällt der Mittelwert nach einer relativ starken – und signifikanten – Steigung vom 5. über das 6. zum 7. Dezil zum 8. hin noch einmal ab (auch diese Differenz ist signifikant). Die Mittelwerte der Fallgruppen in den drei höchsten Belastungsdezilen unterscheiden sich jedoch nicht signifikant voneinander (wohl aber, wie auch beim Mietspiegel, von denen in den Dezilen mit geringerer Belastung).

Tabelle 42: Fallgruppen der Kaufspiegeldaten für Hamburg (Baublockebene) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden * $p < 0,05$ und Mittelwertdiagramm

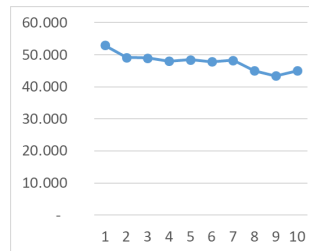
Bevölkerung im Dezil	PM _{2.5} Dezil	2	3	4	5	6	7	8	9	10
128.861	1	*	*	*	-	*	*	*	*	*
123.460	2		-	*	*	*	*	*	*	*
140.701	3			*	*	*	*	*	*	*
137.954	4				-	-	*	*	*	*
154.806	5					*	*	*	*	*
170.498	6						*	-	-	-
200.311	7							-	*	-
205.010	8								-	-
214.306	9									-
172.846	10									



Die Daten zum Haushaltseinkommen für Hamburg bieten ein anderes Bild. Die Mittelwerte der Fallgruppen sinken größtenteils mit steigender Belastung. Allerdings sind bei diesem Indikator die Unterschiede statistisch gesehen weniger stark ausgeprägt. Nur im 1. und 9. Dezil (höchstes bzw. niedrigstes Einkommen) unterscheiden sich die Mittelwerte signifikant von jenen in mehr als einem anderen Dezil.

Tabelle 43: Fallgruppen des Haushaltseinkommens für Hamburg (1 x 1 km²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden *p<0,05 und Mittelwertdiagramm

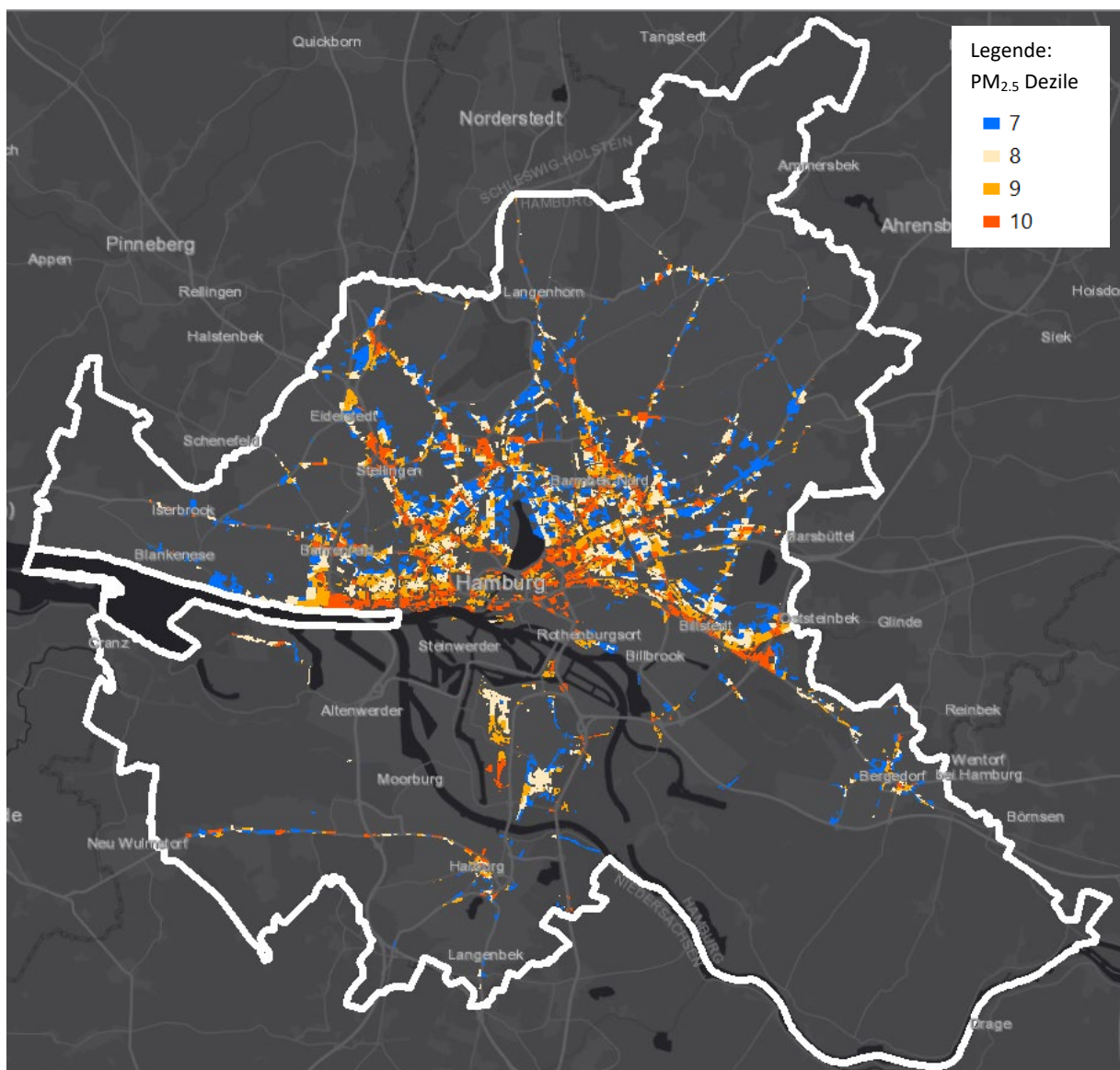
Bevölkerung im Dezil	PM _{2.5} Dezil	2	3	4	5	6	7	8	9	10
88.421	1	-	-	*	-	-	-	*	*	*
63.446	2		-	-	-	-	-	-	*	-
126.104	3			-	-	-	-	-	*	-
152.541	4				-	-	-	-	-	-
120.152	5					-	-	-	-	-
147.426	6						-	-	-	-
158.935	7							-	-	-
251.036	8								-	-
293.998	9									-
223.996	10									



7.1.2.1 Verortung statistisch auffälliger Fallgruppen im Betrachtungsraum Hamburg

Die Karte in Abbildung 44 zeigt die Lage der Baublöcke in den oberen vier Feinstaubdezilen, die sich sowohl beim Mietspiegel als auch beim Kaufspiegel durch (größtenteils) signifikant höhere Mittelwerte von den anderen Dezilen unterscheiden. Das siebte Dezil ist dabei in blau hervorgehoben, da es beim Kaufspiegel den höchsten Mittelwert aller Dezile aufweist. Es wird deutlich, dass sich diese Baublöcke zwar häufig an Hauptverkehrsstraßen sowie in Hafennähe auf der Elbinsel (untere Mitte der Karte) befinden. Sie existieren jedoch auch generell in zentralen Lagen und nördlich der Elbe, wo in Hamburg die Wohnkosten (sehr) hoch sind.

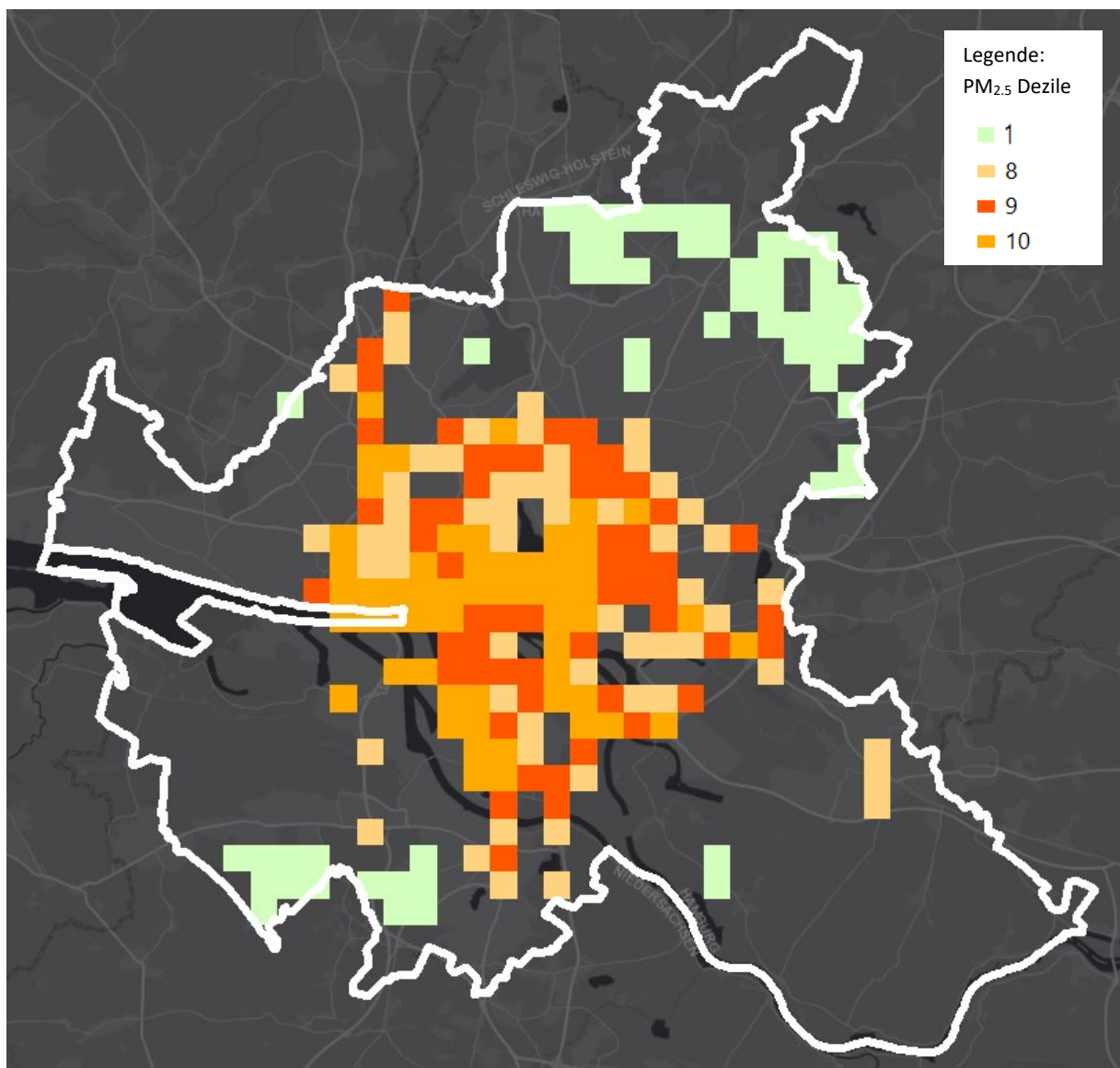
Abbildung 44: Lage der Feinstaubdezile 7-10 in Hamburg auf Ebene der Baublöcke



Quellen: eigene Darstellung auf Basis von infas360 Daten (Baublöcke), Karl et al. 2019 (PM_{2.5}), Esri ArcGIS (Karte)

Im Gegensatz zu Miet- und Kaufspiegel sinkt das Haushaltseinkommen auf der 1 x 1 km² Ebene mit steigender Feinstaubbelastung. Signifikante Unterschiede mit anderen Fallgruppen bestehen bei diesem SES-Indikator hauptsächlich beim ersten und neunten Dezil. Diese, sowie Dezil 8 und 10, die ebenfalls ein signifikant niedrigeres Haushaltseinkommen aufweisen als Dezil 1, sind in Abbildung 45 dargestellt. Die drei am stärksten belasteten Dezile mit den im Durchschnitt niedrigsten Haushaltseinkommen finden sich ebenfalls in zentralen Lagen und überlagern zu einem großen Teil die hochbelasteten Dezile der Baublöcke – die sich mit hohen Wohnkosten aber eben durch einen eigentlich gegenläufig zu bewertenden SES-Indikator auszeichnen. Gleichzeitig finden sich die Zellen des untersten Dezils mit dem höchsten durchschnittlichen Haushaltseinkommen nicht vornehmlich in den teuersten Wohnlagen Hamburgs.

Abbildung 45: Lage der Feinstaubdezile 8-10 in Hamburg auf der 1 x 1 km² Ebene



Quellen: eigene Darstellung auf Basis von FDZ Ruhr am RWI Daten (Haushaltseinkommen), Karl et al. 2019 (PM_{2.5}), Esri ArcGIS (Karte)

7.2 Berlin

7.2.1 Regressionsanalysen SES-Indikatoren ~ Feinstaubbelastung

Auf der 500 x 500 m² Ebene liegen für 1.045 der 3.747 Zellen des Feinstaubrasters keine Miet- bzw. Kaufspiegeldaten vor. Zwei weitere Zellen haben keine direkten Nachbarinnen, sodass 2.700 Zellen in die weiteren Analysen übernommen wurden. Alle Variablen waren auch für N=2.700 signifikant räumlich autokorreliert (Global Moran's *I*, Tabelle 44). Die Ergebnisse der räumlichen Regressionsanalysen zeigen im Gegensatz zu den Hamburger Resultaten, dass die Feinstaubbelastung mit sowohl dem Miet- als auch dem Kaufspiegel signifikant negativ korreliert. Der – hier negative – Regressionskoeffizient nimmt im Falle des Mietspiegels einen etwas kleineren Wert an als in Hamburg, beim Kaufspiegel ist der Wert für Berlin höher. Die in beiden Fällen recht schwach ausgeprägten Zusammenhänge zeigen, dass in Berlin eine höhere

Feinstaubbelastung tendenziell zwar eher mit geringeren Wohnkosten pro Quadratmeter einhergeht, jedoch auch deutliche Trendbrüche vorliegen – und zwar, wie Abschnitt 6.2 gezeigt hat, gerade am oberen Ende der Belastungsskala.

Tabelle 44: Ergebnis der räumlichen Regressionsanalysen von z-Werten des Berliner Miet- und Kaufspiegels und Feinstaubhintergrundbelastung auf 500 x 500 m²

	räumliche Autokorrelation			räumliche Regression		
	Mietspiegel	Kaufspiegel	PM _{2.5} Hintergrund		Mietspiegel~PM _{2.5}	Kaufspiegel~PM _{2.5}
Global Moran's I	0,733	0,795	0,919	β	-0,153	-0,161
Signifikanz	p < 0,001	p < 0,001	p < 0,001	Standardfehler	0,039	0,036
				Signifikanz	p < 0,001	p < 0,001
				AIK räumliches Modell	4.672	4332
				AIK lineares Modell	7.637	7661

Auf der 1 x 1 km² Ebene der Daten für das durchschnittliche jährliche Haushaltseinkommen zeigten die in der Analyse verbliebenen 775 Raumeinheiten mit gültigen Werten und direkt benachbarten Zellen eine signifikante räumliche Autokorrelation (Tabelle 45). Daher wurde auch in diesem Fall eine räumliche Regressionsanalyse durchgeführt. Wie auch im Falle Hamburgs korreliert das Haushaltseinkommen signifikant negativ mit dem Parameter für Feinstaubbelastung (der in diesem Falle jedoch nicht die lokale Gesamtbelastung, sondern lediglich die Hintergrundimmissionen darstellt). Dabei ist β im Falle Berlins deutlich größer, was mit dem in Abschnitt 6.2 gezeigten eindeutigeren Trend dieser Variable entlang der Belastungsskala einhergeht.

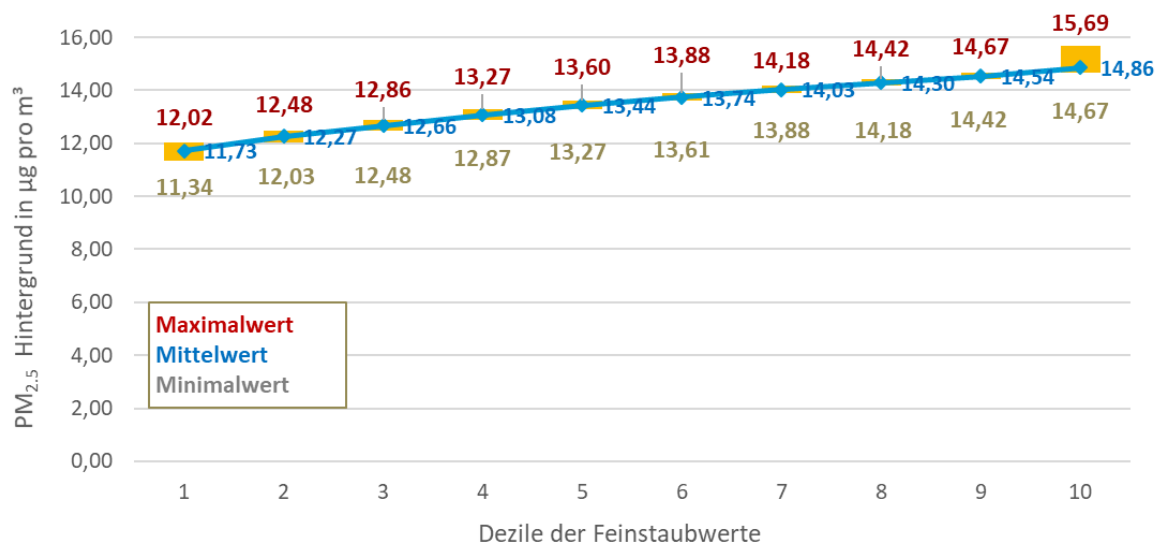
Tabelle 45: Ergebnis der räumlichen Regressionsanalyse von z-Werten des Berliner Haushaltseinkommens und der Feinstaubhintergrundbelastung auf 1 x 1 km²

	räumliche Autokorrelation		räumliche Regression	
	Haushaltseinkommen	PM _{2.5} Hintergrund		Haushaltseinkommen~PM _{2.5}
Global Moran's I	0,516	0,901	β	-0,431
Signifikanz	p < 0,001	p < 0,001	Standardfehler	0,076
			Signifikanz	p < 0,001
			AIK räumliches Modell	1682
			AIK lineares Modell	1999

7.2.2 ANOVA der SES-Indikatoren in Feinstaubdezilen

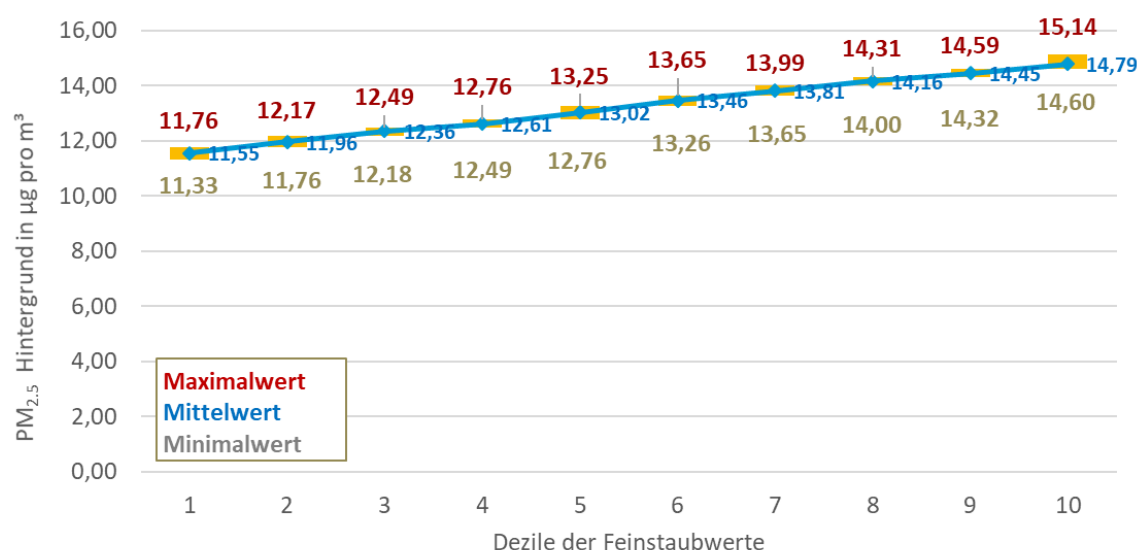
Die folgende Abbildung 46 zeigt das Ergebnis der Dezilbildung für die Feinstaubhintergrundbelastung in Berlin auf Ebene des 500 x 500 m² Rasters. Wie auch im Falle der Daten für Hamburg ist die Spannweite der Feinstaubwerte im obersten und untersten Dezil jeweils größer als für die acht Gruppen dazwischen. Allerdings fallen diese Unterschiede für Berlin geringer aus, da diese Variable die Hintergrundbelastung darstellt und lokale Spitzen somit nicht enthalten sind.

Abbildung 46: Dezile der PM_{2,5} Hintergrundbelastung auf Ebene des Berliner 500 x 500 m² Rasters (N=270 bis 271)



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 47 zeigt die Dezile der Hintergrundbelastung auf Ebene des 1 x 1 km² Rasters für das Haushaltseinkommen. Die Unterschiede in den Datenspannen fallen hier auf Grund der Aggregation noch etwas geringer aus als für das 500 x 500 m² Raster.

Abbildung 47: Dezile der PM_{2,5} Hintergrundbelastung auf Ebene des Berliner 1 x 1 km² Rasters (N=89 bis 90)


Quelle: eigene Darstellung, TUHH

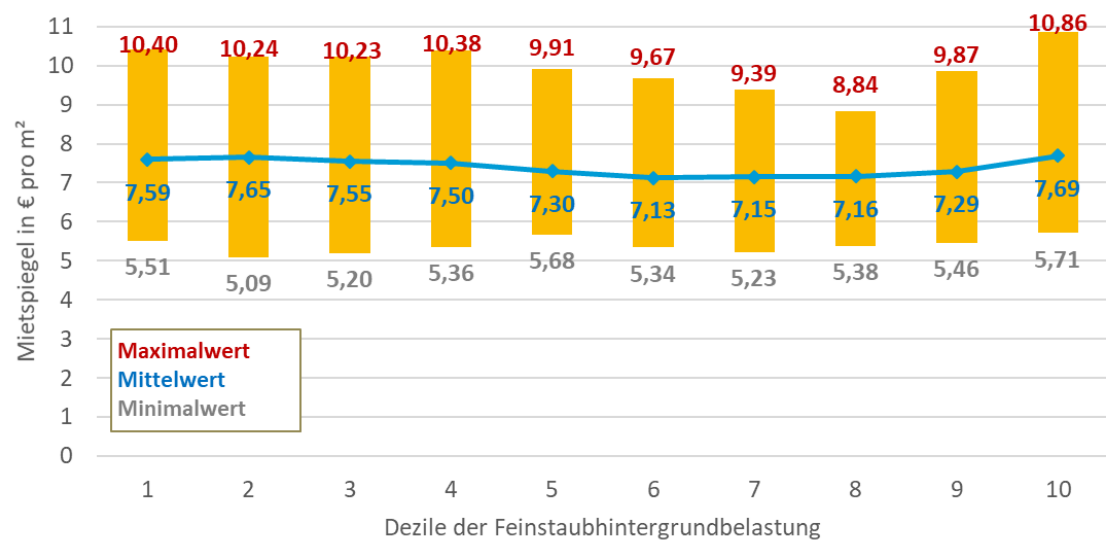
Die Ergebnisse der ANOVA sind in Tabelle 46 zusammengefasst. Alle drei Indikatoren weisen signifikante Unterschiede zwischen den Mittelwerten der SES-Fallgruppen innerhalb der Belastungsdezile auf (Varianzen jeweils nicht homogen, daher ANOVA nach Welch).

Tabelle 46: Ergebnis der ANOVA für Miet- und Kaufspiegel (500 x 500 m²) sowie Haushaltseinkommen (1 x 1 km²) in Berlin nach Dezilen der Feinstaubbelastung

	Levene's Test			ANOVA nach Welch		
	Statistik	df1; df2	Signifikanz	F-Statistik	df1; df2	Signifikanz
Mietspiegel €/m ²	14,925	9; 2692	p < 0,001	17,741	9; 1.095,52	p < 0,001
Kaufspiegel €/m ²	14,191	9; 2692	p < 0,001	20,723	9; 1.095,24	p < 0,001
Haushaltseinkommen € netto/Jahr	9,454	9; 761	p < 0,000	19,957	9; 28971	p < 0,001

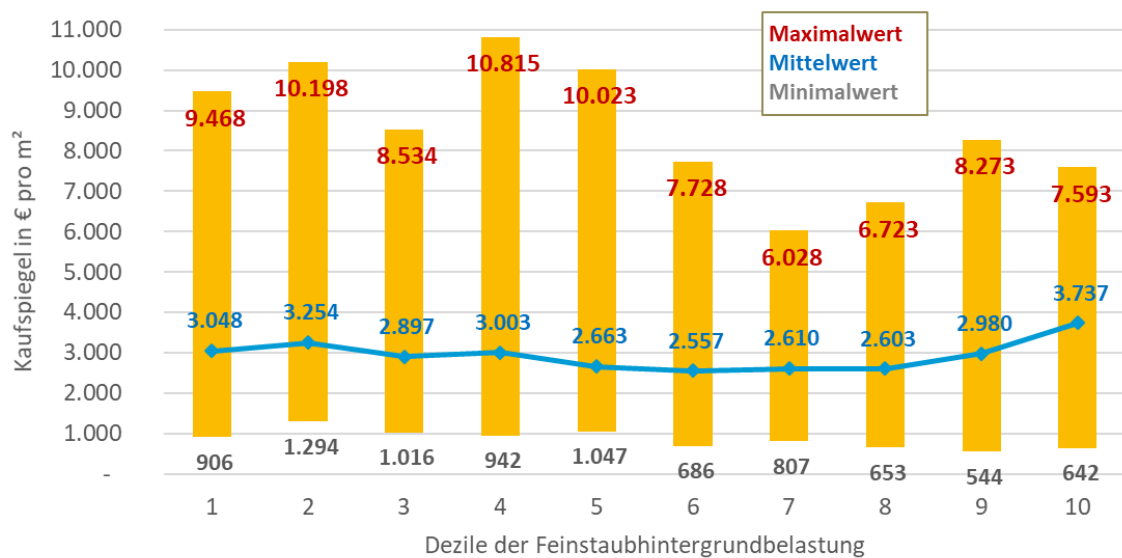
Die folgenden Abbildung 48 bis Abbildung 50 zeigen die jeweilige Werteverteilungen des Mietspiegels, Kaufspiegels und Haushaltseinkommens innerhalb der Fallgruppen. Auf den ersten Blick ist die Tendenz der Mittelwerte für die Fallgruppen des Miet- und Kaufspiegels in Berlin weniger klar als in Hamburg. Zwar sind auch hier die Wohnkosten pro m² im zehnten Dezil jeweils höher als im ersten und im zehnten Dezil wohnt man im Durchschnitt am teuersten. In den dazwischenliegenden Gruppen schwanken die Mittelwerte jedoch und die relativ gesehen geringsten Wohnkosten finden sich auch in den oberen fünf Dezilen.

Abbildung 48: Fallgruppen der Mietspiegelwerte für Berlin (500 x 500 m²) in Feinstaubdezilen



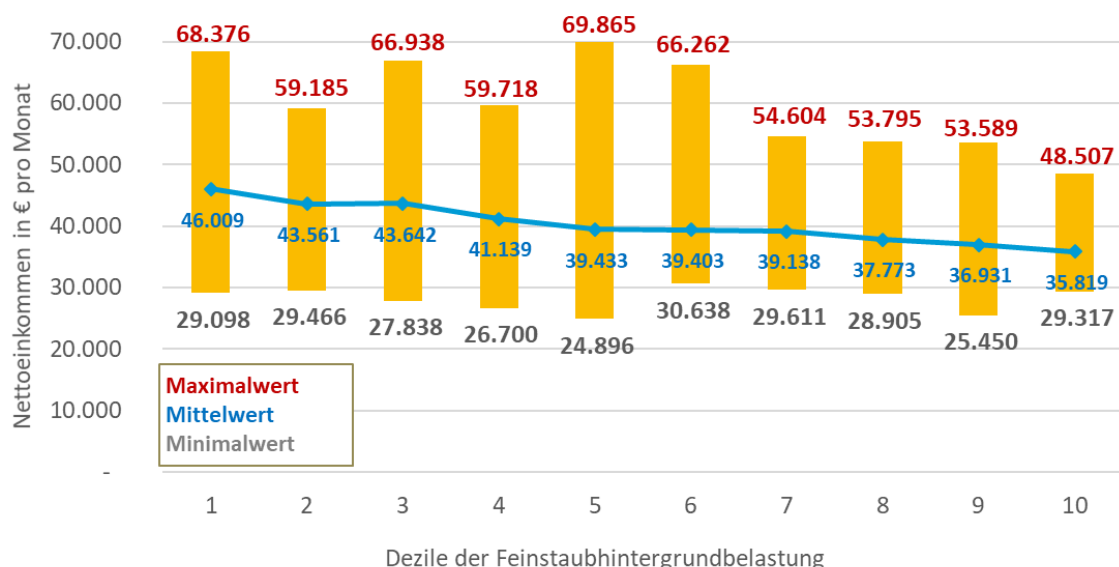
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 49: Fallgruppen der Kaufspiegelwerte für Berlin (500 x 500 m²) in Feinstaubdezilen



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Bei den Fallgruppen des Haushaltseinkommens geht die Tendenz der Mittelwerte in die gleiche Richtung wie in Hamburg: es sinkt mit steigender Feinstaubbelastung.

Abbildung 50: Fallgruppen des jährlichen Haushaltseinkommens für Berlin (1 x 1 km²) in Feinstaubdezilen


Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Die statistisch signifikanten Unterschiede zwischen einzelnen Fallgruppen des Mietspiegels, Kaufspiegels respektive Haushaltseinkommens nach Games-Howells post-hoc Test sind in Tabelle 47 bis Tabelle 49 dargestellt. Die detaillierten Statistiken für diese Vergleiche finden sich in Anhang F.2. Auch diese Tabellen enthalten Mittelwertdiagramme für einen vereinfachten Vergleich der Dezile. Beim Mietspiegel finden sich signifikante Unterschiede zwischen den Fallgruppen in den Dezilen 5 bis 9 (niedrige Mietspiegel) und den Gruppen 1 bis 4 bzw. 10 (höhere) Mietspiegel.

Tabelle 47: Fallgruppen der Mietspiegeldaten für Berlin (500 x 500 m²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden * $p < 0,05$ und Mittelwertdiagramm

Bevölkerung im Dezil	PM _{2,5} Dezil	2	3	4	5	6	7	8	9	10
107.641	1	-	-	-	*	*	*	*	*	-
135.129	2		-	-	*	*	*	*	*	-
146.021	3			-	*	*	*	*	*	-
246.894	4				-	*	*	*	-	-
246.169	5					-	-	-	-	*
321.281	6						-	-	-	*
383.517	7							-	-	*
425.638	8								-	*
537.514	9									*
717.735	10									

Im Falle des Kaufspiegels unterscheiden sich die Fallgruppen 5 bis 8 mit niedrigeren Mittelwerten signifikant von den Gruppen 1, 2, und 10 sowie 6 bis 8 (niedrig) von 4 und 9 (hoch). Die Fallgruppe im 10. Dezil ist die einzige, deren – höchster – Kaufspiegel sich von allen anderen signifikant unterscheidet, bei gleichzeitig höchster Feinstaubbelastung.

Tabelle 48: Fallgruppen der Kaufspiegeldaten für Berlin (500 x 500 m²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden * $p < 0,05$ und Mittelwertdiagramm

Bevölkerung im Dezil	PM _{2,5} Dezil	2	3	4	5	6	7	8	9	10
107.641	1	-	-	-	*	*	*	*	-	*
135.129	2		-	-	*	*	*	*	-	*
146.021	3			-	-	-	-	-	-	*
246.894	4				-	*	*	*	-	*
246.169	5					-	-	-	-	*
321.281	6						-	-	*	*
383.517	7							-	*	*
425.638	8								*	*
537.514	9									*
717.735	10									

Beim Haushaltseinkommen führt der konstante Trend niedrigerer Mittelwerte der Fallgruppen bei steigender Feinstaubbelastung dazu, dass signifikanten Unterschiede jeweils nur zwischen Fallgruppen bestehen, die mindestens zwei Dezile Abstand voneinander haben.

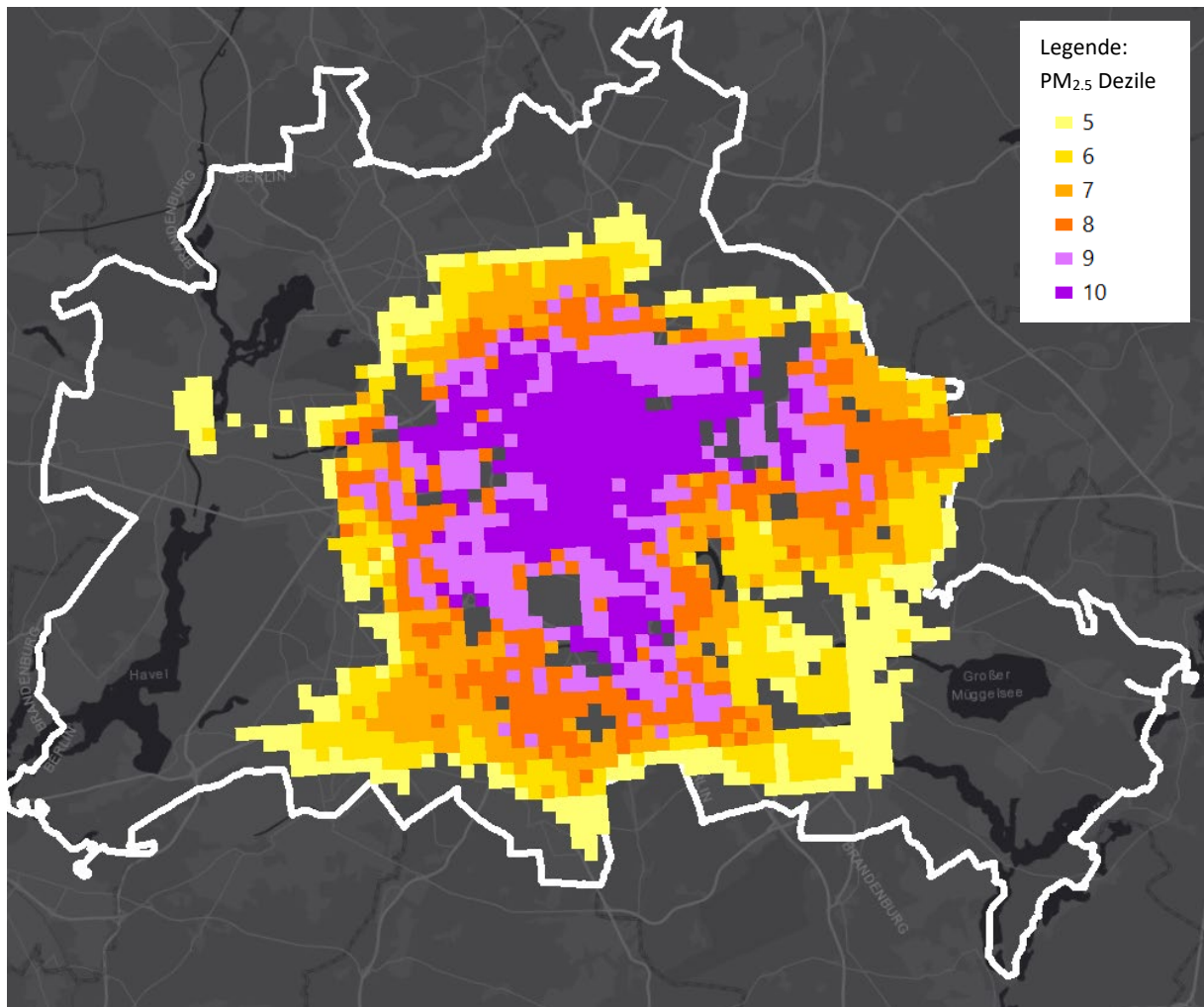
Tabelle 49: Fallgruppen des Haushaltseinkommens für Berlin (1 x 1 km²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden * $p < 0,05$ und Mittelwertdiagramm

Bevölkerung im Dezil	PM _{2,5} Dezil	2	3	4	5	6	7	8	9	10
37.978	1	-	-	*	*	*	*	*	*	*
123.643	2		-	-	*	*	*	*	*	*
88.481	3			-	-	*	*	*	*	*
124.342	4				-	-	-	*	*	*
249.592	5					-	-	-	-	*
307.511	6						-	-	-	*
394.915	7							-	-	*
494.645	8								-	-
564.536	9									-
873.645	10									

7.2.2.1 Verortung statistisch auffälliger Fallgruppen im Betrachtungsraum Berlin

Abbildung 51 stellt die Lage der 500 x 500 m² Zellen in den Dezilen 5-8 (niedrigste Miet- und Kaufspiegel) sowie 9 und 10 dar, die sich dadurch auszeichnen, dass hier besonders der Kaufspiegel durchschnittlich wieder signifikant steigt und in Dezil 10 (dunkel lila) bei beiden Indikatoren sogar den höchsten Mittelwert erreicht. Diese Bereiche zeichnen sich durch die zentrals-ten Lagen aus, wogegen sich die Dezile 5-8 mehr oder weniger konzentrisch darum verteilen.

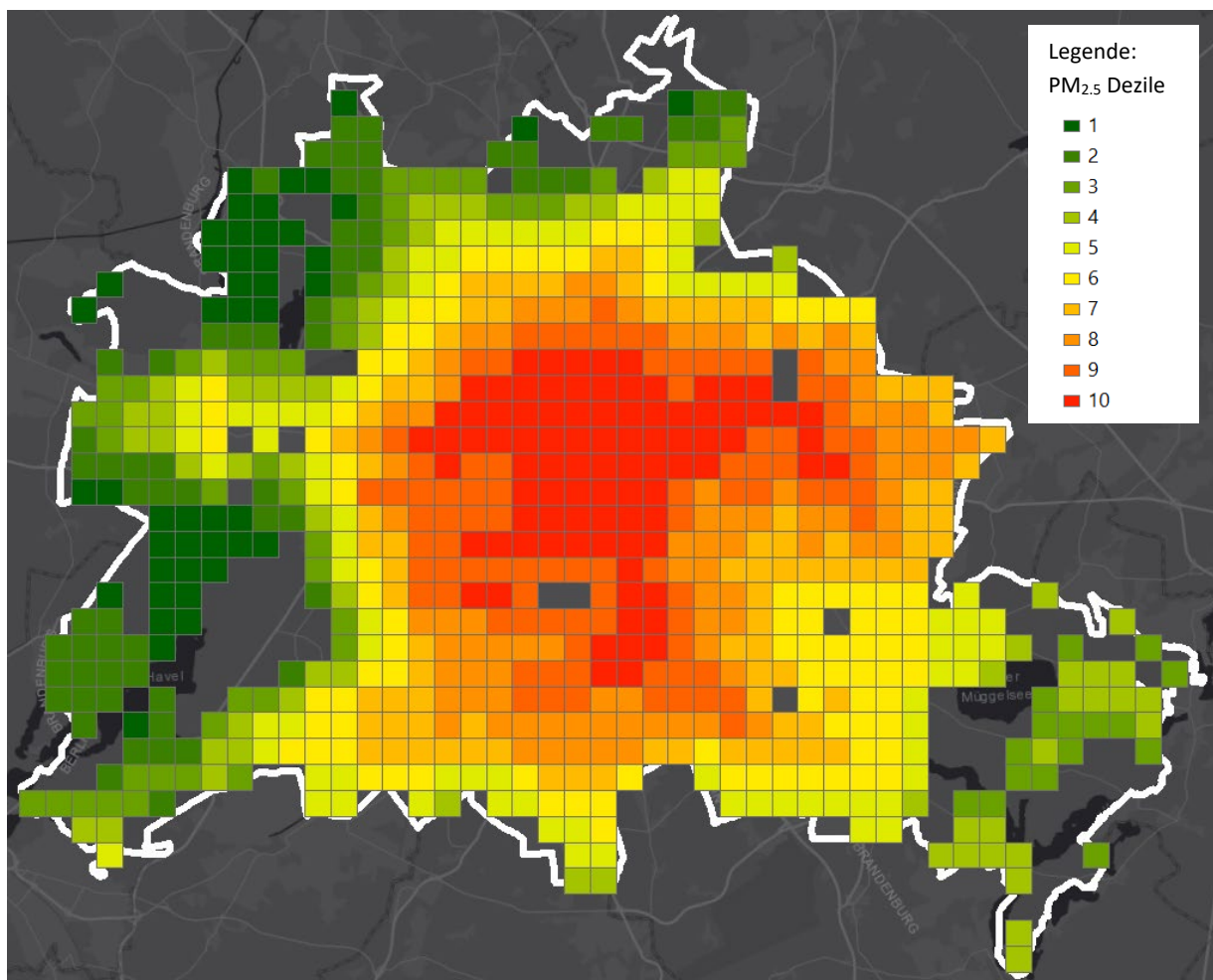
Abbildung 51: Lage der Feinstaubdezile 5-10 in Berlin auf 500 x 500 m² Ebene



Quellen: eigene Darstellung auf Basis von infas360 Daten (Miet- & Kaufspiegel), SENUVK (PM_{2,5}), Esri ArcGIS (Karte)

Da die Mittelwerte der Fallgruppen für das Haushaltseinkommen auf der 1 x 1 km² Ebene einem konstanten Trend folgen, sind in Abbildung 52 alle Dezile dargestellt. Hier ergibt sich ein ähnliches Bild wie bei der Darstellung nach äquidistanten Feinstaubklassen in Abbildung 24: die durchschnittlichen Haushaltseinkommen sinken – bei steigender Feinstaubbelastung – vom nördlichen und westlichen sowie südöstlichen Stadtrand hin zum Zentrum.

Abbildung 52: Lage der Feinstaubdezile in Berlin auf 1 x 1 km² Ebene



Quellen: eigene Darstellung auf Basis von infas360 Daten (Miet- & Kaufspiegel), SENUVK (PM_{2.5}), Esri ArcGIS (Karte)

7.3 Deutschland

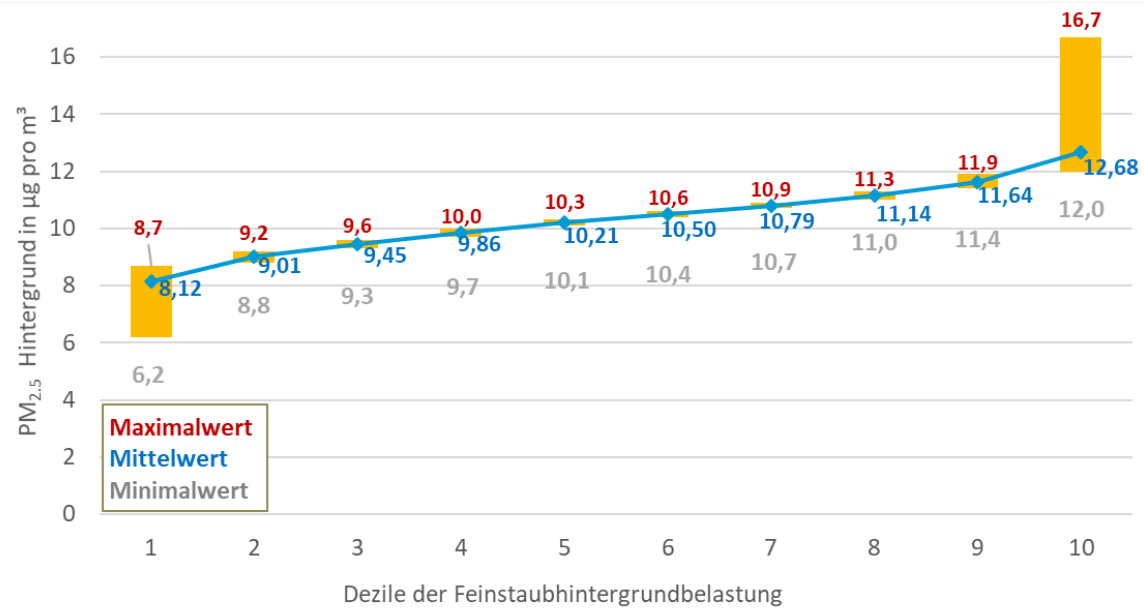
7.3.1 Regressionsanalysen SES-Indikatoren ~ Feinstaubbelastung

Wie in Abschnitt 5.1.3 dargelegt, war es aus Gründen der verfügbaren Hardwarekapazitäten nicht möglich, für die deutschlandweiten Datensätze die gleichen Regressionsanalysen durchzuführen wie für die Betrachtungsräume Hamburg und Berlin. Kapitel 9 (Abschnitte 9.2 und 9.3) präsentiert Überlegungen zu weiterführenden Analysen, die zukünftig als alternativer Ansatz in Betracht gezogen werden können.

7.3.2 ANOVA der SES-Indikatoren in Feinstaubdezilen

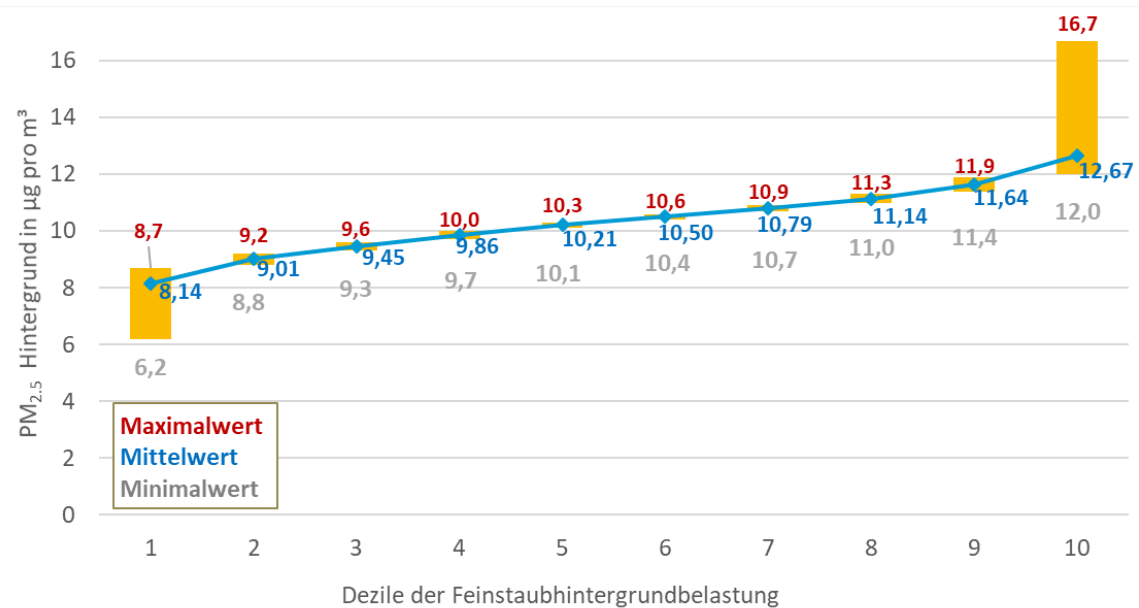
Abbildung 53 und Abbildung 54 zeigen das Ergebnis der Dezilbildung für die modellierte Feinstaubhintergrundbelastung auf Ebene des 2 x 2 km² Rasters. Die jeweils enthaltenen Fallzahlen unterscheiden sich, da die geografische Abdeckung der bereinigten Baublockdaten zum Miet- und Kaufspiegel anders ist als die der Daten zum durchschnittlichen jährlichen Haushaltseinkommen im 1 x 1 km² Raster. Entsprechend ergeben sich beim Aggregieren dieser Daten auf das 2 x 2 km² Raster auch auf dieser Ebene Fälle, für die die jeweiligen SES-Daten fehlen. Bei der Dezilbildung entstehen somit insgesamt größtenteils, jedoch nicht vollständig gleiche Lagemaße der Belastungsdezile (Minimum, Maximum, Mittelwert).

Abbildung 53: Dezile der PM_{2,5} Hintergrundbelastung auf Ebene des 2 x 2 km² Rasters für Deutschland für alle Zellen mit Miet- und Kaufspiegeldaten (N=7.265 bis 9.066)



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 54: Dezile der PM_{2,5} Hintergrundbelastung auf Ebene des 2 x 2 km² Rasters für Deutschland für alle Zellen mit Daten zum Haushaltseinkommen (N=7.498 bis 9.444)



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Die Ergebnisse der ANOVA für die SES-Fallgruppen basierend auf den oben dargestellten Feinstaubdezilen sind in Tabelle 50 zusammengefasst. In der Gesamtbetrachtung sind die Unterschiede der Mittelwerte zwischen den Fallgruppen signifikant.

Tabelle 50: Ergebnis der ANOVA für z-Werte der Miet- und Kaufspiegel (N = 80.079) sowie Haushaltseinkommen in Deutschland (N = 83.291) nach Dezilen der Feinstaubhintergrundbelastung auf 2 x 2 km²

	Levene's Test			ANOVA nach Welch		
	Statistik	df1; df2	Signifikanz	F-Statistik	df1; df2	Signifikanz
Mietspiegel €/m ²	27,425	9; 80064	p < 0,001	4,421	9; 32.429	p < 0,001
Kaufspiegel €/m ²	2,703	9; 80069	p < 0,005	13,947	9; 32.442	p < 0,001
Haushaltseinkommen € netto/Jahr	153,755	9; 83281	p < 0,001	4,854	9; 33646	p < 0,001

Die statistische Bewertung der Unterschiede zwischen einzelnen Fallgruppen sowie die jeweiligen Bevölkerungszahlen und Mittelwertdiagramme finden sich in Tabelle 51 bis Tabelle 53. Detaillierte Statistiken für diese Vergleiche befinden sich in Anhang F.3. Diagrammatische Darstellungen der jeweiligen SES-Fallgruppen in den Feinstaubdezilen entfallen an dieser Stelle, da sich mit den für diese Analysen verwendeten flächenaggregierten z-Werten (vgl. Abschnitt 4.3.1) – anders als für die Betrachtungsräume Hamburg und Berlin – keine Informationen über die Lagemaße der Realdaten darstellen lassen.

Auffällig ist, dass sich für alle drei SES-Indikatoren in der aggregierten Form lediglich die Fallgruppe im zehnten Dezil der Feinstaubhintergrundbelastung signifikant von (fast) allen anderen Fallgruppen unterscheidet und zwar durch einen niedrigeren Mittelwert (einzige Ausnahme: die Fallgruppe der Mietspiegeldaten im fünften und zehnten Dezil). Das bedeutet, dass in den zugrundeliegenden Raumeinheiten die Realwerte jeweils stärker nach unten von den Mittelwerten in ihren jeweiligen Gemeinden abweichen als bei den Fällen, die in den anderen Dezilen zusammengefasst sind: in den 10% der 2 x 2 km² Zellen, die bundesweit die höchste Feinstaubbelastung aufweisen – relativ zu den jeweiligen Bezugsgemeinden – sind die Miet- und Kaufspiegel wie auch die Haushaltseinkommen niedriger. Mit fast 30 Millionen EW ist dieses Dezil zudem auch das bevölkerungsstärkste bzw. am dichtesten besiedelte (vgl. Abbildung 55).

Festzuhalten ist zudem, dass die Mittelwerte der (zusammengefassten) z-Werte für die Fallgruppen der drei SES-Indikatoren in den Dezilen eine unterschiedlich große Spanne umfassen: 0,06 beim Mietspiegel, 0,1 beim Kaufspiegel und 0,16 beim Haushaltseinkommen.

Tabelle 51: Fallgruppen der z-normalisierten Mietspiegeldaten für Deutschland (2 x 2 km²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden *p<0,05 und Mittelwertdiagramm

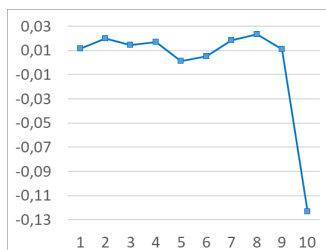
Bevölkerung im Dezil	PM _{2,5} Dezil	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.158.748	1	-	-	-	-	-	-	-	-	*
4.050.830	2		-	-	-	-	-	-	-	*
4.060.778	3			-	-	-	-	-	-	*
4.847.374	4				-	-	-	-	-	*
4.170.853	5					-	-	-	-	-
4.866.933	6						-	-	-	*
6.005.009	7							-	-	*
6.971.282	8								-	*
9.769.247	9									*
29.239.750	10									*

Tabelle 52: Fallgruppen der z-normalisierten Kaufspiegeldaten für Deutschland (2 x 2 km²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden *p<0,05 und Mittelwertdiagramm

Bevölkerung im Dezil	PM _{2,5} Dezil	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.158.748	1	-	-	-	-	-	-	-	-	*
4.050.830	2		-	-	-	-	-	-	-	*
4.060.778	3			-	-	-	-	-	-	*
4.847.374	4				-	-	-	-	-	*
4.170.853	5					-	-	-	-	*
4.866.933	6						-	-	-	*
6.005.009	7							-	-	*
6.971.282	8								-	*
9.769.247	9									*
29.239.750	10									*

Tabelle 53: Fallgruppen der z-normalisierten Daten zum Haushaltseinkommen für Deutschland (2 x 2 km²) nach Dezilen der Feinstaubbelastung mit signifikanten Unterschieden *p<0,05 und Mittelwertdiagramm

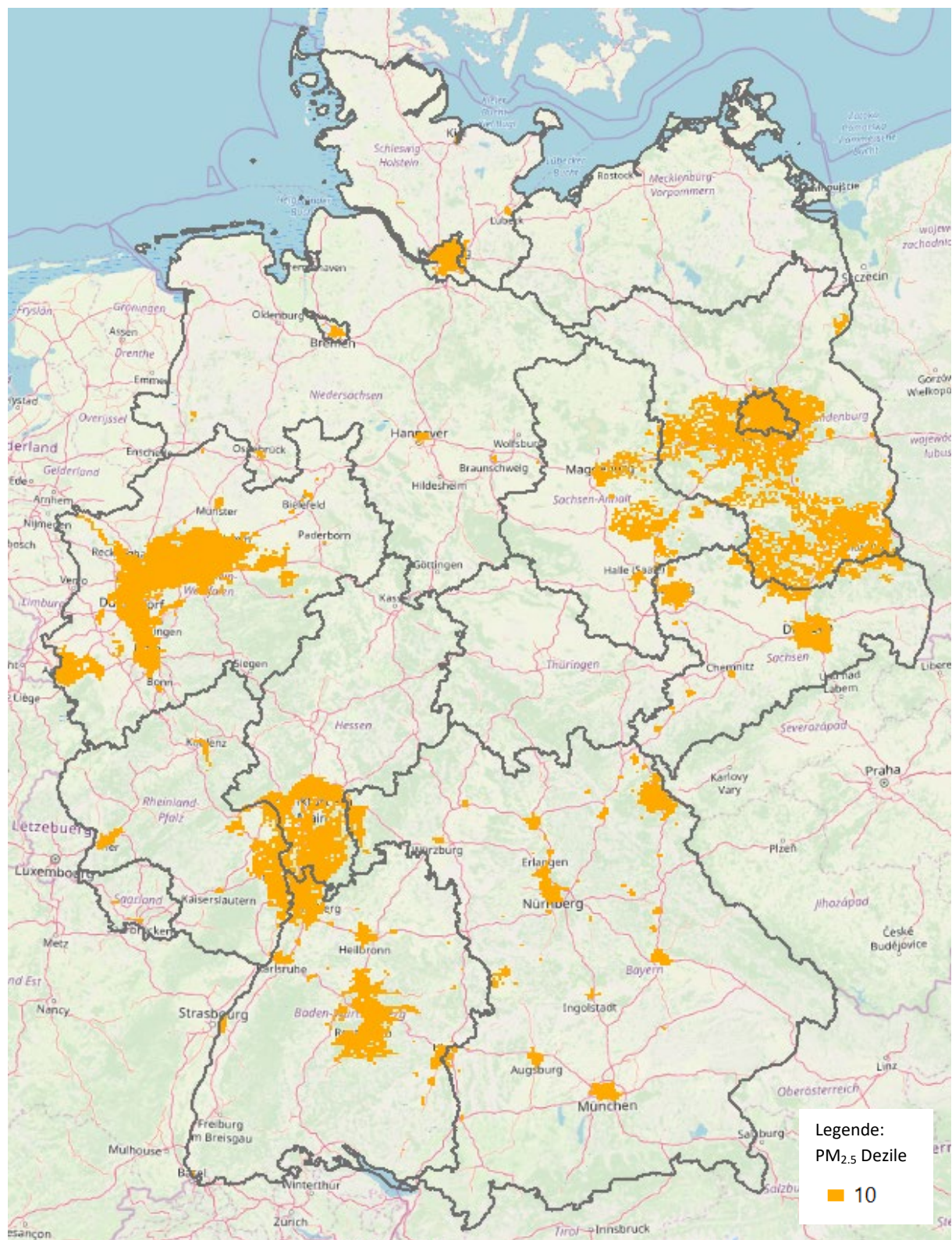
Bevölkerung im Dezil	PM _{2,5} Dezil	2	3	4	5	6	7	8	9	10
4.190.449	1	-	-	-	-	-	-	-	-	*
4.073.635	2		-	-	-	-	-	-	-	*
4.076.846	3			-	-	-	-	-	-	*
4.869.212	4				-	-	-	-	-	*
4.193.262	5					-	-	-	-	*
4.888.558	6						-	-	-	*
6.023.150	7							-	-	*
6.987.606	8								-	*
9.795.369	9									*
29.264.342	10									*



7.3.2.1 Verortung der statistisch auffälligen Fallgruppe im Betrachtungsraum Deutschland

Abbildung 55 zeigt die Lage der Fälle im 2 x 2 km² Raster der PM_{2,5} Hintergrundbelastung im zehnten Dezil. Nach der ANOVA finden sich hier im Durchschnitt die signifikant niedrigsten Werte der zusammengefassten z-Werte für alle drei SES-Indikatoren. Viele Fälle in diesem am höchsten belasteten Dezil finden sich erwartungsgemäß (ausgehend von der vergleichsweise hohen Feinstaubbelastung) in den großen Ballungsräumen und in und um Großstädte, hier jedoch fast flächendeckend – also auch dort, wo Mieten und Kaufpreise sowie Haushaltseinkommen vergleichsweise noch ausfallen. Allerdings fallen auch ländliche Regionen mit hoher Belastung ins Auge, so zum Beispiel im Süden Brandenburgs oder am nördlichen Ende der Grenzregion Bayerns zur Tschechischen Republik. Zudem gibt es auch in den Ballungsräumen des Ruhrgebiets, Berlins, Hamburgs, Frankfurt, Stuttgart und Münchens eher ländliche Gegenden. Zusammen mit der Tatsache, dass das zehnte Feinstaubdezil in den Ballungsräumen jeweils die gesamte Spanne der SES-Indikatoren beinhaltet, die – zumindest in Hamburg und Berlin – eher linkslastig verteilt sind (vgl. Boxplots in Abbildung 3, Abbildung 6, Abbildung 18 und Abbildung 21), führt diese Kombination offenbar in der Gesamtschau zu dem jeweils starken Abfall des Indikatorwerts in diesem Dezil. Die räumliche Lage der Fälle in diesem Dezil erklärt die hohe Zahl von Einwohnerinnen und Einwohnern.

Abbildung 55: Lage der Fälle im 10. Feinstaubdezil in Deutschland auf 2 x 2 km² Ebene



Quellen: eigene Darstellung auf Basis von UBA (PM_{2.5}), OpenStreetMap (Karte)

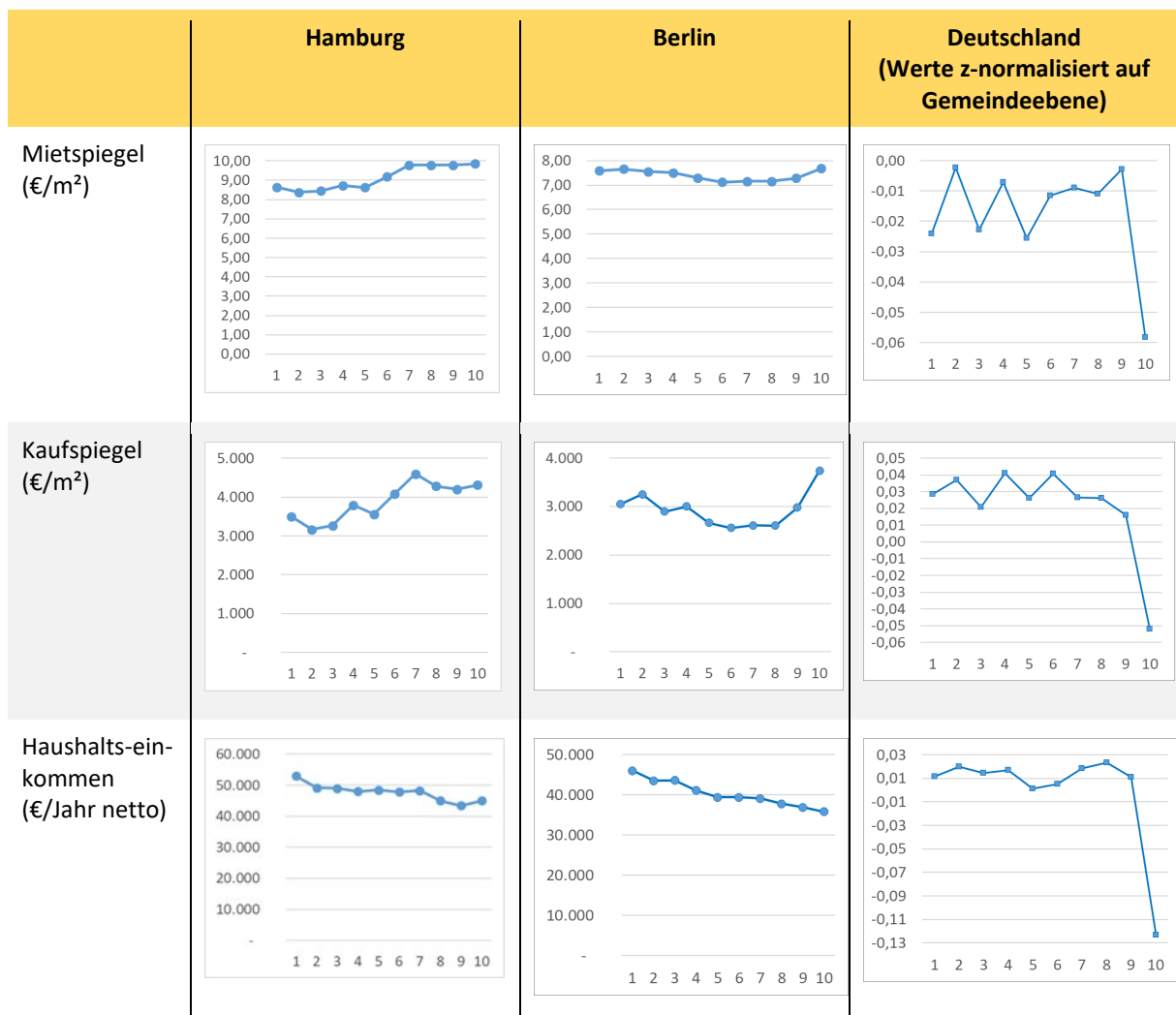
7.4 Vergleichende Betrachtung der Untersuchungsräume

In diesem Abschnitt werden zunächst nur die in den vorangegangenen Analysen erarbeiteten Ergebnisse zusammengefasst und verglichen. Die möglichen Limitationen, denen diese unterliegen, werden in Kapitel 8 diskutiert.

Das Ausprägung des Zusammenhangs zwischen sozioökonomischem Status und Feinstaubexposition in den Untersuchungsräumen wurde mit zwei analytischen Instrumenten untersucht: räumlichen Regressionsmodellen (Hamburg und Berlin) und einer einfaktoriellen Varianzanalyse von Fallgruppen der SES-Variablen innerhalb von Dezilen der Feinstaubimmissionen (ANOVA).

Die Tendenzen der Zusammenhänge aus der Betrachtung von SES-Fallgruppen auf der Ebene von Feinstaubdezilen sind aus den Diagrammen der jeweiligen Mittelwerte in der folgenden Abbildung 56 ersichtlich. Die ANOVA hatte in jedem Fall signifikante Unterschiede für alle Fallgruppen des jeweiligen SES-Indikators ergeben (jedoch mit unterschiedlichen Ergebnissen der *post hoc* Analysen, vgl. vorhergehende Abschnitte). Dabei zeigen die Mittelwerte der verschiedenen Indikatoren in den jeweiligen Untersuchungsräumen jedoch unterschiedliche Tendenzen. In Hamburg steigen Miet- und Kaufspiegel mit steigender Feinstaubbelastung an, in Berlin verläuft die Kurve eher U-förmig mit jeweils höheren SES-Werten in den unteren und oberen Dezilen und auf gesamtdeutscher Ebene zeigt sich ein eindeutiger (und hier abfallender) Trend bei Miet- und Kaufspiegeldaten erst am oberen Ende der Belastungsskala. Beim Haushaltseinkommen hingegen finden sich in allen drei Untersuchungsräumen die höheren Werte in den Fallgruppen mit geringerer Feinstaubbelastung. Allerdings ist auch dieser Trend in Berlin etwas eindeutiger ausgeprägt als in Hamburg, wo im 10. Feinstaubdezil das durchschnittliche Haushaltseinkommen noch einmal leicht ansteigt. Deutschlandweit ist das Bild beim Haushaltseinkommen sehr ähnlich wie bei Miet- und Kaufspiegel, insofern der Mittelwert erst im 10. Feinstaubdezil abfällt und hier signifikant niedriger ist als in allen anderen Fallgruppen. Auch wenn Hamburg und Berlin nur einen kleinen Teil der Fallzahlen für Deutschland insgesamt ausmachen, soll hier daran erinnert werden, dass die Daten dieser beiden Analyseräume bei den Analysen auf 2 x 2 km² für ganz Deutschland mit enthalten sind.

Abbildung 56: Mittelwertdiagramme der SES-Indikatoren in Dezilen der Feinstaubbelastung der jeweiligen Untersuchungsräume



Für Berlin und Hamburg bestätigen die räumlichen Regressionsberechnungen die Ergebnisse der ANOVA mit einer positiven Korrelation zwischen Feinstaubbelastung und Miet- sowie Kaufspiegel in Hamburg und negativen Korrelationen bei allen anderen Variablenpaaren (Berechnungen jeweils mit z-normalisierten Werten). Dabei ist der deutlich größte Effekt des Feinstaubindikators als unabhängiger bzw. rechter Variable im Regressionsmodell auf das Haushaltseinkommen in Berlin zu beobachten.

8 Auswertung und Defizitanalyse

8.1 Schlussfolgerungen

An dieser Stelle werden zunächst die Schlussfolgerungen aus den vorhergehenden Kapiteln 5 bis 7 formuliert. Die methodischen Einschränkungen und möglichen Limitationen dieser Erkenntnisse werden im folgenden Abschnitt diskutiert.

Für die einzelnen Untersuchungsräume deuten die Ergebnisse auf folgende Zusammenhänge hin:

Hamburg

Die z-normalisierten Werte der SES-Variablen korrelieren positiv miteinander, sowohl auf Baublockebene (Miet- mit Kaufspiegel) als auch auf Ebene des $1 \times 1 \text{ km}^2$ Rasters (Miet- bzw. Kaufspiegel mit Haushaltseinkommen) mit β in allen Fällen $\geq 0,44$. Dies bestätigt die prinzipiell naheliegende Annahme, dass Raumeinheiten mit höheren Quadratmeterpreisen für Wohnraum tendenziell auch von Haushalten mit einem höheren durchschnittlichen Jahresnettoeinkommen bewohnt werden.

Auch die beiden Indikatoren für die Feinstaubbelastung zeigen auf der $2 \times 2 \text{ km}^2$ Ebene eine signifikant positive Korrelation mit einem relativ hohen Regressionskoeffizienten ($\beta = 0,648$): eine um $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ höhere Hintergrundbelastung mit $\text{PM}_{2,5}$ in der Außenluft geht einher mit einer $0,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ höheren Gesamtbelastung. Diese Tatsache ist relevant, weil beide Parameter aus unterschiedlichen Modellen stammen, das heißt der Hintergrundanteil der lokalen Belastungsmaße auf $100 \times 100 \text{ m}^2$ ist *nicht* die hier verwendete Variable für die Hintergrundbelastung. Dieses Ergebnis könnte darauf hindeuten, dass die Hintergrundbelastung in $2 \times 2 \text{ km}^2$ Auflösung insgesamt einen recht guten Indikator für die relative Belastung auf dieser Maßstabebene darstellt, zumindest in Regionen, die siedlungsstrukturell und klimatisch vergleichbar sind mit Hamburg. Das gilt jedoch nicht für die absolute Belastung, da die Hintergrundwerte erwartungsgemäß generell unterhalb jenen für die Gesamtbelastung liegen (vgl. Abschnitt 5.2.1). Es kann auch in weniger dicht besiedelten Räumen zu stärkeren Unterschieden beim quantitativen Zusammenhang zwischen Hintergrundbelastung und lokaler Gesamtbelastung kommen. Dies lässt sich allerdings anhand der vorliegenden Daten nicht überprüfen, da nur für Hamburg großräumige Informationen über die Gesamtbelastung vorliegen.

Bei der Untersuchung des Zusammenhangs zwischen den drei SES-Indikatoren und der Feinstaubbelastung zeigt sich, dass die Korrelation mit sowohl Miet- als auch Kaufspiegel tendenziell umgekehrt verläuft als mit dem Haushaltseinkommen. Die beiden ersteren Variablen steigen eher leicht mit steigender Feinstaubbelastung ($\beta = 0,188$ bzw. $0,095$ für die z-Werte – im Folgenden β_z), während das Haushaltseinkommen in stärker belasteten Raumeinheiten tendenziell geringer ist ($\beta = -0,124$) – trotz des positiven Zusammenhangs der SES-Variablen untereinander. Da diesen Ergebnissen unterschiedliche räumlich Auflösungen zugrunde liegen, wäre denkbar, dass es sich hierbei um einen Effekt des modifiable areal unit problems (MAUP) handelt – eine höhere räumliche Auflösung kann differenziertere Effekte abbilden und somit ggf. andere Ergebnisse zeitigen als gröber aufgelöste Daten (vgl. O'Sullivan und Unwin 2010, Kapitel 2).

Es ist zum Beispiel denkbar, dass Haushalte in stärker belasteten, zentraleren (somit ggf. aber auch attraktiveren) Wohnlagen Hamburgs deutlich weniger Wohnfläche pro Kopf bewohnen und möglicherweise außerdem einen höheren Anteil ihres Einkommens für Wohnen ausgeben als Haushalte, die in weniger belasteten aber ggf. auch dezentraleren Lagen zu finden sind. Da

die vorhandenen Datensätze jedoch keine Information über Wohnungsgröße oder Haushaltsgröße enthalten, lässt sich diese These hier nicht überprüfen.

Berlin

Die domäneninternen Zusammenhänge der SES- respektive Feinstaub-Indikatoren miteinander sind in Berlin mit jenen in Hamburg vergleichbar – jedoch mit geringeren β -Werten für die Zusammenhänge der SES-Indikatoren und einem leicht höheren β von 0,688 für die beiden Variablen zur Feinstaubhintergrundbelastung.

Anders sieht dies jedoch bei der Korrelation der Miet- und Kaufspiegeldaten mit den Belastungsdaten aus. Hier zeigt sich, dass in Berlin eine höhere $PM_{2.5}$ Belastung eher mit niedrigeren Quadratmeterpreisen für Wohnraum einhergeht ($\beta_z = -0,153$ für Mietspiegel $\sim PM_{2.5}$, $\beta_z = -0,161$ für Kaufspiegel $\sim PM_{2.5}$). Der Zusammenhang von Haushaltseinkommen mit der Hintergrundbelastung entspricht sogar einem β_z von -0,431. Allerdings muss berücksichtigt werden, dass die Feinstaubdaten für Berlin gröber aufgelöst sind und vor allem lediglich Hintergrundwerte abbilden. Auch diese Eigenschaften der Datensätze könnten Variationen in kleineren Beobachtungseinheiten überdecken – eine Möglichkeit die auch ein Vergleich der Karten in Abbildung 44 und Abbildung 51 nahe legt.

Generell weisen die Daten für Berlin somit zwar Korrelationen auf, die eher mit den Ergebnissen anderer UG-Studien übereinstimmen (z. B. Hoffmann et al. 2009; Köckler et al. 2008; Riedel et al. 2011). Allerdings finden sich auch hier die Fallgruppen an Standorten mit den höchsten Wohnkosten in den oberen Dezilen der Feinstaubbelastung. Dies kann in beiden Städten mit Maßen der Lagegunst zu tun haben, die stärker von der Zentralität einer Wohnung als von der Umweltbelastung ihrer Umgebung dominiert werden, wobei dieser Effekt dann in Hamburg stärker ausgeprägt wäre als in Berlin. Auch die auf lokaler Ebene oft sehr kleinräumigen Unterschiede in der Umweltqualität können hier eine Rolle spielen: die Verkehrs- und somit Umweltbelastung von Wohnlagen direkt an einer Hauptverkehrsstraße mit Blockrandbebauung ist generell deutlich höher als auf der Rückseite desselben Blocks oder in Innenhoflagen. Beide Wohnlagen können sich aber in derselben hier betrachteten räumlichen Analyseeinheit befinden, sowohl auf Baublockebene (Hamburg) als auch auf Rasterebene (Berlin). Zuletzt ist auch hier ein Effekt denkbar wie er im Vorangegangenen für Hamburg als möglich erachtet wurde: geringere Wohnfläche pro Kopf in zentralen Lagen und / oder Wohnkosten machen einen höheren Anteil des Haushaltseinkommens aus. Generell kann eine kleine Wohnung in zentraler Lage mit relativ hohen Quadratmeterpreisen insgesamt weniger kosten als eine größere Wohnung in einer auf Basis der Wohnkosten als günstiger eingestuften Lage.

Deutschland

Bei der Analyse für ganz Deutschland bieten die Ergebnisse der ANOVA ein sehr anderes Bild als in den beiden Betrachtungsräumen Hamburg und Berlin²⁸. Die Ergebnisse zeigen zwar in der Gesamtschau – wie in Berlin und anders als in Hamburg –, dass alle SES-Indikatoren an höher belasteten Standorten eher niedrigere Werte annehmen. Allerdings ist dieser Effekt bei allen drei Indikatoren jeweils nur im zehnten Belastungsdezil signifikant. Keine der anderen Fallgruppen unterscheiden sich auf statistisch signifikante Weise voneinander. Außerdem sind die analysierten z-Werte auf Grund der gewählten Methodik jeweils nur im Kontext der Gemeindezugehörigkeit einer Raumeinheit einzuordnen und nicht im gesamtdeutschen Vergleich.

Zudem zeigt sich, dass das bundesweit am stärksten belastete Dezil alle besiedelten Flächen der beiden Bearbeitungsräume Hamburg und Berlin mit einschließt (vgl. Abbildung 55). Die dort jeweils festgestellten signifikanten Unterschiede bei den Zusammenhängen zwischen SES und

²⁸ Die Korrelationsanalysen führten aus den in Abschnitt 7.3.1 genannten technischen Gründen zu keinem Ergebnis.

Feinstaubbelastung werden auf der deutschen Betrachtungsebene somit durch die größere Maßstabsebene vollständig überlagert. Da in diesem Falle die gleichen SES-Indikatoren auf unterschiedlichen Ebenen der Aggregation betrachtet wurden, illustriert diese Beobachtung sehr anschaulich das Problem des ökologischen Fehlschlusses auf Grund des MAUP (siehe Schlussfolgerungen zu den Hamburg Daten). Es steht zu vermuten, dass Gleiches für die anderen urbanen und Ballungsräume im zehnten Dezil gilt. Diese Annahme lässt sich anhand der für dieses Gutachten vorliegenden Daten zwar nicht überprüfen, andere UG-Studien haben jedoch in einigen der Räume, die im besagten zehnten Dezil liegen in der Vergangenheit schon signifikante Unterschiede in der Umweltbelastung verschiedener SES-Gruppen an ihrem Wohnstandort festgestellt (z. B.: subjektive Belastungsbewertung: Bolte et al. 2004, objektive Belastungsbemessung: Köckler et al. 2008, Hoffmann et al. 2009, Riedel et al. 2011). Der Effekt ist zudem von äußerst hoher Relevanz, da diese Fallgruppe aus knapp 30 Millionen Menschen besteht (zuzüglich derjenigen, die auf Grund der verschiedenen Datenaufbereitungsschritte in die Gesamtsumme nicht mit übernommen wurden). Es ist offensichtlich, dass sich innerhalb dieser Gruppe sehr unterschiedliche Wohnstandortbelastungen manifestieren sollten.

8.2 Defizitanalysen

8.2.1 Transparenz der Entstehung der Datensätze

Alle im Rahmen dieses Gutachtens verwendeten Datensätze basieren auf Modellierungen und unterliegen daher inhärenten methodischen Limitationen in Bezug auf zum Beispiel die (flächendeckende) Verfügbarkeit und Genauigkeit der notwendigen Eingangsparameter. Allerdings wären viele Fragestellungen in unter anderem der Umweltgerechtigkeits- und der Gesundheitsforschung ohne die Verwendung solcher Daten gar nicht zu untersuchen. Insofern die verwendeten Methodiken entsprechend dokumentiert sind, besteht auch zumindest die Möglichkeit, die zugrundeliegenden Annahmen nachzuvollziehen und bei einer Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen.

Auf Basis der verwendeten Datensätze lässt sich nicht ausschließen, ob bzw. wo auf Grund des MAUP (vgl. Abschnitt 8.1) möglicherweise ein ökologischer bzw. kollektiver Fehlschluss vorliegt: aggregierte Daten verbergen Unterschiede, die jedoch bei einer kleinräumigeren Betrachtung zu Tage träten. Dieses Phänomen ist in UG-Studien bereits häufiger nachgewiesen worden (vgl. Mennis 2002; Schweitzer und Stephenson (Jr.) 2007). Zudem ist zu berücksichtigen, dass hier nicht der gleiche, sondern verschiedene SES-Indikatoren auf verschiedenen räumlichen Ebenen analysiert wurden. Diese können durchaus auch unterschiedliche Phänomene anzeigen.

Nutzung kommerzieller Daten

Die methodische Transparenz der Entstehung kommerzieller Datensätze ist limitiert. Das erschwert die Bewertung ihrer Güte und genauen inhaltlichen Aussage. So wirft zum Beispiel die Tatsache, dass die von infas360 gelieferten Baublockdaten vereinzelt Flächen von null Quadratmeter aufwiesen, Fragen darüber auf, welchen Qualitätskontrollen diese Daten unterzogen werden (auch wenn im Kontext der sehr großen Fallzahlen diese Ausreißer statistisch betrachtet unerheblich waren). Im Falle von beispielsweise Zensusdaten sind die Methodiken der Erhebung und Aufbereitung ausführlicher dokumentiert.

Auch eine Offenlegung der Arbeitsdaten im Sinne von *open science* ist bei der Verwendung derartiger Daten nicht möglich. Die gelieferten Rohdaten und aus diesen Daten generierte Datensätze müssen zu Projektende gelöscht werden. Das macht die entsprechenden Analysen nur im Zuge eines erneuten Datenerwerbs replizierbar.

Mietspiegel und Kaufspiegeldaten

Die Datensätze verfügen über eine hohe räumliche Auslösung und können für alle gewünschten Jahreszeiträume mit deutschlandweiter Abdeckung verfügbar gemacht werden.

Ein Nachteil ist jedoch, dass diese Daten – im Gegensatz zu beispielsweise Zensusdaten – nicht mit kostenfrei verfügbaren inhaltlich komplementären Informationen (z. B. Haushaltsgröße und -strukturen, Daten zu sozialversicherungspflichtigen Beschäftigung oder Bezug von Transferleistungen) mit der gleichen räumlichen Auflösung und demselben zeitlichen Bezug kombinierbar sind.

Eine weitere Einschränkung in der Belastbarkeit der Daten ergab sich aus der Erkenntnis, dass die Klassifizierung von Baublöcken als ‚bewohnt‘ nicht eindeutig nachvollziehbar war. Zwar sollten nach Aussage von infas360 alle Baublöcke als bewohnt gelten, für die sowohl Miet- als auch Kaufspiegeldaten vorliegen. Eine stichprobenartige Überprüfung zeigte jedoch, dass diese Klassifizierung in Hamburg nicht immer korrekt war (vgl. Abschnitt 3.1.2). Auch das oben beschriebene Korrekturverfahren konnte keine vollständig konsistente Klassifizierung gewährleisten, es herrschte jedoch Einigkeit mit dem Auftraggeber, dass die gewählte Methode einen belastbaren Datensatz hervorbringen würde, als dies bei einer unkorrigierten Übernahme der infas360 Baublöcke der Fall wäre.

Die hier verwendeten Miet- und Kaufspiegeldaten basieren unter anderem auf Informationen aus dem online Portal Immoscout. Die Datensätze sind also nur höchstens so repräsentativ für die realen Immobilienmärkte wie die in diesem Portal angebotenen Objekte. Es liegen aber keine Informationen zum Grad der Repräsentativität vor.

Daten zum Haushaltseinkommen

Dieser Datensatz ist weniger fein aufgelöst als die Daten zum Miet- und Kaufspiegel, ist aber ebenfalls für eine deutschlandweite Betrachtung und mit unterschiedlichen Jahresbezügen verfügbar. Für diese Daten fand eine Umlegung von Daten aus sekundären Quellen mit dem Raumbezug Gemeindeebene statt, die auf „statistischen Modellen“ beruht (microm Consumer Marketing ohne Datum, S. 102; vgl. Abschnitt 3.1.1).

Auch diese Daten dürfen nicht an Dritte weitergegeben werden. Aufgrund der Vereinbarung zwischen der microm GmbH als Datenerstellerin und dem FDZ Ruhr am RWI als Bereitsteller fallen bei diesem Datensatz jedoch sehr viel geringere Kosten an als für die infas360 Produkte, so dass hier die Schwelle für eine wiederholte Nutzung niedriger ist.

Der für dieses Projekt erworbene Datensatz wird vom Anbieter unter der Bezeichnung Kaufkraft geführt, stellt aber tatsächlich das jährliche Haushaltseinkommen dar. Es handelt sich somit nicht um Daten, die lokale oder regionale Unterschiede im Preisniveau für Wohnen, Mobilität oder andere Lebenshaltungskosten berücksichtigen. Die tatsächliche örtliche Kaufkraft und ein damit verbundenes Maß an Wohlstand werden durch diese Daten nicht wiedergegeben.

Daten zur Feinstaubbelastung

Die in diesem Gutachten verwendeten Datensätze zur Feinstaubbelastung lagen in drei unterschiedlichen räumlichen Auflösungen vor. Da der deutschlandweite Datensatz die beiden zusätzlichen Betrachtungsräume Hamburg und Berlin mit abdeckte, war es möglich, einen Vergleich mit den für diese Räume vorliegenden Daten zur Belastung durchzuführen (vgl. Abschnitt 5.2). Die Ergebnisse für Hamburg und Berlin sind allerdings nur bedingt miteinander vergleichbar, da die Feinstaubdaten für Hamburg die dortige Gesamtbelastung abbilden, diejenigen für Berlin wie auch die deutschlandweiten Daten jedoch lediglich die Hintergrundbelastung quantifizieren.

Die Daten für die $PM_{2.5}$ Hintergrundbelastung in Berlin im $500 \times 500 \text{ m}^2$ Raster lagen im Koordinatensystem ETRS:89 vor, die $100 \times 100 \text{ m}^2$ Daten für Hamburg in EPSG:32632, beide mit Transverse Mercator Projektion. Für die weitere Bearbeitung wurden sie auf die Raster des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie (BKG) im Koordinatensystem ETRS:89 mit Lambert Azimuthal Equal Area Projektion (EPSG:3035) umprojiziert. Der räumliche Bezugsrahmen für die Nettohaushaltseinkommensdaten lag bereits in dieser Projektion vor. Die deutschlandweiten Daten auf $2 \times 2 \text{ km}^2$ Ebene wurden im Koordinatensystem EPSG:25832 sowie EPSG:3035 in Transverse Mercator Projektion zur Verfügung gestellt. Dieser Datensatz ließ sich nicht umprojizieren und wurde daher unverändert genutzt.

8.2.2 Datenaufbereitung

Gewichtete räumliche Aggregation

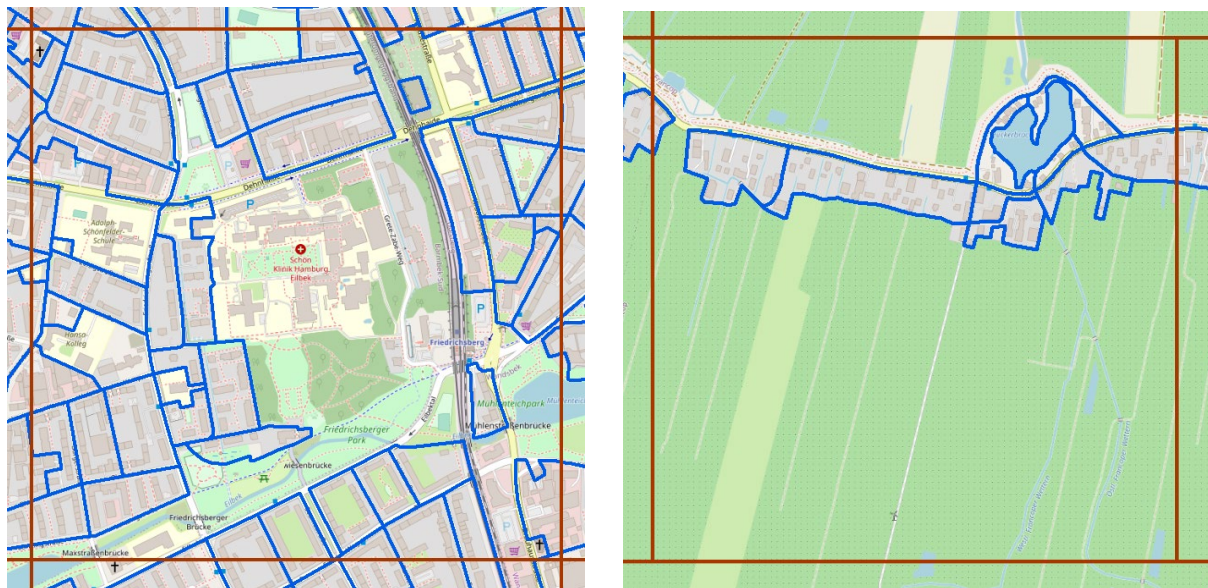
Die verschiedenen räumlichen Auflösungen der verwendeten Datensätze bedingten verschiedene Schritte der räumlichen Verschneidung und Aggregation, um die jeweiligen Variablen miteinander in Bezug setzen zu können.

Für die Belastungsdaten wurden zu diesem Zweck Flächengewichtungen vorgenommen. Dieses Vorgehen basiert – entsprechend dem Rasterflächenformat der Daten – auf der Annahme, dass der für das Zentroid einer Rasterzelle modellierte Belastungswert flächenhaft für die gesamte Zelle gilt und an der Grenze zwischen zwei Zellen ohne Gradient in den Wert für die benachbarte Zelle übergeht.

Im Falle der SES-Indikatoren basierten die Gewichtungen auf Einwohnerzahlen. Eine flächenabhängige Gewichtung der Miet- und Kaufspiegel innerhalb einer Rasterzelle erschien nicht sinnvoll, da dabei die Werte der Zellen unabhängig davon verwendet worden wären, wie viele Haushalte sie repräsentieren. So kann ein flächenmäßig großer Baublock mit teuren, großen Wohneinheiten, ausgedehnten Grünflächen und wenig Einwohnerinnen und Einwohnern deutlich höhere Quadratmeterkosten aufweisen als ein kleinerer Baublock, mit zahlreicheren aber weniger teuren Wohneinheiten in Geschossbauweise. Diese niedrigeren Quadratmeterpreise würden dann mit geringerer Gewichtung übernommen, obwohl sie die Wohnkosten von mehr Menschen repräsentieren. Der Gewichtung von Werten der SES-Daten auf der Basis von Einwohnerzahlen liegt jedoch ebenfalls die Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der Wohnbevölkerung im jeweiligen Baublock bzw. der Rasterzelle zugrunde, welche in der Realität häufig nicht vorliegt. Die in Abbildung 57 gezeigten Beispiele verdeutlichen dies.

Die dort gezeigten $1 \times 1 \text{ km}^2$ Rasterzellen enthalten unter anderem unbewohnte Grün-, Blau- und Verkehrsflächen und auch die Fläche der Baublöcke ist jeweils nur zum Teil bebaut. Auf der Ebene der feineren räumlichen Auflösung führt die Annahme einer gleichmäßigen Verteilung der Wohnbevölkerung zu geringeren Abweichungen von der Realität. In beiden Fällen würde jedoch die Möglichkeit einer dasymetrischen (also dichteabhängigen) Berechnung der Bevölkerungsverteilung vor einer gewichteten Aggregation der Werte für zum Beispiel das Bevölkerungseinkommen zu präziseren Ergebnissen führen (vgl. hierzu auch Sleeter 2008). Die für ein solches Vorgehen benötigten Daten zur Verortung und Art der Wohnbebauung (z. B. Mehrfamilien- oder Einfamilienhäuser; ebd.) lagen jedoch für die Betrachtungsräume im Rahmen dieses Gutachtens nicht vor.

Abbildung 57: Darstellung von zwei 1 x 1 km² Rasterzellen in Hamburg (rot markiert) mit Baublöcken (blau markiert) und Bebauungsstruktur; links: zentrale Lage, rechts: dezentrale Lage



Quellen: eigene Darstellung auf Basis von infas360 Daten (Baublöcke), BKD Daten (1 x 1 km² Raster), OpenStreetMap (Karte); kein Maßstab

Nicht zu umgehen war zudem die zeitliche Diskrepanz zwischen den Zensusdaten (2011) und den Datensätzen von infas360 (2015 – bzw. 2010-2015) und microm (2015). Dieser Schritt hatte auch Auswirkungen auf das Ergebnis der Baublockflächenkorrektur anhand von ATKIS-Daten: wie in Abschnitt 3.1.2 erläutert, war ein (alleiniges) Überprüfen bewohnter Flächen in den infas360 Daten anhand von Zensusdaten zunächst verworfen worden. Für die räumliche Aggregation war die Nutzung dieser Daten dann jedoch notwendig.

Unabhängig von der Berechnung des Gewichtungsfaktors bei der Verschneidung der Datensätze hatte sich die Frage gestellt, ob die gewichteten SES-Indikatoren den übergeordneten Raumeinheiten deutschlandweit als Realdaten zugewiesen werden sollten – also als €/m² bzw. €/Jahr. Das bereits im vorangegangenen Abschnitt 8.2.1 erwähnte Problem, dass die SES-Indikatoren keine regionalen Kaufkraftunterschiede abbilden (vgl. hierzu auch Roehl und Schröder 2017) wäre damit jedoch nicht gelöst worden. Eine Standardisierung der Daten auf Basis von räumlichen Bezugseinheiten erschien somit sinnvoll.

Es bestanden jedoch keine eindeutigen Kriterien für die Auswahl der Raumeinheit. Bezüglich des Entstehens von sozialräumlicher Differenzierung ist zum Beispiel nicht pauschal von einer Bedeutsamkeit der Gemeindegrenzen auszugehen. Gerade wenn es um Leistbarkeit geht, dürfte eine Wohnstandortwahl gemeindeübergreifend erfolgen – nicht nur aber besonders auch im Falle kleinerer Gemeinden, wenn durch einen Gemeindefwechsel nicht zwingend sehr viel längere Wege zu beispielsweise Arbeitsplatz oder Schule entstehen. Dieses Argument würde prinzipiell jedoch auch bei einer Normalisierung auf Basis von Kreisen gelten, es ergäbe sich allerdings rein flächenmäßig eine bessere Vergleichbarkeit mit kreisfreien (Groß)Städten. In Ermangelung eindeutiger Entscheidungskriterien wurde seitens des Auftraggebers einer Standardisierung durch z-Transformationen auf Basis von Gemeindegrenzen der Vorzug gegeben.

Interpretierbarkeit der Ergebnisse für Deutschland

Die Verwendung von Daten, die auf Basis unterschiedlicher (weil gemeindebasierter) Mittelwerte und Standardabweichungen z-transformiert wurden, beschränkt die Interpretierbarkeit der Ergebnisse der deutschlandweiten Analysen (vgl. Kapitel 7.3). Die z-Werte der SES-Indikatoren lassen sich nur in Kenntnis der jeweiligen Werte für Mittelwert und Standardabweichung in tatsächliche Quadratmeterpreise oder Haushaltseinkommen konvertieren. Dies ist zum Beispiel bei den Regressionsanalysen für Hamburg und Berlin der Fall (Abschnitte 7.2.1 und 7.2.1). Regressionskoeffizienten oder Mittelwerte mit bundesweitem Bezug lassen sich jedoch nur noch relativ zu dann jeweils unterschiedlichen Bezugsgrößen interpretieren. So besagen zum Beispiel die Ergebnisse zur Verteilung der Mietspiegel innerhalb der Dezile der Feinstaubbelastung (vgl. Tabelle 51 in Abschnitt 7.3.2), dass die Quadratmeterpreise im zehnten Dezil im Mittel 0,06 Standardabweichungen unterhalb des durchschnittlichen Mietspiegels in ihrer jeweiligen Gemeinde liegen. Diese Information lässt sich aber nicht mehr mit Daten darüber verbinden, wie stark sich die Spreizung der Daten und damit zum Beispiel ihre Standardabweichungen zwischen den Gemeinden unterscheiden.

Laut Nutzungsbedingungen der SES-Daten müssen zudem sowohl die Originaldaten als auch aus ihnen berechnete Datensätze wie zum Beispiel die deutschlandweiten z-Werte nach Beendigung dieses Projekts gelöscht werden. Sie können daher zu einem späteren Zeitpunkt nicht daraufhin untersucht werden, wo genau Raumeinheiten mit spezifischen z-Werten zu finden sind (diese Einschränkung bestünde jedoch auch bei der Verwendung von nicht transformierten Werten).

8.2.3 Inhaltliche Einschränkungen der verfügbaren Datensätze

SES-Indikatoren

Der Abgleich zwischen prinzipiell inhaltlich sinnvollen Indikatoren des SES und den für dieses Gutachten verfügbaren und somit zu nutzenden Daten erfolgte in Kapitel 2. Dennoch weisen auch die hier verwendeten Variablen inhaltliche Defizite auf, die sich im Rahmen dieses Gutachtens nicht ausgleichen ließen.

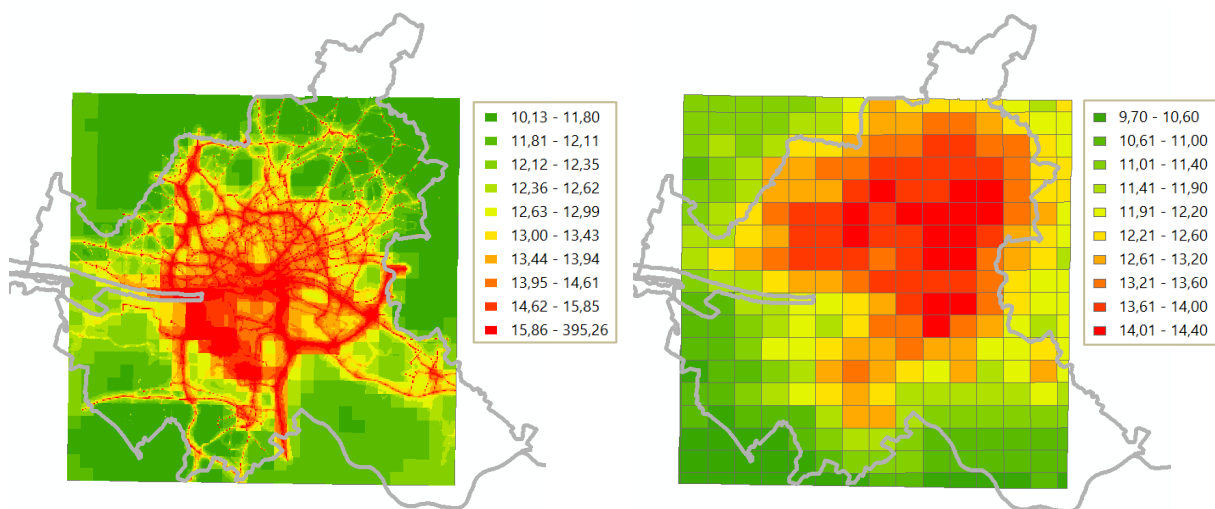
- a) Die SES-Variablen enthalten keine Informationen über Altersheime, Pflegeheime, oder vergleichbare Einrichtungen. Baublöcke, in denen sich zwar solche Einrichtungen aber keine sonstige Wohnbevölkerung befindet, werden somit im Rahmen der Analysen nicht erfasst. Gerade bei einer Betrachtung umweltbedingter Krankheitslasten wären jedoch die auf Grund von Alter und möglichen Vorerkrankungen vulnerableren Bewohnerinnen und Bewohner gerade von Langfrsteinrichtungen dieser Art eine relevante Bevölkerungsgruppe.
- b) Die Datensätze zum Miet- und Kaufspiegel können nicht mit Informationen zur Größe der Wohneinheiten abgeglichen werden. Diese haben aber einen entscheidenden Einfluss auf die tatsächlichen Wohnkosten eines Haushalts. So kann gerade in geringer belasteten Randbereichen von Großstädten oder Metropolregionen eine größere Wohneinheit bei möglicherweise geringeren Quadratmeterpreisen insgesamt mehr kosten, als eine kleinere Einheit in einer zentraleren aber stärker belasteten Wohnlage. Auf Basis der Quadratmeterpreise würde dem Haushalt mit der zentraleren Wohnlage jedoch konzeptionell ein höherer SES-Status zugewiesen. Der Zusammenhang mit dem SES ist also eingeschränkt, daher ist die Nutzbarkeit der Daten zum Miet- und Kaufspiegel als SES-Indikator limitiert.
- c) Aus Punkt b. ergäbe sich mit entsprechenden Zusatzinformationen möglicherweise eine andere Bedeutung der Beobachtung, dass eine höhere Feinstaubbelastung sowohl in Hamburg (Abschnitt 7.1) als auch teilweise in Berlin (Abschnitt 7.2) mit höheren Miet- und Kaufspiegelwerten einher geht (vorbehaltlich der Eignung der Feinstaubdaten für diese Analysen).

- d) Das Haushaltseinkommen ist zwar unter den für die vorliegende Studie verfügbaren Variablen diejenige, die den SES am besten repräsentiert (vgl. Abschnitt 2.3). Sie berücksichtigt jedoch nicht die Haushaltsgröße. Diese hat aber einen deutlichen Einfluss auf die Kaufkraft eines Haushalts (in Form des sogenannten Äquivalenzeinkommens als alters- bzw. bedarfsgewichtetes pro Kopf Einkommen; vgl. Roehl und Schröder 2017, DIW Berlin ohne Jahr).
- e) Ergänzend ist die Leistbarkeit von Wohnraum nicht nur von dessen absoluten Kosten abhängig, sondern ist relativ zu anderen Faktoren wie regionalen Einkommensunterschieden und Preisniveaus für andere regelmäßige Ausgaben zu bewerten (Roehl und Schröder 2017). Eine solche Einordnung ermöglichen diese Datensätze jedoch nicht.
- f) Die räumliche Auflösung der Daten zum Haushaltseinkommen mit $1 \times 1 \text{ km}^2$ kann gerade in dicht besiedelten Räumen dazu führen, dass kleinräumigere Unterschiede in den Belastungsmustern nicht ausreichend differenziert betrachtet werden können.

Feinstaubbelastung

Die Belastungsvariable lag sowohl für Berlin als auch für Deutschland nur als Hintergrundbelastung vor. Die quantitativen Unterschiede zur Gesamtbelastung wurden für Hamburg in Abschnitt 5.2.1 untersucht. Ein Vergleich der beiden Feinstaubdatensätze für diesen Betrachtungsraum zeigt ergänzend die räumliche Verschiebung zwischen den höchsten Belastungswerten für diesen Untersuchungsraum (Abbildung 58). Berechnungen der *Hintergrundbelastung* beziehen zwar Straßen und andere Quellen mit ein, bilden jedoch die lokalen Spitzen nicht direkt ab, sondern rechnen sie in großflächige Belastungsmuster um und berücksichtigen auch die Effekte von z. B. vorherrschender Windrichtung – in Hamburg aus Südwesten. Höhere $\text{PM}_{2.5}$ -Hintergrundwerte sind somit unter Umständen räumlich relativ weit von lokalen Quellen entfernt. Während dieser Effekt im Falle der Hintergrundbelastung den tatsächlichen Ausbreitungsmustern entspricht, spiegelt er nicht die örtlichen Unterschiede in der Gesamtbelastung: räumliche Analyseeinheiten der SES-Indikatoren fallen ggf. in hohe Belastungsgruppen für Hintergrundwerte (z. B. im Hamburger Nordosten), obwohl sie absolut betrachtet weniger stark belastet sind als andere Fälle nahe Hauptverkehrsstraßen, die auf Basis der Hintergrundbelastung in niedrigeren Belastungskategorien eingeordnet werden (hier zum Beispiel Fälle nördlich und südlich der Elbe).

Abbildung 58: Vergleichende Darstellung der $\text{PM}_{2.5}$ Belastung in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ für Hamburg in Dezilen des jeweiligen Datensatzes: lokale Gesamtbelastung auf $100 \times 100 \text{ m}^2$ (links) und Hintergrundbelastung auf $2 \times 2 \text{ km}^2$ (rechts)



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Zudem liegt die Hintergrundbelastung – im Vergleich zu den SES-Variablen Miet- und Kaufspiegel – nur in der relativ groben Auflösung von $2 \times 2 \text{ km}^2$ vor. Aus diesen Gründen muss davon ausgegangen werden, dass der Datensatz zur Differenzierung der Feinstaubexposition nach SES und damit zur Berechnung von Krankheitslasten auf Grund von $\text{PM}_{2.5}$ -Exposition am Wohnstandort nur bedingt geeignet ist. Andererseits stellt er jedoch die einzige Grundlage zur Beantwortung der entsprechenden Fragestellungen dar, weshalb eine explorative Betrachtung dennoch durchgeführt wurde.

9 Erkenntnisse und Empfehlungen

9.1 Forschungsfragen

Die zentralen Antworten auf die in Abschnitt 1.2 formulierten Forschungsfragen sind im Folgenden zusammengefasst. Im weiteren Verlauf dieses Kapitels finden sich ergänzende Erkenntnisse und Empfehlungen.

- 1. *Was sind geeignete Indikatoren für den sozioökonomischen Status in Deutschland, die räumlich unterhalb der Gemeindeebene aufgelöst sind und (möglichst) auf frei verfügbaren Daten beruhen?*

Die Literaturrecherche ergab, dass in den untersuchten SES-Indizes häufig ähnliche Indikatoren zum Einsatz kamen (vgl. Tabelle 14). Inhaltlich vergleichbare und frei verfügbare Daten für Deutschland liegen allerdings vor allem auf Gemeinde- oder Landkreisebene vor, was nicht der gewünschten Auflösung unterhalb der Gemeindeebene entspricht. Für dieses Gutachten wurde daher das durchschnittliche jährliche Haushaltsnettoeinkommen in Euro auf Ebene eines 1 x 1 km² Rasters vom Forschungsdatenzentrum (FDZ) Ruhr am RWI akquiriert (berücksichtigt: alle regelmäßigen Einkünfte aus Arbeit, Vermögen und Transferleistungen nach Abzug von Steuern und Sozialabgaben; Stand 2015). Zusätzlich wurden die Indikatoren Miet- und Kaufspiegel in €/m² auf Ebene von Baublöcken von infas360 erworben (ebenfalls Stand 2015). (vgl. Abschnitt 2.4)

- 2. *Kann für Deutschland ein SES-Index gebildet werden und wie sollte eine solcher Index inhaltlich gestaltet sein, um zur Berechnung umweltbedingter Krankheitslasten genutzt werden zu können?*

Basierend auf den Erkenntnissen aus der Literaturrecherche, dem Workshop mit Expertin und Experten sowie einer anschließenden Diskussion mit dem Auftraggeber wurde entschieden, von einer Indexbildung abzusehen (vgl. Abschnitt 2.3) und stattdessen inhaltlich und räumlich geeignete SES-Indikatoren zu nutzen (siehe folgende Frage).

- 3. *Falls ein solcher SES-Index nicht gebildet werden kann, welche Alternativen gibt es?*

Es wurde entschieden, Daten zum durchschnittlichen Haushaltseinkommen mit einer Auflösung von 1 x 1 km² sowie Miet- und Kaufspiegeldaten auf der Ebene von Baublöcken zu verwenden. Diese Variablen unterliegen in den verfügbaren Ausprägungen einer Reihe von inhaltlichen Limitationen (vgl. Abschnitt 8.2.3). Jedoch verwiesen weder die Recherchen der Auftragnehmerin noch die Erfahrungen der externen Expertin und der Experten auf andere relevante Indikatoren, die sowohl mit der gewünschten deutschlandweiten Abdeckung als auch in einer Auflösung unterhalb der Gemeindeebene verfügbar gewesen wären. (vgl. Abschnitt 2.3.2)

- 4. *Gibt es Datensätze zu PM_{2.5} Immissionen, die gleichzeitig eine ausreichende räumliche Abdeckung sowie Auflösung aufweisen, um im Rahmen dieses Projekts zusätzliche Erkenntnisse zu generieren?*

Da für Deutschland insgesamt derartige Informationen nicht verfügbar sind, wurde nach Datensätzen für Teilräume gesucht. Für die Stadt Hamburg stellte das Helmholtz-Zentrum

Geesthacht einen Datensatz zur Verfügung, der die PM_{2.5}-Gesamtbelastung als modellierten Durchschnittswert für ein 100 x 100 m² Raster für das Jahr 2012 darstellt. Die Berliner Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz stellte Daten zur Verfügung, welche die PM_{2.5}-Hintergrundbelastung als modellierten Durchschnittswert für ein 500 x 500 m² Raster für 2015 darstellen. (vgl. Abschnitte 3.2.1 und 4.1.2)

► 5. *Welche Aussagen zur Differenzierung der sozioökonomischen Feinstaubexposition in Deutschland können anhand der verfügbaren Daten getroffen werden?*

Die deutschlandweiten Analysen anhand von Belastungsdezilen zeigten, dass alle SES-Indikatoren an höher belasteten Standorten eher niedrigere Werte annehmen, dass also eine höhere Belastung tendenziell mit niedrigerem Haushaltseinkommen und niedrigeren Wohnkosten pro Quadratmeter einherging. Dieser Effekt war jedoch für alle drei Indikatoren jeweils nur im zehnten Belastungsdezil signifikant. Insgesamt sind diese Tendenzen außerdem aufgrund der inhaltlichen und räumlichen Unsicherheiten in den verfügbaren Datensätzen mit Vorsicht zu interpretieren. Es zeigte sich zudem, dass dieses am stärksten belastete Dezil alle besiedelten Flächen der beiden zusätzlich betrachteten Bearbeitungsräume Hamburg und Berlin miteinschloss, innerhalb derer die kleinräumigeren Analysen jedoch auch signifikante Unterschiede identifiziert hatten (vgl. Abschnitt 8.1).

► 6. *Welche methodischen und inhaltlichen Limitationen lassen sich feststellen?*

Die für die SES-Indikatoren genutzten, kommerziell verfügbaren Datensätze unterliegen in ihrer Entstehung zum Teil einem Blackboxeffekt, weshalb sich mögliche inhaltliche Limitationen nur begrenzt nachvollziehen lassen. So ließ sich nicht klären, warum manche der Baublöcke in den Miet- und Kaufspiegeldatensätzen als bewohnt klassifiziert waren, bei denen eine stichprobenartige Überprüfung dies nicht bestätigte. Zudem decken diese Datensätze keine Flächennutzung durch Altersheime, Pflegeheime oder ähnliche Einrichtungen ab, obwohl es wichtig wäre gerade deren Bewohnerschaft auf Grund ihrer erhöhten Vulnerabilität in entsprechenden Analysen mit zu betrachten. Auch sagen Miet- und Kaufspiegeldaten als Quadratmeterpreise allein nichts über die tatsächlichen Wohnkosten der Haushalte aus, solange sie nicht um Angaben zu Wohnungsgrößen ergänzt werden. Für den SES-Indikator Haushaltseinkommen wiederum fehlt der Bezug zur Haushaltsgröße, der es erlauben würde, das Einkommen pro Kopf zu errechnen.

Für Berlin und Deutschland standen die Feinstaubvariablen nur als Hintergrundbelastungsdaten zur Verfügung (in zwei unterschiedlichen räumlichen Auflösungen), während die Daten für Hamburg die Gesamtbelastungsdaten darstellten. Da, wo sich diese Datensätze räumlich überschneiden, korrelierten sie zwar positiv miteinander (vgl. Abschnitt 5.2), dennoch schränkt diese Tatsache die Vergleichbarkeit der Ergebnisse für die verschiedenen Untersuchungsräume ein. Zudem können Daten zur Hintergrundbelastung – mit einer zudem relativ geringen Auflösung – die oft kleinräumigen Unterschiede bei der Feinstaubgesamtbelastung nicht abbilden. (vgl. Abschnitt 8.2)

Ergänzend zur Beantwortung der Fragen 1 bis 3 ergab das breitere Erkenntnisinteresse des Auftraggebers als (weitere) zentrale Maßgabe für dieses Gutachten, einen oder mehrere SES-Indikatoren zu identifizieren, die im Rahmen des UKAGEP eine deutschlandweite Aussage zur sozioökonomischen Differenzierung der Krankheitslast zulassen. Die Auswahl der Eingangsdaten

bzw. Indikatoren erfolgte somit in einem Spannungsfeld aus inhaltlicher Aussagekraft, räumlicher Auflösung sowie bundesweiter Abdeckung und Verfügbarkeit. Aus diesem Grund wurden einige der hier erörterten Limitationen wissentlich in Kauf genommen. Die im Folgenden formulierten Erkenntnisse bzw. Empfehlungen nehmen jedoch ergänzend eine breitere Perspektive ein, um auch unter anderen Forschungsvoraussetzungen von Interesse zu sein.

9.2 SES-Daten

Die in Abschnitt 2.1 analysierten sozioökonomischer Indizes verwenden einige im Rahmen der Fragestellung dieses Projekts als inhaltlich relevant zu erachtenden SES-Indikatoren, die jedoch deutschlandweit nicht mit einer Auflösung unterhalb der Gemeindeebene verfügbar sind. Hierzu gehören insbesondere der Anteil der Bevölkerung pro Raumeinheit, welcher Transferleistungen bezieht, sowie das pro-Kopf-Einkommen und die Arbeitslosenquote.

Das hier verwendete durchschnittliche jährliche Haushaltseinkommen unterliegt zwar den im vorangegangenen Abschnitt erörterten Limitationen (vgl. zusätzlich Abschnitt 8.2.3). Der Datensatz ist jedoch kostengünstig, deutschlandweit und mit der relativ hohen Auflösung von $1 \times 1 \text{ km}^2$ sowie verschiedenen jährlichen Zeitbezügen verfügbar. Es wäre mithin interessant zu untersuchen, inwiefern eine Kombination mit Zensusdaten zur Wohnbevölkerung auf der gleichen räumlichen Ebene ein ausreichend belastbares Maß des pro-Kopf-Einkommens ergibt. Hierfür sollten jedoch Daten mit den gleichen Bezugsjahren verwendet werden, da sich gezeigt hat, dass – zumindest in einem wachsenden urbanen Raum wie Hamburg – die Verwendung von Bevölkerungsdaten aus dem Zensus von 2011 zu relativ großen Differenzen führen kann. Im Falle Hamburgs beträgt dieser Unterschied zwischen 2011 und 2015 (Bezugsjahr der Belastungsdaten und SES-Indikatoren) 80.712 Menschen oder 4,7% der Bevölkerung von 2011. Umgekehrt können sich in schrumpfenden Räumen auch Überschätzungen ergeben. Dieser Effekt wurde jedoch im Rahmen dieses Gutachtens nicht überprüft.

Die hier genutzten Indikatoren Miet- und Kaufspiegel bieten zwar eine hohe räumliche Auflösung, jedoch ist ihre Aussage ohne ergänzende Informationen zur Größe von Wohneinheiten oder Wohnfläche pro Kopf nur bedingt als Indikator für den SES interpretierbar. Letztgenannter Indikator findet auch in einigen der in Kapitel 2 dokumentierten SES-Indizes Verwendung (vgl. Tabelle 4 und Abschnitt 2.2, er wird dort allerdings generell als Anzeiger für die Überbelegung von Wohnraum genutzt). Die infas360 GmbH bietet auch Informationen zur Wohnfläche pro Haushalt, der Anzahl von Haushalten, der Anzahl von Einwohnerinnen und Einwohnern und der Anzahl von Haushalten verschiedener Größe auf kleinstmöglicher Basis an. Sollte die Verwendung dieser Informationen in zukünftigen Untersuchungen in Erwägung gezogen werden, ist jedoch zu empfehlen, ihre Plausibilität zunächst anhand von Beispieldaten für Teilräume zu überprüfen. Auf Grund der Anschaffungskosten sowie der limitierten Nachvollziehbarkeit der für ihre Erstellung verwendeten Methodik gilt diese Empfehlung natürlich für kommerzielle Datensätze prinzipiell.

Weitere denkbare Ansätze zur Überprüfung der inhaltlichen Aussage und Belastbarkeit der hier verwendeten Variablen könnten sich aus den folgenden Ansätzen ergeben:

- Verschneidung mit Daten aus dem sozial-räumlichen Monitoring einzelner Kommunen (siehe zum Beispiel Arnold und Lude 2016). Dies wird generell für Raumeinheiten wie Stadtteile durchgeführt, die größer sind als die Auflösung der hier betrachteten SES-Variablen. Da die Vergleiche aber innerhalb einer Kommune stattfinden, würden die weiter oben diskutierten regionalen Unterschiede wegfallen. Die Belastungsdaten auf $2 \times 2 \text{ km}^2$ könnten zumindest auf ihren Zusammenhang mit den dort verwendeten Indikatoren überprüft werden,

in Hamburg und Berlin auch die jeweiligen feiner aufgelösten Belastungsdaten. Gleiches gilt für Miet- und Kaufspiegel sowie die Daten zum Haushaltseinkommen.

- Ebenso könnte es interessant sein, die in diesem Gutachten verwendeten Miet- und Kaufspiegeldaten aggregiert auf Gemeindeebene dem *German Index of Social Deprivation* (GISD) gegenüber zu stellen, um herauszufinden, welche Zusammenhänge hier bestehen.

9.3 Feinstaubbelastung

Die hier verwendeten Daten zur PM_{2.5}-Belastung verfügen über unterschiedliche Informationsgehalte und räumliche Auflösungen: Gesamtbelastung für Hamburg auf 100 x 100 m², Hintergrundbelastung für Berlin auf 500 x 500 m² sowie Hintergrundbelastung für Deutschland auf 2 x 2 km². Dies hat einige interessante Gegenüberstellungen ermöglicht. So ergab die von 100 x 100 m² auf die Baublöcke mit Miet- und Kaufspiegel aggregierten Daten zur lokalen Gesamtbelastung in Hamburg ein anderes Bild der sozioökonomischen Belastungsmuster als die Gegenüberstellung der Hintergrundbelastung für Berlin mit den aggregierten Daten zu Wohnkosten auf 500 x 500 m². In Hamburg steigen Miet- und Kaufspiegel insgesamt eher (leicht) mit steigender Feinstaubbelastung, das Haushaltseinkommen sinkt hingegen tendenziell aber nicht generell. In Berlin hingegen fallen Miet- und Kaufspiegel mit steigender Belastung zunächst, um dann erst in den Bereichen mit der höchsten Belastung wieder sehr deutlich anzusteigen. Das Haushaltseinkommen sinkt jedoch kontinuierlich und dieser Zusammenhang ist sehr viel stärker ausgeprägt als bei den anderen Gegenüberstellungen. Die Tatsache, dass die Ergebnisse für das Haushaltseinkommen auf 1 x 1 km² in beiden Städten zumindest ähnlich aussehen, legt die Vermutung nahe, dass hier die räumliche Auflösung zumindest teilweise eine Rolle spielt. Es wäre ggf. interessant, alle SES-Indikatoren und Belastungsdaten für Hamburg und Berlin auf ihre beste verfügbare gemeinsame räumliche Auflösung von 1 x 1 km² zu aggregieren um herauszufinden, welchen Effekt dieses Vorgehen auf die dargestellten Zusammenhänge hat.

Für eine nähere Untersuchung der Effekte von inhaltlichen Unterschieden in den Feinstaubdatensätzen (Gesamt- versus Hintergrundbelastung) wäre es notwendig, für mindestens zwei vergleichbare Untersuchungsräume – wie im vorliegenden Fall Hamburg und Berlin – sowohl Daten zur Gesamtbelastung als auch zur Hintergrundbelastung zur Verfügung zu haben (wobei letztere feiner aufgelöst sein sollten als das 2 x 2 km² Raster für Deutschland um die Probleme des MAUP so weit wie möglich zu umgehen). Für Hamburg wäre diesbezüglich die Verwendung der Daten zur Hintergrundbelastung denkbar, die in die Modellierung der Gesamtbelastungsdaten eingeflossen sind (Karl et al. 2019). Da jedoch keine rasterbasierten Informationen über die Gesamtbelastung in Berlin existieren, müsste nach einem anderen großstädtischen Vergleichsraum gesucht werden.

Weitere mögliche Erklärungen für die zum Teil beobachtete Parallelität von hohen Quadratmeterpreisen für Wohnraum und hohe Feinstaubbelastung liegen im Standortvorteil zentraler Wohnlagen und in der bereits erörterten Tatsache, dass der Quadratmeterpreis allein nur limitierte Informationen über die tatsächlichen, gesamten Wohnkosten eines Haushalts liefert. Auf Grund mangelnder ergänzender Informationen (vgl. Abschnitt 9.2) konnten diese Fragen jedoch im Rahmen dieses Gutachtens nicht geklärt werden.

Der Abgleich der Hamburger Daten zur Feinstaubbelastung mit jenen aus dem deutschlandweiten Raster hat gezeigt, dass diese Daten zur Hintergrundbelastung auf 2 x 2 km² mit den hier verwendeten Methoden prinzipiell dazu geeignet sein könnten, einen relativen Vergleich unterschiedlich stark von PM_{2.5} belasteter sozioökonomischer Bevölkerungsgruppen durchzuführen – zumindest für vergleichbare Betrachtungsräume. Insofern die Berechnung einer Krankheitslast

für Bevölkerungsgruppen mit bestimmten SES-Merkmalen in absoluten Zahlen (mit) von der tatsächlichen Höhe der Belastung abhängig ist, dürften diese Daten jedoch erstens zu grob aufgelöst sein und zweitens – auch deshalb – die tatsächliche Belastung in Teilräumen (zu) stark unterschätzen.

Die sehr hohe Bevölkerungszahl im höchsten Belastungsdezil der in Abschnitt 7.3.2 dargestellten Analysen und die Tatsache, dass dieses Dezil einen Großteil der urbanen und Ballungszentren Deutschlands abdeckt, hat gezeigt, dass für eine angemessene Herausarbeitung der kleinräumigeren Unterschiede – wie in Hamburg und Berlin vorgefunden – andere Analyseebenen benötigt werden. Diesbezüglich könnte es interessant sein die hier untersuchten Zusammenhänge für verschiedene Raumtypen getrennt zu analysieren. Eine explorative Analyse der Auftragnehmerin hatte gezeigt, dass sich Miet- und Kaufspiegel sowie das Belastungsmaß zwischen den fünf Stadt- und Gemeindetypen des BBSR (Großstadt, Mittelstadt, Große Kleinstadt, Kleine Kleinstadt und Landgemeinde²⁹) teilweise signifikant unterscheiden³⁰. Auch die Raumtypen 2010 aus der laufenden Raumb Beobachtung bieten eine im Rahmen der hier betrachteten Thematik interessante Typologie, da sie auf sowohl Bevölkerungsdichte als auch Siedlungsflächenanteil beruhen³¹.

Eine nach solchen Typologien getrennte Untersuchung würde die mangelnde Trennschärfe bei einer landesweiten Betrachtung möglicherweise in ausreichendem Maße kompensieren, um räumlich differenziertere Aussagen zu Belastungsmustern treffen zu können. Dieser Schritt war jedoch im Rahmen des Forschungsauftrags nicht prioritär vorgesehen und mit den vorgesehenen Ressourcen nicht zu erbringen.

Ebenso könnte es aufschlussreich sein, die Untersuchungen anhand der 2 x 2 km² Belastungsdaten auf der Basis von Verwaltungseinheiten wie z. B. Bundesländern oder Kreisen durchzuführen. Entsprechende Ergebnisse wäre dann ggf. für die jeweils zuständigen Gebietskörperschaften im Rahmen eines *Health in all Policies* Ansatzes von Interesse (WHO – World Health Organisation 2014). Dieser Schritt wäre aus der Perspektive der Umweltgerechtigkeits-Forschung insofern relevant, da sich bei festgestellter Umweltgerechtigkeit im Endeffekt die Frage anschließt, wie sie entsteht und wie und durch wen sie verhindert bzw. abgemildert werden kann (Böhme et al. 2015; Bolte et al. 2018). Diese Frage ist jedoch deutschlandweit kaum zu beantworten.

Die Aufteilung der SES-Daten anhand von Belastungsquantilen ist in gewissem Maße zufällig, da die Grenzen zwischen den jeweiligen Fallgruppen allein durch die Größe und Verteilung der Datensätze zur Feinstaubbelastung bestimmt werden. Auch diesbezüglich könnte eine inhaltlich begründete Unterteilung der Daten auf Basis von zum Beispiel siedlungsstrukturellen Raumtypen zu klarer interpretierbaren Ergebnissen führen. Eine weitere inhaltsbasierte Aufteilung der SES-Indikatoren könnte theoretisch auf Basis des für die PM_{2.5}-Belastung geltenden EU-Grenzwerts für die durchschnittliche jährliche Konzentration von 25 µg/m³ Außenluft oder dem von der WHO empfohlenen Werte von 10 µg/m³ vorgenommen werden (vgl. Abschnitt 1.1). Dies wäre jedoch nur im Falle der Daten für die Gesamtbelastung für Hamburg und nur mit Bezug auf die EU-Vorgaben möglich, da hier die Wertespanne von 10,1 bis 395,3 µg/m³ reicht. Die Daten für die Hintergrundbelastung in Berlin liegen mit einer Spanne von 11,3 bis 15,7 µg/m³ zwischen den beiden Grenzwerten. Die Daten für Deutschland beinhalten mit Werten von 6,20 bis

²⁹ www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumb Beobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/gemeinden/StadtGemeindetyp/StadtGemeindetyp_node.html; letzter Zugriff 12.4.2020

³⁰ Diese Analyse wurde auf Basis des 1 x 1 km² Rasters mit über den flächengewichteten Durchschnitt disaggregierten PM_{2.5}-Hintergrunddaten erstellt.

³¹ www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/Raumb Beobachtung/Raumabgrenzungen/deutschland/gemeinden/Raumtypen2010_vbg/raumtypen2010_node.html; letzter Zugriff 12.4.2020

16,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zwar den von der WHO empfohlenen Richtwert, bilden jedoch nicht die Gesamtbelastung ab, auf die sich Grenz- und Richtwert beziehen.

Die für dieses Sachverständigengutachten genutzten Methoden wurden aufgrund der vorteilhaften Datenlage anhand des Hamburger Beispiels entwickelt. Sie könnten auf andere Betrachtungsräume übertragen werden, für die Datensätze von vergleichbarer Qualität vorliegen.

10 Literaturverzeichnis

Monografien:

Arbeitskreis Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder/National (Hg.) (2018): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen der Länder. Zusammenhänge, Bedeutung, Ergebnisse. Ausgabe 2018, im Auftrag der Statistischen Ämter der 16 Bundesländer, Frankfurt

Arnold, F.; Lüde, J. v. (2016): Sozialmonitoring Integrierte Stadtteilentwicklung. Bericht 2015. Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen - FHH, Hamburg, verfügbar unter <http://www.hamburg.de/contentblob/4664066/data/d-sozialmonitoring-bericht-2015.pdf>, zuletzt geprüft am 04.02.2016

Bivand, R. S.; Pebesma, E. J.; Gómez-Rubio, V. (2008): Applied Spatial Data Analysis with R (Use R). Springer, New York, NY

Böhme, C.; Preuß, T.; Bunzel, A.; Reimann, B.; Seidel-Schulze, A.; Landua, D. (2015): Umweltgerechtigkeit im städtischen Raum. Entwicklung von praxistauglichen Strategien und Maßnahmen zur Minderung sozial ungleich verteilter Umweltbelastungen. Forschungskennzahl 3711 61 223. (Umwelt & Gesundheit, 01/2015). Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/publikationen/umweltgerechtigkeit-im-staedtischen-raum>, zuletzt geprüft am 20.02.2020

Bolte, G.; Bunge, C.; Hornberg, C.; Köckler, H.; Mielck, A. (Hg.) (2012): Umweltgerechtigkeit. Chancengleichheit bei Umwelt und Gesundheit: Konzepte, Datenlage und Handlungsperspektiven. 1. Aufl. H. Huber, Bern

Department for Communities and Local Government (2015): The English Indices of Deprivation 2015: Statistical Release. London, UK, verfügbar unter https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/465791/English_Indices_of_Deprivation_2015_-_Statistical_Release.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2020

Eckstein, P. P. (2012): Angewandte Statistik mit SPSS. Praktische Einführung für Wirtschaftswissenschaftler. 7., überarb. Aufl. Gabler Verlag, Wiesbaden

Field, A. (2009): Discovering statistics using SPSS (and sex and drugs and rock'n'roll). 3. Aufl., reprinted 2009 (twice). Sage, Los Angeles, CA

Field, A.; Miles, J.; Field, Z. (2012): Discovering statistics using R. Sage, Los Angeles, London, New Delhi, Singapore, Washington, DC

Hornberg, C.; Claßen, T.; Steckling, N.; Samson, R.; McCall, T.; Tobollik, M. et al. (2013): Quantifizierung der Auswirkungen verschiedener Umweltbelastungen auf die Gesundheit der Menschen in Deutschland unter Berücksichtigung der bevölkerungsbezogenen Expositionsermittlung - (Verteilungsbasierte Analyse gesundheitlicher Auswirkungen von Umwelt-Stressoren, VegAS). Endbericht. (Schriftenreihe Umwelt & Gesundheit, 01/2013). Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, verfügbar unter http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/umwelt_und_gesundheit_01_2013_conrad_expositionsermittlung.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2020

Hornberg, C.; Steckling, N.; Tobollik, M.; Mertes, H.; Gerullis, M.; Claßen, T. (2016): Das Environmental Burden of Disease (EBD)- Konzept und Gesundheitskostenanalysen als Instrumente zur Prioritätensetzung im gesundheitsbezogenen Umweltschutz. Gesundheitsökonomie und Environmental Burden of Disease im Umweltschutz, GEniUS. Forschungskennzahl 3711 62 2413. Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, verfügbar unter https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/umwelt_und_gesundheit_02_2016_das_environmental_burden_of_disease_konzept.pdf, zuletzt geprüft am 20.02.2020

Köckler, H.; Katzschner, L.; Kupski, S.; Katzschner, A.; Petz, A. (2008): Umweltbezogene Gerechtigkeit und Immissionsbelastungen am Beispiel der Stadt Kassel (CESR-PAPER 1). CESR - Center for Environmental Systems

Research, Universität Kassel. kassel university press GmbH, Kassel, verfügbar unter <http://www.uni-kassel.de/upress/online/OpenAccess/978-3-89958-379-3.OpenAccess.pdf>, zuletzt geprüft am 20.02.2020

Lüde, J. v. (2018): Sozialmonitoring Integrierte Stadtteilentwicklung. Ergebnisbericht, Karten- und Tabellenband 2018, Anhang. Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen - FHH, Hamburg, verfügbar unter <https://www.hamburg.de/contentblob/11944786/97f812cbc9eb9931be57e4e61c30b36d/data/d-sozialmonitoring-2018-langfassung.pdf>, zuletzt geprüft am 31.03.2019

Nationale Akademie der Wissenschaften Leopoldina (2019): Saubere Luft. Stickstoffoxide und Feinstaub in der Atemluft: Grundlagen und Empfehlungen. Halle (Saale), verfügbar unter https://www.leopoldina.org/uploads/tx_leopublication/Leo_Stellungnahme_SaubereLuft_2019_Web.pdf zuletzt geprüft am 31.12.2019

O'Sullivan, D.; Unwin, D. J. (2010): Geographic information analysis. 2. ed. Wiley, Hoboken, New Jersey

Roehl, H.; Schröder, C. (2017): Regionale Armut in Deutschland. Risikogruppen erkennen, Politik neu ausrichten. Institut der deutschen Wirtschaft Köln. Köln (IW-Analysen, Nr. 113), verfügbar unter https://www.iwkoeln.de/fileadmin/publikationen/2017/326106/IW-Analyse_2017-113_Regionale_Armut_in_Deutschland.pdf, zuletzt geprüft am 10.04.2020

Salmond, C.; Crampton, P.; Atkinson, J. (2007): NZDep2006 Index of Deprivation. Department of Public Health, University of Otago, Wellington, verfügbar unter https://www.researchgate.net/publication/228550791_NZDep2006_Index_of_Deprivation/download, zuletzt geprüft am 12.02.2019

Sleeter, R. (2008): A New Method for Mapping Population Distribution (USGS Fact Sheet, 2008-3010). USGS - United States Geological Survey, Menlo Park, CA, verfügbar unter <http://pubs.usgs.gov/fs/2008/3010/fs2008-3010.pdf>, zuletzt geprüft am 16.08.2012

Statistisches Bundesamt (Destatis) (Hg.) (2016): Demographische Standards (Statistik und Wirtschaft, Band 17). Ausgabe 2016. 6. überarbeitete Auflage. Wiesbaden, verfügbar unter https://www.destatis.de/GPStatistik/ser-vlets/MCRFileNodeServlet/DEMonografie_derivate_00001549/Band17_DemographischeStandards1030817169004.pdf, zuletzt geprüft am 31.03.2019.

World Health Organisation (2014): Health in all Policies: Helsinki Statement. Framework for Country Action. Genf, verfügbar unter https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/112636/9789241506908_eng.pdf;jsessionid=1FC4515FC0C054D77F3698E86526A8DB?sequence=1, zuletzt geprüft am 13.04.2020

WHO Regional Office for Europe (2006): WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide (06.02). Global update. Kopenhagen, verfügbar unter http://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0005/78638/E90038.pdf.

Daten, Software & Dokumentation:

Bivand, R.; Keitt, T.; Rowlingson, B. (2013): Package 'rgdal': Bindings for the 'Geospatial' Data Abstraction Library (R Vignettes, Version 0.8-5), verfügbar unter <https://CRAN.R-project.org/package=rgdal>, zuletzt geprüft am 07.02.2013

Bivand, R.; Piras, G. (2019): Package 'spatialreg': Spatial Regression Analysis. Version 1.1-5, verfügbar unter <https://github.com/r-spatial/spatialreg/> zuletzt geprüft am 07.02.2013

Bivand, R. S. (2019): Package 'spdep'. Spatial dependence: weighting schemes, statistics and models. Version 1.1-3 (R Reference Manual), verfügbar unter <https://github.com/r-spatial/spdep/> zuletzt geprüft am 07.02.2013

Kroll, L.E. (2017) German Index of Socioeconomic Deprivation (GISD) Version 1.0. Robert Koch Institut, Berlin, doi.org/10.7802/1460

microm Consumer Marketing (ohne Datum): Microm Kaufkraft. Microm Micromarketing-Systeme und Consult GmbH, Neuss, verfügbar unter https://fdz.rwi-essen.de/files/PDF/microm_Kaufkraft%20-%20Kopie.pdf, zuletzt geprüft am 10.04.2020

microm Consumer Marketing (2014): Datenhandbuch: Arbeitsunterlagen für microm MARKET & GEO. Neuss, verfügbar unter http://fdz.rwi-essen.de/files/PDF/microm_Kaufkraft%20-%20Kopie.pdf, zuletzt geprüft am 24.02.2020

Nowosad, J.; Lovelace, R. (2017): Package: spDataLarge: Large datasets for spatial analysis. Version 0.3.1, verfügbar unter <https://github.com/Nowosad/spDataLarge>, zuletzt geprüft am 24.01.2019

R Core Team (2012): R: A Language and Environment for Statistical. Wien, verfügbar unter <https://www.R-project.org/>, zuletzt geprüft am 24.01.2019

RWI, microm (2018): Sozioökonomische Daten auf Rasterebene (SUF 7.1). Kaufkraft. RWI-GEO-GRID. Version: 1. RWI - Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung. Dataset, verfügbar unter <http://doi.org/10.7807/microm:kaufkraft:suf:v7:1> zuletzt geprüft am 24.07.2019

Statistisches Bundesamt (2016): Bevölkerungsfortschreibung auf Grundlage des Zensus 2011 (Fachserie 1 Reihe 1.3, 2015). Wiesbaden

U.S. National Library of Medicine (2019): Medical Subject Headings - Preface, verfügbar unter https://www.nlm.nih.gov/mesh/intro_preface.html#pref_rem, zuletzt geprüft am 29.03.2019

Beiträge aus Sammelbänden:

Bolte, G.; Elvers, H.-D.; Schaaf, B.; Berg, A.v.; Borte, M.; Heinrich, J. (2004): Soziale Ungleichheit bei der Belastung mit Verkehrsabhängigen Luftschadstoffen. Ergebnisse der Kinderkohortenstudie LISA. In: Bolte, G.; Mielck, A. (Hg.): Umweltgerechtigkeit. Die soziale Verteilung von Umweltbelastungen (Gesundheitsforschung). Juventa, Weinheim und München, S. 175–198

Köckler, H.; Hornberg, C. (2012): Vulnerabilität als Erklärungsmodell einer sozial differenzierten Debatte um Risiken und Chancen im Kontext von Umweltgerechtigkeit. In: Bolte, G.; Bunge, C.; Hornberg, C.; Köckler, H.; Mielck, A. (Hg.) Umweltgerechtigkeit. Chancengleichheit bei Umwelt und Gesundheit: Konzepte, Datenlage und Handlungsperspektiven. 1. Aufl. H. Huber, Bern, S. 73-86

Lampert, T.; Kroll, L.-E. (2009): Die Messung des sozioökonomischen Status in sozialepidemiologischen Studien. In: Hurrelmann, K.; Richter, M. (Hg.): Gesundheitliche Ungleichheit. Grundlagen, Probleme, Perspektiven. 2., aktualisierte Aufl. VS Verlag für Sozialwissenschaften | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden, S. 309–334

Lee, S.-I. (2017): Correlation and Spatial Autocorrelation. In: Shekhar, S.; Xiong, H.; Zhou, X. (Hg.): Encyclopedia of GIS. Second edition. Springer, Cham, S. 360–368

Riedel, N.; Hoffmann, B.; Fuks, K.; Jöckel, K.-H.; Dragano, N. (2011): Gesundheitliche Ungleichheit in der Stadt. Eine gemeinsame Bewertung von sozialen und umweltbedingten Belastungen im Ruhrgebiet. In: BfS - Bundesamt für Strahlenschutz, BfR - Bundesinstitut für Risikobewertung, Robert Koch Institut (RKI) und UBA - Umweltbundesamt (Hg.): Umweltgerechtigkeit. II. Themenheft (UMID - Umwelt & Mensch Informationsdienst, 2/2011), Berlin, S. 89–94.

Zeitschriften:

The Canadian Institute for Health Information (Hg.) (2012): Contemporary Use of Area-based Socio-economic Measures. Canadian Journal of Public Health, 103

Zeitschriftenaufsatz:

- Bell, N.; Schuurman, N.; Hayes, M. V. (2007): Using GIS-based methods of multicriteria analysis to construct socio-economic deprivation indices. In: *International journal of health geographics*, 6, S. 17, DOI: 10.1186/1476-072X-6-17
- Bocquier, A.; Cortaredona, S.; Boutin, C.; David, A.; Bigot, A.; Chaix, B. et al. (2013): Small-area analysis of social inequalities in residential exposure to road traffic noise in Marseilles, France. In: *European journal of public health* 23 (4), S. 540–546, DOI: 10.1093/eurpub/cks059
- Bolte, G.; Bunge, C.; Hornberg, C.; Köckler, H. (2018): Umweltgerechtigkeit als Ansatz zur Verringerung sozialer Ungleichheiten bei Umwelt und Gesundheit. In: *Bundesgesundheitsbl.* 61 (6), S. 674–683 DOI: 10.1007/s00103-018-2739-6
- Brandt, S.; Maennig, W. (2011): Road noise exposure and residential property prices: Evidence from Hamburg. In: *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 16 (1), S. 23–30, DOI: 10.1016/j.trd.2010.07.008
- Breidenbach, P.; Eilers, L. (2018): RWI-GEO-GRID: Socio-economic data on grid level. In: *Jahrbücher für Nationalökonomie und Statistik* 238 (6), S. 609–616. DOI: 10.1515/jbnst-2017-0171
- Chateau, D.; Metge, C.; Prior, H.; Soodeen, R.-A. (2012): Learning from the Census: The Socio-economic Factor Index (SEFI) and Health Outcomes in Manitoba. In: *Canadian Journal of Public Health*, 103 “Contemporary Use of Area-based Socio-economic Measures”, The Canadian Institute for Health Information. S. 23-27
- Châtelet, V.; Bayat-Makoei, S.; Vigneau, C.; Launoy, G.; Lobbedez, T. (2018): Renal transplantation outcome and social deprivation in the French healthcare system: a cohort study using the European Deprivation Index. In: *Transplant international: official journal of the European Society for Organ Transplantation* 31 (10), S. 1089–1098, DOI: 10.1111/tri.13161
- Hajat, A.; Hsia, C.; O’Neill, N. S. (2015): Socioeconomic Disparities and Air Pollution Exposure: a Global Review. In: *Current environmental health reports* 2 (4), S. 440–450, DOI: 10.1007/s40572-015-0069-5
- Hänninen, O.; Knol, A. B.; Jantunen, M.; Lim, T.-A.; Conrad, A.; Rappolder, M. et al. (2014): Environmental burden of disease in Europe: assessing nine risk factors in six countries. In: *Environ Health Perspect* 122 (5), S. 439–446, DOI: 10.1289/ehp.1206154
- Havard, S.; Deguen, S.; Bodin, J.; Louis, K.; Laurent, O.; Bard, D. (2008): A small-area index of socioeconomic deprivation to capture health inequalities in France. In: *Social Science & Medicine* 67 (12), S. 2007–2016, DOI: 10.1016/j.socscimed.2008.09.031
- Hoffmann, B.; Kolahgar, B.; Rauchfuss, K.; Eberwein, G.; Franzen-Reuter, I.; Kraft, M. et al. (2009): Childhood social position and associations between environmental exposures and health outcomes. In: *International Journal of Hygiene and Environmental Health* 212 (2), S. 146–156, DOI: 10.1016/j.ijheh.2008.04.002
- Hofmeister, C.; Maier, W.; Mielck, A.; Stahl, L.; Breckenkamp, J.; Razum, O. (2016): Regionale Deprivation in Deutschland. Bundesweite Analyse des Zusammenhangs mit Mortalität unter Verwendung des ‚German Index of Multiple Deprivation (GIMD)‘. In: *Gesundheitswesen (Bundesverband der Ärzte des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (Germany))* 78 (1), S. 42–48, DOI: 10.1055/s-0034-1390421
- Jong, P. d.; Sprenger, C.; Veen, F. (1984): On extreme values of Moran’s *I* and Geary’s *c* (spatial autocorrelation). In: *Geographical Analysis* 16, S. 17–24 DOI: 10.1111/j.1538-4632.1984.tb00797.x
- Karl, M.; Walker, S.-E.; Solberg, S.; Ramacher, M.O.P. (2019): The Eulerian urban dispersion model EPISODE – Part 2: Extensions to the source dispersion and photochemistry for EPISODE–CityChem v1.2 and its application to the city of Hamburg. In: *Geoscientific Model Development* 12 (8), S. 3357–3399, DOI: 10.5194/gmd-12-3357-2019

- Karner, A.A.; Eisinger, D.S.; Niemeier, D. (2010): Near-Roadway Air Quality. Synthesizing the Findings from Real-World Data. In: *Environ. Sci. Technol* 44 (14), S. 5334–5344, DOI: 10.1021/es100008x
- Kissling, W.D.; Carl, G. (2008): Spatial autocorrelation and the selection of simultaneous autoregressive models. In: *Global Ecology and Biogeography* 17 (1), S. 59–71, DOI: 10.1111/j.1466-8238.2007.00334.x
- Kroll, L.-E.; Lampert, T. (2007): Sozialkapital und Gesundheit in Deutschland. In: *Gesundheitswesen* 69 (3), S. 120–127, DOI: 10.1055/s-2007-971052
- Kroll, L.-E.; Schumann, M.; Hoebel, J.; Lampert, T. (2017): Regional health differences – developing a socioeconomic deprivation index for Germany. In: *Journal of Health Monitoring* 2 (2), S. 98–114 DOI: 10.17886/RKI-GBE-2017-04
- Maier, W.; Fairburn, J.; Mielck, A. (2012): Regionale Deprivation und Mortalität in Bayern. Entwicklung eines ‚Index Multipler Deprivation‘ auf Gemeindeebene. In: *Gesundheitswesen (Bundesverband der Ärzte des Öffentlichen Gesundheitsdienstes (Germany))* 74 (7), S. 416–425 DOI: 10.1055/s-0031-1280846
- Matranga, D.; Campus, G.; Castiglia, P.; Strohmenger, L.; Solinas, G. (2014): Italian deprivation index and dental caries in 12-year-old children: a multilevel Bayesian analysis. In: *Caries research* 48 (6), S. 584–593, DOI: 10.1159/000358810
- Meijer, M.; Engholm, G.; Grittner, U.; Gritter, U.; Bloomfield, K. (2013): A socioeconomic deprivation index for small areas in Denmark. In: *Scandinavian journal of public health* 41 (6), S. 560–569, DOI: 10.1177/1403494813483937
- Mennis, J. (2002): Using geographic information systems to create and analyze statistical surfaces of population and risk for environmental justice analysis. In: *Social Science Quarterly* 83 (1), S. 281–297, DOI: 10.1111/1540-6237.00083
- Pampalon, R.; Raymond, G. (2000): A Deprivation Index for Health and Welfare Planning in Quebec. In: *Chronic Diseases in Canada* 21 (3), Minister of Public Works and Government Services Canada (Hg.), S. 104–113
- Pornet, C.; Delpierre, C.; Dejardin, O.; Grosclaude, P.; Launay, L.; Guittet, L. et al. (2012): Construction of an adaptable European transnational ecological deprivation index: the French version. In: *Journal of Epidemiology and Community Health* 66 (11), S. 982–989, DOI: 10.1136/jech-2011-200311
- Ribeiro, A.I.; Launay, L.; Guillaume, E.; Launoy, G.; Barros, H. (2018): The Portuguese version of the European Deprivation Index: Development and association with all-cause mortality. In: *PloS one* 13 (12), S. 1–13, DOI: 10.1371/journal.pone.0208320
- Schräpler, J.-P. (2011): Konstruktion von SGB II – Dichten als Raumindikator und ihre Verwendung als Indikator im Rahmen der Sozialberichterstattung am Beispiel der „sozialen Belastung“ von Schulstandorten in NRW – ein Kerndichte-Ansatz. In: *ASTA Wirtsch Sozialstat Arch* 5 (2), S. 97–124, DOI: 10.1007/s11943-011-0103-5
- Schweitzer, L. A.; Stephenson (Jr.), M. (2007): Right Answers, Wrong Questions: Environmental Justice as Urban Research. In: *Urban Studies* 44 (2), S. 319–337, DOI: 10.1080/00420980601074961
- Sundquist, K.; Malmström, M.; Johansson, S.-E. (2004): Neighbourhood deprivation and incidence of coronary heart disease: a multilevel study of 2.6 million women and men in Sweden. In: *Journal of Epidemiology & Community Health* 58 (1), S. 71–77, DOI: 10.1136/jech.58.1.71
- Tobler, W. R. (1970): A Computer Movie Simulating Urban Growth in the Detroit Region. In: *Economic Geography* 46, S. 234–240, DOI: 10.2307/143141
- Zadnik, V.; Guillaume, E.; Lokar, K.; Žagar, T.; Primic Žakelj, M.; Launoy, G.; Launay, L. (2018): Slovenian Version of the European Deprivation Index at Municipal Level. In: *Zdravstveno varstvo* 57 (2), S. 47–54, DOI: 10.2478/sjph-2018-0007

Internetadresse:

Bundesagentur für Arbeit (2019): Langzeitarbeitslosigkeit auf einen Blick. Kurzinformativ | Jahr 2018. Nürnberg (Statistik). verfügbar unter <https://statistik.arbeitsagentur.de/Statistischer-Content/Statistik-nach-Themen/Langzeitarbeitslosigkeit/generische-Publikationen/Flyer-LZA.pdf>, zuletzt geprüft am 30.03.2019

Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) (2019): Geographische Gitter für Deutschland in Lambert-Projektion. verfügbar unter <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/open-data/geographische-gitter-fur-deutschland-in-lambert-projektion-geogitter-inspire.html>, zuletzt geprüft am 20.02.2020

Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) (ohne Jahr): Äquivalenzeinkommen. DIW Glossar. Berlin, verfügbar unter https://www.diw.de/de/diw_01.c.411605.de/, zuletzt geprüft am 13.04.2020

Freie und Hansestadt Hamburg, Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung (2019): ATKIS Digitales Basis Landschaftsmodell Hamburg. verfügbar unter <http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/atkis-digitales-basis-landschaftsmodell-hamburg17?forceWeb=true>, zuletzt geprüft am 20.02.2020

11 Anhänge

A Ergebnisse der Recherche zur Datenverfügbarkeit für die mögliche Bildung eines deutschlandweiten SES-Index

Tabelle 54: Datenangebot der Datenquelle: INKAR – Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung

INKAR – Indikatoren und Karten zur Raum- und Stadtentwicklung (https://www.inkar.de/)	Di- men- sion	A – Erwerbstätigkeit, Beschäftigung		B – Einkommen, Wohlstand			C – Kommuna- le Ein- kommensde- privation	D – Bildung / Bildungsdeprivation			E – Sicher- heit, Krimi- nalität	F – Woh- nen und Teil- habe	G – Lebens- umwelt – Um- weltde- privatio	H – Sozialkapitaldepri- vation		I – Sonstiges		
	Indika- tor	A.1: Ar- beitslo- senquote	A.2: Be- schäfti- gungs- quote	B.1: mo- natliche mittlere Haushalts- netto-ein- kommen	B2: Durch- schnittlicher Bruttolohn der Beschäf- tigten	B.3: Schuldner- quoten	C.1 : Ge- meinde- einnah- men	D.1: Anteil der Beschäftig- ten mit Hochschul- abschluss	D.2: Anteil der Schulabgän- ger ohne form. Ab- schluss	D.4: ohne abge- schlossene Berufsausbil- dung	E.2: Ver- kehrs- unfälle	F.8: Au- tover- fügbar- keit	G.2: Flä- chennut- zung	H.1: Wan- derungs- saldo	H.2: Wahl- be- teiligung	I.1: Haushalts- bzw. Altersstruktur		I.2: Staats- angehö- rigkeit
	Indika- toren- name nach Daten- bank	Arbeits- lose je 1000 Ein- wohner im erwerbsfä- higen Al- ter	SV Be- schäftigte am Woh- nort je 100 Einwohner im er- werbsfä- higen Alter	Durch- schnittli- ches Haus- haltsein- kommen in € je Ein- wohner	Monatli- cher Brut- tover- dienst von Arbeitneh- mern in Euro	Private Schuldner je 100 Ein- wohner 18 Jahre und älter	Steuerein- nahmen in € je Ein- wohner	Anteil der SV Beschäftig- ten am Woh- nort mit aka- demischem Abschluss an den SV Be- schäftigten am Wohnort in %	Anteil der Schulabgän- ger ohne Hauptschul- abschluss an den Schulab- gängern in %	Anteil der SV Beschäftig- ten am Woh- nort ohne Berufsab- schluss an den SV Be- schäftigten am Wohnort in %	Stra- ßenver- kehrs- unfälle insge- samt je 100.000 Einwohner	Pkw je 1.000 Einwohner	Anteil der Siedlungs- und Ver- kehrsflä- che an der Fläche in %	Gesamt- wande- rungs- saldo je 1.000 Einwohner	Anteil der Zweitstim- men an den Wahl- berechtig- ten in %	Anteil der Einwohner 65 Jahre und älter an den Einwoh- nern in %	Einwohner unter 6 Jahre und Einwoh- ner von 6 bis unter 18 Jah- ren	Anteil der Aus- länder an den Einwoh- nern in %
	Algo- rithmus (Erstel- lung der Kennzif- fern)	Arbeits- lose <Zeit- punkt> / E 15-<65 Jahre <Zeit- punkt> x 1000	SV Be- schäftigte am Woh- nort <Zeit- punkt> / E 15-<65 Jahre <Zeit- punkt> x 100	verfügba- res Ein- kommen der priva- ten Haus- halte <Zeit- punkt> / E <Zeit- punkt>	Bruttolohn und -ge- halt von Arbeitneh- mern <Zeit- punkt> / Arbeitneh- mer <Zeit- punkt> / 12	Private Schuldner <Zeit- punkt> / E 18 Jahre und älter <Zeit- punkt> * 100	Steuerein- nahmen <Zeit- punkt> / E <Zeit- punkt>	SV Beschäf- tigte am Wohnort mit akademischem Ab- schluss <Zeit- punkt> / sv Beschäftigte am Wohnort <Zeitpunkt> x 100	Schulabgän- ger ohne Hauptschul- abschluss <Zeitpunkt> / Schulab- gänger <Zeit- punkt> x 100	SV Beschäf- tigte am Wohnort ohne Berufs- abschluss <Zeitpunkt> / sv Beschäf- tigte am Wohnort <Zeitpunkt> x 100	Stra- ßenver- kehrs- unfälle <Zeit- punkt> / E <Zeit- punkt> x 100.000	Pkw <Zeit- punkt> / E <Zeit- punkt> x 1.000	Siedlungs- und Ver- kehrsflä- che <Zeit- punkt> / Fläche <Zeit- punkt> x 100	(Zuzüge - Fort- züge <Zeit- raum>) / E <Zeit- punkt> x 1.000	gültige Zweitstim- men Bun- destags- wahl <Zeit- punkt> / Wahlbe- rechtigte <Zeit- punkt> x 100	E 65 Jahre und älter <Zeit- punkt> / E <Zeit- punkt> x 100	E 6-<18 Jahre <Zeit- punkt> / E <Zeitpunkt> x 100 ODER E <6 Jahre <Zeitpunkt> / E <Zeit- punkt> x 100	Auslän- der <Zeit- punkt> / E <Zeit- punkt> x 100
	Raum- bezug	Gemein- dever- bände	Gemein- dever- bände	Kreis	Kreise	Kreise	Gemein- deverband	Kreise	Kreise	Kreise	Kreise	Kreise	Kreise	Gemein- dever- bände	Kreise	Gemein- dever- bände	Gemeinde- verbände	Kreise
	Zeitbe- zug	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015	2015

Quelle: eigene Darstellung nach: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) 2018

Tabelle 55: Datenangebot der Datenquelle: Zensus 2011

Zensus 2011 / Zensusatlas	Dimension	A – Erwerbstätig- keit, Beschäftigung	D – Bildung / Bildungsdepriva- tion	F – Wohnen und Teilhabe		I – Sonstiges			
	Indikator	A.4: Berufsstatus	D.2: Anteil der Schul- abgänger ohne form. Abschluss	F.5: überbelegte Wohnungen	F.6: Wohnqualität generell	I.1: Haushalts- bzw. Altersstruktur			I.2: Staatsangehörigkeit
	Indikatoren- name nach Da- tenbank	Erwerbstätige oder Erwerbs- lose	Höchster Schulab- schluss davon ohne Schulab- schluss	Größe des privaten Haushalts (1 Person bis ≥ 6 Personen)	Durchschnittli- che Wohnflä- che je Bewoh- ner / je Wohneinheit	Private Haus- halte nach Typ des privaten Haushalts (nach Fami- lien)	Bevölkerung nach 10 Altersklassen	Bevölkerung nach 10 Altersklassen	Bevölkerung nach Staatsangehörig- keitsgruppen / mit Migrationshin- tergrund
	Raumbezug (feinste Auflö- sung)	Gemeinde	Gemeinde (un- vollständig)	100 * 100 Meter Raster	1 km ² Raster	100 * 100 Me- ter Raster	100 * 100 Me- ter Raster	100 * 100 Me- ter Raster	100 * 100 Meter Raster
	Zeitbezug	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011	2011

Quelle: eigene Darstellung nach: Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2018

Tabelle 56: Datenangebot der Datenquelle: Eurostat

Eurostat (https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/regions/data/database)	Dimension	A – Erwerbstätigkeit, Beschäftigung Tabellenkopf		E – Sicherheit, Kriminalität		H – Sozialkapitaldeprivation	I – Sonstiges
	Indikator	A.1: Arbeitslosenquote	A.2: Beschäftigungsquote	E.1: Kriminalität	E.2: Verkehrsunfälle	H.1: Wanderungssaldo	I.1: Haushalts- bzw. Altersstruktur
	Indikatorenname nach Datenbank	Arbeitslosenquoten nach Geschlecht, Alter, Staatsangehörigkeit und NUTS-2-Regionen [lfst_r_lfur2gan]	Erwerbstätigenquoten nach Geschlecht, Alter und NUTS-2-Regionen (%) [lfst_r_lfe2emprt]	Polizeilich registrierte Kriminalität nach NUTS-3-Regionen [crim_gen_reg]	Opfer von Verkehrsunfällen nach NUTS-2-Regionen [tran_r_acci]	Demographische Veränderung – absoluter und relativer Bevölkerungsstand auf regionaler Ebene [demo_r_gind3]	Bevölkerung am 1. Januar nach Altersgruppen, Geschlecht und NUTS 3 Regionen [demo_r_pjangrp3]
	Raumbezug	NUTS 2	NUTS 2	NUTS 3	NUTS 2	NUTS 3	NUTS 3
	Zeitbezug	1999-2017	1999-2017	2008-2010	1990-2016	2000-2017	1999-2017

Quelle: eigene Darstellung nach: Statistische Amt der Europäischen Union (Eurostat) 2019

Tabelle 57: Datenangebot der Datenquelle: LebensRäume – Bevölkerungsumfrage des BBSR

LebensRäume - Bevölkerungsumfrage des BBSR (über Gesis) (https://dbk.gesis.org/dbksearch/sdesc2.asp?no=5611)	Dimension	B – Einkommen, Wohlstand		D – Bildung / Bildungsdeprivation		F – Wohnen und Teilhabe		G – Lebensumwelt – Umweltdeprivation
	Indikator	B.1: monatliche mittlere Haushaltsnettoeinkommen	B.4: Erhalt von bedarfsorientierten Leistungen	D.1: Anteil der Beschäftigten mit Hochschulabschluss	D.2: Anteil der Schulabgänger ohne form. Abschluss	F.5: überbelegte Wohnungen	F.7: Wohntyp	G.1: Umweltqualität außen
	Indikatorenname nach Datenbank	Variable s14s: Haushaltseinkommen (ab 18.J)	Variable Q25S: Erhalten Sie Wohngeld oder Arbeitslosengeld II?	Variable s10s: Berufsabschluss/ beendetes Studium	Variable s09s: Schulabschluss	Variable s11s: Anzahl Personen im HH	Variable Q11S: Wohnen Sie hier	Variable Q39S: Zufriedenheit mit den Umweltbedingungen
	Raumbezug	Bundesland	Bundesland	Bundesland	Bundesland	Bundesland	Bundesland	Bundesland
	Zeitbezug	2000-2012	2000-2012	2000-2012	2000-2012	2000-2012	2000-2012	2000-2012

Quelle: eigene Darstellung nach: Böltken et al. 2015

Tabelle 58: Datenangebot der Datenquelle: Regionalatlas Deutschland

Regionalatlas Deutschland (https://www-genesis.destatis.de/gis/genView?GenMLURL=https%3A//www-genesis.destatis.de/regatlas/AI002-1.xml&CONTEXT=REGATLAS01)	Dimen- sion	A – Erwerbstätigkeit, Beschäftigung			C – Kommunale Einkommens- deprivation	D – Bildung / Bil- dungsdepriva- tion	E – Sicherheit, Kriminalität	F – Wohnen und Teilhabe	H – Sozialkapitaldepri- vation
	Indikator	A.1: Arbeitslo- senquote	A.2: Beschäfti- gungs- quote	A.3: Bezug von Transfer- leistung mit Be- schäftigungsbezug	C.1 : Gemeindeein- nahmen	D.2: Anteil der Schul- abgänger ohne form. Abschluss	E.2: Verkehrsunfälle	F.8: Autoverfügbarkeit	H.2: Wahlbeteiligung
	Indikator nach Daten- bank	Arbeitslo- senquote [Prozent]	Beschäf- tigten- quote [Prozent]	Anteil der Empfän- ger sozialer Mindestsicherungs- leistungen an der Bevölkerung (Mindestsiche- rungsquote)	Gesamtbetrag der Einkünfte je Steuerpflichti- gen [Tsd. EUR]	Anteil Schulabgän- ger ohne Haupt- schulabschluss [Prozent]	Straßenverkehrsun- fälle je 10.000 Ein- wohner [Anzahl]	Pkw je 1.000 Einwohner [Anzahl]	Wahlbeteiligung, Bundestagswahl [Prozent]
	Raumbe- zug	Kreise und kreis- freie Städte	Kreise und kreis- freie Städte	kreise und kreis- freie Städte	Kreise und Kreisfreie Städte	Kreise und kreis- freie Städte	Kreise und kreisfreie Städte	Kreise und kreisfreie Städte	Kreise und kreisfreie Städte
	Zeitbezug	2017	2015	2010 -2016	2014	2016	2016	2017	2017

Quelle: eigene Darstellung nach: Statistische Ämter des Bundes und der Länder 2019

Tabelle 59: Datenangebot der Datenquelle: Forschungsdatenzentrum Ruhr am RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung

Forschungsdatenzentrum Ruhr am RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung (FDZ Ruhr am RWI) - (http://fdz.rwi-essen.de/microm.html)	Di- men- sion	A – Erwerbstätigkeit, Beschäftigung	B – Einkommen, Wohlstand	F – Wohnen und Teilhabe	I – Sonstiges		
	Indi- kator	A.1: Arbeitslosenquote	B.1: monatliche mittlere Haushaltsnettoeinkommen	F.7: Wohntyp	I.1: Haushalts- bzw. Altersstruktur	I.2: Staatsangehörigkeit	
	Indi- kator nach Da- ten- bank	Sozioökonomische Da- ten auf Rasterebene – Arbeitslosenquote	Sozioökonomische Daten auf Rasterebene – Kaufkraft	Sozioökonomische Daten auf Raster- ebene – Haustyp	Sozioökonomische Daten auf Raster- ebene – Einwohner nach Geschlecht und Alter	Sozioökonomische Daten auf Raster- ebene – Haushalts- struktur	Sozioökonomische Daten auf Raster- ebene – Ausländer- anteil
	Zeit- bezug	2005, 2009-2016	2005, 200-2016	2005, 2009-2016	2005, 2009-2016	2005, 2009-2016	2005, 2009-2016
	Raum- bezug	1 x 1 km Raster für die Bundesrepublik Deutschland	1 x 1 km Raster für die Bun- desrepublik Deutschland	1 x 1 km Raster für die Bundesrepublik Deutschland	1 x 1 km Raster für die Bundesrepublik Deutschland	1 x 1 km Raster für die Bundesrepublik Deutschland	1 x 1 km Raster für die Bundesrepublik Deutschland

Quelle: eigene Darstellung nach: Breidenbach und Eilers 2018

Tabelle 60: Datenquelle: Statistik der Grundsicherung für Arbeitssuchende nach §53 SGB II der Bundesagentur für Arbeit (verfügbar vor Ort bei IT NRW)

Eurostat (https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/regions/data/database)	Dimension	B – Einkommen, Wohlstand
	Indikator	B.4: Erhalt von bedarfsorientierten Leistungen
	Indikatorenname	SGB II – Dichte
	Raumbezug	SGB II Empfängerkoordinaten NRW
	Zeitbezug	2007

Quelle: eigene Darstellung nach Schräpler (2011)

Tabelle 61: Datenquelle: Monitoring Soziale Stadtentwicklung Berlin (Raumbezug : Planungsräume, Bezirksregionen (vergleichbare Ebene : 195 Statistische Gebiete)

Name	Arbeitslosigkeit	Langzeitarbeitslosigkeit	Transferbezug	Kinderarmut	Arbeitslosigkeit, Veränderung innerhalb von zwei Jahren	Langzeitarbeitslosigkeit, Veränderung innerhalb von zwei Jahren	Transferbezug, Veränderung innerhalb von zwei Jahren	Kinderarmut, Veränderung innerhalb von zwei Jahren
Inhalt	Anteil der Arbeitslosen nach SGB II und SGB III an den 15- bis unter 65-Jährigen in Prozent	Anteil der Langzeitarbeitslosen nach SGB II und SGB III an den 15- bis unter 65-Jährigen in Prozent	Anteil der nicht arbeitslosen Empfängerinnen und Empfänger von existenzsichernden Transferleistungen (Grundsicherung) nach SGB II und SGB XII an den Einwohnerinnen und Einwohnern in Prozent	Anteil der Kinder und Jugendlichen unter 15 Jahren in Bedarfsgemeinschaften nach SGB II an der unter 15-Jährigen in Prozent	Veränderung des Anteil der Arbeitslosen nach SGB II und SGB III an den 15- bis unter 65-Jährigen innerhalb von zwei Jahren in Prozentpunkten	Anteil der Langzeitarbeitslosen nach SGB II und SGB III an den 15- bis unter 65-Jährigen in Prozent	Anteil der nicht arbeitslosen Empfängerinnen und Empfänger von existenzsichernden Transferleistungen (Grundsicherung) nach SGB II und SGB XII an den Einwohnerinnen und Einwohnern in Prozent	Anteil der Kinder und Jugendlichen unter 15 Jahren in Bedarfsgemeinschaften nach SGB II an der unter 15-Jährigen in Prozent
Art des Indikators	Status-Indikator	Status-Indikator	Status-Indikator	Status-Indikator	Dynamik-Indikator	Dynamik-Indikator	Dynamik-Indikator	Dynamik-Indikator
Verfügbare Zeitreihe	MSS2017, MSS2015, MSS2013, MSS2011-2007	MSS2017, MSS2015, MSS2013, MSS2011-2007	MSS2017, MSS2015, MSS2013, MSS2011-2007	MSS2017, MSS2015, MSS2013, MSS2011-2007	MSS2017, MSS2015, MSS2013, MSS2011-2007	MSS2017, MSS2015, MSS2013, MSS2011-2007	MSS2017, MSS2015, MSS2013, MSS2011-2007	MSS2017, MSS2015, MSS2013, MSS2011-2007
Zeitbezug	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.

Name	Jugendarbeitslosigkeit	Alleinerziehende	Altersarmut	Kinder und Jugendliche mit Migrationshintergrund	Einwohnerinnen und Einwohner mit Migrationshintergrund	Ausländerinnen und Ausländern	Veränderung des Anteils von Ausländerinnen und Ausländern	Nicht-EU-Ausländerinnen und Nicht-EU-Ausländer	Ausländische Transferbezieher (SGB II)	Städtische Wohnungen	Wohnräume	Wohnfläche
Inhalt	Anteil der Arbeitslosen nach SGB II und SGB III unter 25 Jahren an den 15- bis unter 25-Jährigen in Prozent	Anteil der alleinerziehenden Haushalte mit Kindern an allen Haushalten mit Kindern in Prozent	Anteil der Empfängerinnen und Empfänger von Grundsicherung (außerhalb von Einrichtungen) nach SGB XII (Kap. 4) im Alter von 65 Jahren und älter an allen 65-Jährigen und Älteren in Prozent	Anteil der unter 18-Jährigen mit Migrationshintergrund an den unter 18-Jährigen gesamt in Prozent	Anteil der Einwohnerinnen und Einwohner mit Migrationshintergrund an den Einwohnerinnen und Einwohnern gesamt in Prozent	Anteil der Ausländerinnen und Ausländer an den Einwohnerinnen und Einwohnern gesamt in Prozent	Veränderung des Anteils von Ausländerinnen und Ausländern an den Einwohnerinnen und Einwohnern gesamt innerhalb von zwei Jahren in Prozentpunkten	Anteil der Nicht-EU-Ausländerinnen und Nicht-EU-Ausländer an den Ausländerinnen und Ausländern gesamt in Prozent	Anteil der ausländischen Personen in Bedarfsgemeinschaften nach SGB II an den Ausländerinnen und Ausländern unter 65 Jahren in Prozent	Anteil städtischer Wohnungen (Wohneinheiten / WE) der landeseigenen Wohnungsbau-gesellschaften an den Wohnungen gesamt in Prozent	Anteil städtischer Wohnungen (Wohneinheiten / WE) der landeseigenen Wohnungsbau-gesellschaften an den Wohnungen gesamt in Prozent	Durchschnittliche Wohnfläche in m² je Einwohnerin und Einwohner
Art des Indikators	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator
Verfügbare Zeitreihe	MSS2017, MSS2015, MSS2013, MSS2011-2007	MSS2015, MSS2013	MSS2017, MSS2015, MSS2013	MSS2017, MSS2015, MSS2013, MSS 2011-2008	MSS2017, MSS2015, MSS2013, MSS 2011-2008	MSS2017, MSS2015	MSS2017, MSS2015, MSS 2013	MSS2017, MSS2015	MSS2017, MSS2015, MSS 2013	MSS2017, MSS2015, MSS 2013	MSS2017, MSS2015	MSS2017, MSS2015
Zeitbezug	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.

Name	Einwohnerinnen und Einwohner in einfacher Wohnlage	Wohndauer über fünf Jahre	Wanderungsvolumen innerhalb von zwei Jahren	Wanderungssaldo gesamt innerhalb von zwei Jahren	Wanderungssaldo Kinder unter 6 Jahre innerhalb von zwei Jahren	Status-Index	Dynamik-Index	Gesamtindex Soziale Ungleichheit (Status/Dynamik-Index)
Inhalt	Anteil der Einwohnerinnen und Einwohner (EW) in einfacher Wohnlage inkl. Lärmbelastung durch Straßenverkehr an den EW gesamt in Prozent	Anteil der Einwohnerinnen und Einwohner (EW) mit mindestens fünf Jahren Wohndauer an der selben Adresse an den EW im Alter von 5 Jahren und älter in Prozent	Durchschnittliches Wanderungsvolumen (Zuzüge plus Fortzüge je 100 Einwohnerinnen und Einwohner) innerhalb von zwei Jahren in Prozent pro Jahr	Durchschnittlicher Wanderungssaldo (Zuzüge minus Fortzüge je 100 Einwohnerinnen und Einwohner) innerhalb von zwei Jahren in Prozent pro Jahr	Durchschnittlicher Wanderungssaldo der unter 6-Jährigen (Zuzüge minus Fortzüge der unter 6-Jährigen je 100 Einwohnerinnen und Einwohner unter sechs Jahren) innerhalb von zwei Jahren in Prozent pro Jahr	Der Status-Index beschreibt den sozialen Status bzw. die soziale Lage der im MSS betrachteten Planungsräume zum jeweiligen Stichtag. Grundlage des Status-Index bilden die Ausprägungen der vier Status-Indikatoren Arbeitslosigkeit, Langzeitarbeitslosigkeit, Transferbezug und Kinderarmut.	Der Dynamik-Index beschreibt die Veränderung der sozialen Lage der im MSS betrachteten Planungsräume (PLR) im zweijährigen Beobachtungszeitraum im Vergleich zu den anderen betrachteten PLR. Grundlage bilden die Ausprägungen der vier Dynamik-Indikatoren: Veränderung der Arbeitslosigkeit, Veränderung der Langzeitarbeitslosigkeit, Veränderung des Transferbezugs und Veränderung der Kinderarmut	Der Gesamtindex Soziale Ungleichheit fasst für jeden im MSS betrachteten Planungsraum die Aussage zur Positionierung seines sozialen Status zum Stichtag und die Aussage zur Ausrichtung der Veränderungsdynamik seiner sozialen Lage im zweijährigen Beobachtungszeitraum zusammen.
Art des Indikators	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator	Kontext-Indikator	Index	Index	Index
verfügbare Zeitreihe	MSS2017, MSS2015, MSS2013	MSS2017, MSS2015, MSS2013	MSS2017, MSS2015, MSS2013, MSS2011-2007	MSS2017, MSS2015, MSS2013, MSS2011-2007	MSS2017, MSS2015, MSS2013, MSS2011-2007	MSS 2017, MSS 2015, MSS 2013	MSS 2017, MSS 2015, MSS 2013	MSS 2017, MSS 2015, MSS 2013
Zeitbezug	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.	31.12.			

Quelle: eigene Darstellung nach: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Wohnen (2018)

Tabelle 62: Datenquelle: Sozialmonitoring Hamburg (Raumbezug: statistische Gebiete)

Art des Indikators	Bevölkerung															
	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt
Verfügbare Zeitreihe	2011-2016	2012-2016	2012-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016

Art des Indikators	Fläche		Haushalte								Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Wohnort	Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Wohnort	Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Wohnort	Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Wohnort	Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Wohnort	Sozialversicherungspflichtig Beschäftigte am Wohnort
	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt	Inhalt
verfügbare Zeitreihe	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016

Art des Indikators	Arbeitslose									SGB II – Leistungen						
Inhalt	Arbeitslose (SGB III + SGB II) insgesamt	Anteil der Arbeitslosen (SGB III + SGB II) insgesamt an der Bevölkerung im Alter 15 bis u. 65 Jahren	Anteil der Arbeitslosen (SGB III + SGB II) insgesamt an der Gesamtbevölkerung	SGB III (Arbeitslosengeld) Empfänger insgesamt	Anteil der SGB III (Arbeitslosengeld) Empfänger insgesamt an der Bevölkerung im Alter 15 bis u. 65 Jahren	Anteil der SGB III (Arbeitslosengeld) Empfänger insgesamt an der Gesamtbevölkerung	SGB II (Arbeitslosengeld II) Empfänger insgesamt	Anteil der SGB II (Arbeitslosengeld II) Empfänger insgesamt an der Bevölkerung im Alter von 15 bis u. 65 Jahren	Anteil der SGB II (Arbeitslosengeld II) Empfänger insgesamt an der Gesamtbevölkerung	Bedarfsgemeinschaften insgesamt	Personen in Bedarfsgemeinschaften insgesamt	Anteil an der Bevölkerung insgesamt (Bedarfsgemeinschaften)	Erwerbsfähige Hilfsbedürftige insgesamt	Anteil an der Bevölkerung im Alter von 15 bis u. 65 Jahren	Ausländische erwerbsfähige SGB II-Empfänger/-innen im Alter von 15 bis u. 65 Jahren	Anteil an der ausländischen Bevölkerung im Alter von 15 bis u. 65 Jahren
Verfügbare Zeitreihe	2012-2016	2011-2016	2011-2016	2012-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2012-2016	2012-2016

Art des Indikators	SGB II - Leistungen						Wohnungen		Kita	Wahlen	Verkehr				
Inhalt	Erwerbsfähige hilfebedürftige Jugendliche unter 25 Jahren	Anteil an der Bevölkerung im Alter von 15 bis u. 25 Jahren	Ausländische jugendliche erwerbsfähige SGB II-Empfänger von 15 bis u. 25 Jahre	Anteil an Ausländern im Alter von 15 bis u. 25 Jahren	Nicht erwerbsfähige Hilfebedürftige (überwiegend Kinder unter 15 Jahren)	Anteil an der Bevölkerung unter 15 Jahren	Sozialwohnungen insgesamt	darunter mit Bindungsauslauf bis zum	Kindergärten, Hort und Vorschulklassen ohne Krippe	Wahlbeteiligung (Bürgerschaftswahl)	PKW-Bestand insgesamt	Private PKW	Private PKW je 1000 Einwohner	Gewerbliche PKW	Anteil der PKW mit Schadstoffklasse 4 bis 6 (Grüne Plakette)
Verfügbare Zeitreihe	2012-2016	2011-2016	2012-2016	2012-2016	2012-2016	2012-2016	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2011	2011-2016	2011-2016	2011-2016	2012-2016	2011-2016

Quelle: eigene Darstellung nach: Behörde für Stadtentwicklung und Wohnen (2017)

Tabelle 63: infas 360 – ursprünglich angefragte Daten

Variablenname	Inhalt der Variable	Format	Daten liegen auf folgender Ebene vor (auf 1 km * 1 km anpassbar)	Kommentar	Kosten
CASA_WFL	Wohnfläche pro HH (nur Gebäude der priv. Nutzung)	Absolute Zahl	Adresse		angefragt
CASA_NVI	Nahversorgungsindex pro Adresse	Absolute Zahl	Adresse	Methodik?	angefragt
CASA_OPNV_IDX	ÖPNV-Index pro Adresse	1: sehr schlecht bis 100: sehr gut -99 keine Angabe	Adresse	Methodik?	angefragt
SB_MIET	Mietspiegel (€/qm)	Absolute Zahl	Siedlungsblock	wenn auch als Raster, dann Unterschied zu OT_MIET?	angefragt
OT_OPNV_IDX	Index zur ÖPNV-Verfügbarkeit	Absolute Zahl	Ortsteil	Methodik?	angefragt
OT_MIET	Mietspiegel (€/qm)	Absolute Zahl	Ortsteil		angefragt
OT_FLAECH	Fläche des Ortsteils (in qm)	Absolute Zahl	Ortsteil	Flächenanteile ggf. interessant bez. z. B. Grünversorgung?	angefragt
OT_NUTZ1 – OT_NUTZ26	26 Nutzungsformen (in %), können zu Indikatoren zu z. B. Grün- oder Gewerbe-, Industrie- und Verkehrsflächenanteil aggregiert werden	Absolute Zahl	Ortsteil		angefragt
CASA_SOZ_SCH	Überwiegende Soziale Schicht auf der Adresse	1: Oberschicht 2: obere Mittelschicht 3: Mittelschicht 4: untere Mittelschicht 5: Unterschicht -99: keine Angabe	Adresse	Methodik?	angefragt
SB_EW_AUSL_ANT	Anteil Ausländer	Prozentwert	Siedlungsblock		angefragt
STR_KK_EW	Kaufkraft je Einwohner in € pro Jahr	Absolute Zahl	Straßenblockseite	wenn auch als Raster, dann Unterschied zu SB_KK_EW?	angefragt
SB_KK_EW	Kaufkraft je Einwohner in € pro Jahr	Absolute Zahl	Siedlungsblock		angefragt
SB_KK_HH	Kaufkraft je Haushalt in € pro Jahr	Absolute Zahl	Siedlungsblock	wahrscheinlich relevanter als für EW	angefragt
OT_ALO_Q	Arbeitslosen-Quote (an den abhängig zivilen Erwerbspersonen)	Prozentwert	Ortsteil		angefragt
ANZ_FAM_FAM-TYP_3	Anzahl Familien mit dem Typ der Kernfamilie "Alleinerziehende Elternteile"	Absolute Zahl	100x100m Raster		angefragt
OT_MIGR_ANT	Migrationsanteil (bezogen auf Einwohner)	in Prozent	Ortsteil		angefragt

Quelle: eigene Darstellung auf Grundlage der *Datenbeschreibung infas 360 GmbH 2019*

B Metainformationen zu den verwendeten Datensätzen

Tabelle 64: Datensatz Mietspiegel in €/m² auf Baublockebene

Anmerkung: Die Firma infas360 verwendet zur Bezeichnung ihres Produkts den Begriff ‚Siedlungsblock‘ – es wird jedoch im Duden nicht definiert. Daher wird das Wort ‚Baublock‘ in diesem Gutachten synonym verwendet, für das eine solche Definition vorliegt.

Datenhalter	infas 360 GmbH (infas360)
Datenquelle	infas 360 GmbH, Immoscout24
Inhalt (Thema/Einheit) (Quelle: infas360)	durchschnittlicher Neuvermietungspreis je Quadratmeter (€/m ²) pro Siedlungsblock; Wohngebäude sind Gebäude mit reiner Wohnnutzung oder Mischnutzung.
Geographischer Bezugsrahmen	Siedlungsblock, deutschlandweit
Format	Shape-Datei
Bezugsjahr	2015
Erhebungshäufigkeit	jährlich
Erhebungsmethodik	Die Daten stammen aus der Schätzung eines Mehrebenenmodells (small area Methode) für jedes einzelne Wohngebäude. Inputdaten sind die Immoscoutdaten mit der Angabe zu den Mietpreisen pro Wohnung bzw. Einfamilienhaus (ca. 1,6 Mio Echtfälle) und infas Daten zur Wohnfläche. Die Anzahl der Echtfälle bezieht sich auf den Zeitraum von 2010-2015 (die Preise aus den älteren Jahren wurden für das aktuelle Jahr inflationsbereinigt). Vorgehen: Zunächst werden die Mietpreise pro Wohneinheit berechnet: Die Berechnung erfolgt pro Amtlichem Gemeindeschlüssel mit 27 Stellen (AGS27), getrennt für Einfamilienhäuser und Mehrfamilienhäuser und nur für private Gebäude. Es wird jeweils ein Mehrebenenmodell nach BBSR-Typen berechnet. Die unabhängigen Variablen sind: Lage des Hauses innerhalb der Gemeinde, Baudichte (in Klassen), Baujahr (in Klassen), Gebäudetypologie in groben Klassen, Anzahl Points of Interest pro Ortsteilen in Klassen sowie die Ebenen Ortsteil und Siedlungsblock, bzw. bei Kleinstädten die Gemeinde und der Ortsteil. Fehlende Werte werden mit Werten aus darüberliegenden Ebenen aufgefüllt. Schließlich wird auf Basis der Mietpreise pro Wohneinheit und der Wohnfläche der durchschnittliche Mietpreis je Quadratmeter im Siedlungsblock ermittelt. (infas360: pers. Komm.)
Weiterbearbeitungsschritte	Die weitere Verarbeitung der Daten ist ausführlich in Abschnitt 3.1.2 beschrieben.
Einschränkung der Daten	Die genaue Methodik der Datenmodellierung gehört zum Geschäftsmodell der infas 360 GmbH und ist daher nicht im Detail dokumentiert.
Verfügbarkeit	käuflicher Erwerb von infas360 GmbH
Datenschutzanforderung	Daten dürfen nur im Rahmen des Projektes vom Institut verwendet werden und sind nach Abschluss des Projektes zu löschen.
Quellennennung	infas360

Tabelle 65: Datensatz Kaufspreis in €/m² auf Baublockebene

Datenhalter	infas 360 GmbH (infas360)
Datenquelle	infas 360 GmbH, Immoscout24
Inhalt (Thema/Einheit) (Quelle: infas 360 GmbH)	durchschnittlicher Kaufpreis je Quadratmeter Wohnfläche (€/m ²) pro Siedlungsblock
Geographischer Bezugsrahmen	Siedlungsblock, deutschlandweit
Format	Shape-Datei
Bezugsjahr	2015
Erhebungshäufigkeit	jährlich
Erhebungsmethodik	Inputdaten sind infas 360 GmbH Datensätze Kaufpreis pro Wohneinheit (Variablenname: CASA_WH_PREIS_KL) und Wohnfläche (Variablenname: CASA_WFL_CASA_WFL_KL). Auf der Basis der Kaufpreise pro Wohneinheit und der Wohnfläche wird der durchschnittliche Kaufpreis je Quadratmeter im Siedlungsblock ermittelt. Die Kaufpreise pro Wohneinheit werden wiederum analog zum Mietspiegel berechnet (nach Inflationsbereinigung). Die Daten stammen aus der Schätzung des Mehrebenenmodells (small area Methode) für jedes einzelne Wohngebäude. Für jedes Wohngebäude wird ein Kaufpreis geschätzt und dann der Durchschnitt pro Quadratmeter pro Siedlungsblock berechnet, daher spielt eine Mindestanzahl an Erhebungen pro Block keine Rolle. (infas360: pers. Komm.)
Weiterbearbeitungsschritte	Die weitere Verarbeitung der Daten ist ausführlich in Abschnitt 3.1.2 beschrieben.
Einschränkung der Daten	Die genaue Methodik der Datenmodellierung gehört zum Geschäftsmodell der infas 360 GmbH und ist daher nicht im Detail dokumentiert.
Verfügbarkeit	käuflicher Erwerb von infas 360 GmbH
Datenschutzanforderung	Daten dürfen nur im Rahmen des Projektes vom Institut verwendet werden und sind nach Abschluss des Projektes zu löschen.
Quellennennung	infas360

Tabelle 66: Datensatz Haushaltseinkommen im €/Jahr auf 1 x 1 km²

Datenhalter	Forschungsdatenzentrum Ruhr am RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung
Datenquelle	microm Micromarketing-Systeme und Consult GmbH (microm)
Inhalt (Thema/Einheit)	Die Kaufkraftdaten geben das jährliche Haushaltsnettoeinkommen wider. Dies beinhaltet alle Einkünfte aus Arbeit, Kapitalvermögen, Vermietung und Verpachtung nach Abzug von Steuern und Sozialabgaben, jedoch zzgl. Transferleistungen wie Arbeitslosen-, Kindergeld oder Renten. Regelmäßige Zahlungen für z. B. Miete, Strom oder Beiträge für Versicherungen sind nicht abgezogen und demnach noch in der Kaufkraft enthalten. (aus: RWI und microm 2018) Einheit: Summe der Haushaltsnettoeinkommen in €/Jahr pro Raumeinheit zusätzlich: Anzahl der Haushalte pro Raumeinheit
Geographischer Bezugsrahmen	Deutschland gesamt, Auflösung 1 x 1 km ²
Format	CSV für 1 x 1 km ² Raster des Zensus
Bezugsjahr	2015 zeitliche Dimension: Querschnitt
Erhebungshäufigkeit	jährlich
Erhebungsmethodik	„Die Sachdaten werden jedoch nicht für die einzelnen Haushalte, sondern zunächst für die rund 19,7 Millionen Häuser in Deutschland berechnet.“ (microm Consumer Marketing 2014, S. 1). „Anonymisierung folgender Variablen: Bevölkerung und Haushalt sofern diese Variablen weniger als 20 Beobachtungen in einem Quadratkilometer aufweisen. Zudem wurde die Kaufkraft und die Anzahl der Kinder anonymisiert, sofern die Anzahl der Haushalte in einem Quadratkilometer weniger als 20 Beobachtungen aufgewiesen haben.“ (aus: RWI und Microm 2018; keine Seitenangabe)
Weiterbearbeitungsschritte	Die Daten wurden über die gemeinsame Georeferenzierung (gitter-id) an das 1 x 1 km ² -Raster des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie ³² angespielt (nur bewohnte Flächen). Anschließend wurde das gesamte Haushaltsnettoeinkommen durch die Anzahl der Haushalte der jeweiligen 1 x 1 km ² Zelle dividiert.
Einschränkung der Daten	Die genaue Methodik der statistischen Berechnung aus räumlich geringer aufgelösten Datensätzen gehört zum Geschäftsmodell der Datenerstellerin und ist daher nicht einsehbar.
Verfügbarkeit	Bereitstellung durch FDZ Ruhr am RWI, erstellt durch microm Micromarketing-Systeme und Consult GmbH
Datenschutzanforderung	Verwendung der Daten nur im Rahmen der Projektdurchführung
Quellennennung	RWI; Microm (2018): Sozioökonomische Daten auf Rasterebene (SUF 7.1). Kaufkraft. RWI-GEO-GRID. Version: 1. RWI – Leibniz-Institut für Wirtschaftsforschung. Dataset. Online verfügbar unter http://doi.org/10.7807/microm:kaufkraft:suf:v7:1 .

³² Link zum Raster: <https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/open-data/geographische-gitter-fur-deutschland-in-lambert-projektion-geogitter-inspire.html>

Tabelle 67: Datensatz Belastung mit PM_{2.5} in µg/m³ auf 100 x 100 m² für Hamburg

Datenhalter	Zentrum für Material- und Küstenforschung Helmholtz-Zentrum Geesthacht (HZG)
Datenquelle	EPISODE-CityChem Modell
Inhalt (Thema/Einheit)	modellierte PM _{2.5} -Werte für die Stadt Hamburg
Geographischer Bezugsrahmen	Stadtgebiet Hamburg, 100 x 100 m ² Regionen in Hamburg mit gleichen Feinstaubwerten in den Nachbarzellen sind zusammengefasst dargestellt und größer als 100 x 100 m ²
Format	Shape-File
Bezugsjahr	2012
Erhebungshäufigkeit	-
Erhebungsmethodik	Simulation für einen 12-Monatszeitraum mit dem EPISODE-CityChem Modell, basierend auf Daten aus dem Luftqualitätsnetzwerk Hamburg; siehe Karl et al. (2019) für Modellierungsmethodik und weitere Eingangsparameter
Weiterbearbeitungsschritte	-
Einschränkung der Daten	Evaluation der Modellierungsergebnisse in Karl et al. (2019), S.3375 ff.
Verfügbarkeit	download der Model-Outputdaten auf Nachfrage beim Institut für Küstenforschung vom HZG ftp-server möglich; die hier verwendeten Daten wurden von den Autoren zusätzlich für dieses Projekt aufbereitet und bereitgestellt
Datenschutzanforderung	keine bekannt
zugehörige Veröffentlichung	Karl, Matthias; Walker, Sam-Erik; Solberg, Sverre; Ramacher, Martin O. P. (2019): The Eulerian urban dispersion model EPISODE – Part 2: Extensions to the source dispersion and photochemistry for EPISODE–CityChem v1.2 and its application to the city of Hamburg. In: Geoscientific Model Development 12 (8), S. 3357–3399. DOI: 10.5194/gmd-12-3357-2019.

Tabelle 68: Datensatz zur Hintergrundbelastung mit PM_{2,5} in µg/m³ auf 500 x 500 m² für Berlin

Datenhalter	Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SENUVK)
Datenquelle	Ausbreitungsmodell IMMISnet
Inhalt (Thema/Einheit)	modellierte PM _{2,5} -Werte für die Stadt Berlin
Geographischer Bezugsrahmen	500 x 500 m ² , Stadtgebiet Berlin
Format	Shape-File in der Projektion 25833
Bezugsjahr	2015
Erhebungshäufigkeit	-
Erhebungsmethodik	Das immissionsklimatologische Ausbreitungsmodell IMMISnet berechnet auf Basis der Gaußschen Rauchfahngleichung Immissionen aus den Emissionen der Flächen-, Linien- und Punktquellen. Diese werden mit den Jahresmittelwerten aus den gemessenen Hintergrundbelastungen der vier Berliner Luftmessstationen (für PM _{2,5}) gespeist.
Weiterbearbeitungsschritte	Umprojektion in die vereinbarte Verarbeitungsprojektion 3035
Einschränkung der Daten	-
Verfügbarkeit	vom Referat für Immissionsschutz der Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz (SENUVK) bereitgestellt
Datenschutzanforderung	keine Weitergabe der Daten
zugehörige Veröffentlichung	-

Tabelle 69: Datensatz zur Hintergrundbelastung mit PM_{2,5} in µg/m³ auf 2 x 2 km² für Deutschland

Datenhalter	Umweltbundesamt (UBA)
Datenquelle	Umweltbundesamt, Daten der Messnetze der Länder und des Bundes
Inhalt (Thema/Einheit)	modellierte PM _{2,5} -Jahresmittelwerte für Deutschland
Geographischer Bezugsrahmen	Deutschland, 2 x 2 km ²
Format	Shape-Datei in der Projektion 25832 entsprechend dem Code der European Petroleum Survey Group Geodesy (EPSG)
Bezugsjahr	2015
Erhebungshäufigkeit (Basisdaten)	jährlich
Modellierungsmethodik	1) Räumliche Zuordnung jährlicher nationaler Emissionssummen für über 100 Einzelsektoren. 2) Simulation der räumlichen Ausbreitung unterschiedlicher Schadstoffe anhand eines Chemie-Transport-Modells (REM-CALGRID) unter Berücksichtigung der meteorologischen Daten des Deutschen Wetterdienstes. 3) Assimilation der Modellergebnisse mittels Interpolation basierend auf Messwerten von Stationen des städtischen und ländlichen Hintergrunds aus dem Messnetz der Länder und des Bundes. Kriterien für die Aggregation der Werte: Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über Luftqualität und saubere Luft für Europa.
Einschränkung der Daten	Messdaten und Modellierung beschränken sich auf den städtischen und ländlichen Hintergrund. Die flächenhafte Modellierung basiert auf einer (relativ geringen) Anzahl von bundesweit ca. 100 PM _{2,5} -Messstationen (diese ist allerdings im internationalen Vergleich relativ hoch).
Verfügbarkeit	auf Anfrage bei Umweltbundesamt
Datenschutzanforderung	Datenschutzvereinbarung

Tabelle 70: Datensatz ATKIS-Daten des Digitalen Basis- Landschaftsmodell für Hamburg

Datenhalter	Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung (LGV) Hamburg
Datenquelle	Transparenzportal Hamburg: http://suche.transparenz.hamburg.de/dataset/at-kis-digitales-basis-landschaftsmodell-hamburg17?forceWeb=true (zuletzt abgerufen am 12.11.2019)
Inhalt (Thema/Einheit)	Das Digitale Basis-Landschaftsmodell (Basis-DLM ²) orientiert sich am Basismaßstab 1: 25.000. Es wird für alle Objekte eine Lagegenauigkeit von ± 3 m angestrebt. Es hat eine Informationstiefe, die über die Darstellung der Digitalen Stadtkarte von Hamburg (1: 20.000) hinausgeht. Die Objekte werden einer bestimmten Objektart zugeordnet und durch ihre räumliche Lage, ihren geometrischen Typ, beschreibende Attribute und Beziehungen zu anderen Objekten (Relationen) definiert. (Freie und Hansestadt Hamburg, Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung 2019)
Geographischer Bezugsrahmen	Freie und Hansestadt Hamburg
Format	shape-Datei
Bezugsjahr	2015
Erhebungshäufigkeit	jährlich
Erhebungsmethodik	
Weiterbearbeitungsschritte	Auswahl der Datenlayer ‚Wohnbaufläche‘ und ‚Fläche gemischter Nutzung‘ (bezeichnet zum Beispiel Gewerbenutzung im Erdgeschoss mit Wohnnutzung in darüber liegenden Geschossen). Umprojektion nach EPSG: 3035
Einschränkung der Daten	
Verfügbarkeit	Open Data im Rahmen des Transparenzgesetzes
Datenschutzanforderung	keine
Quellennennung	Lizenz: Datenlizenz Deutschland – Namensnennung – Version 2.0 Quellenvermerk: Freie und Hansestadt Hamburg, Landesbetrieb Geoinformation und Vermessung

Tabelle 71: Datensatz Einwohnerzahl laut Zensus 2011 für Deutschland auf 100 x 100 m²

Datenhalter	Bundesamt für Kartographie und Geodäsie
Datenquelle	Gitterzellen: Open Data Portal des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie: https://gdz.bkg.bund.de/index.php/default/open-data/geographische-gitter-fur-deutschland-in-lambert-projektion-geogitter-inspire.html (zuletzt abgerufen am 08.04.2019) Bevölkerungszahlen: https://www.zensus2011.de/SharedDocs/Downloads/DE/Pressemitteilung/DemografischeGrunddaten/Datensatzbeschreibung_Bevoelkerung_100m_Gitter.xlsx?__blob=publication-File&v=2
Inhalt (Thema/Einheit)	„Für die Darstellung und Analyse statistischer Sachverhalte [hier: Einwohnerdaten] ist die Verwendung von regelmäßigen Gitterzellen als Träger semantischer Informationen ein etabliertes Verfahren.“ (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) 2019)
Geographischer Bezugsrahmen	100 x 100 Meter ² , Gitter-Form
Format	Shape- Datei
Bezugsjahr	2015
Erhebungshäufigkeit	Keine Angabe
Erhebungsmethodik	Keine Angabe
Weiterbearbeitungsschritte	Alle Zellen mit <3 Einwohner werden aus Datenschutzgründen als unbewohnt ausgewiesen. Es wurden alle Zellen gelöscht, die im Datensatz als unbewohnt vorgehalten werden.
Einschränkung der Daten	Datenverlust auf Grund der genannten Datenschutzvorkehrungen
Verfügbarkeit	Frei über die Homepage des BKG
Datenschutzanforderung	keine
Quellennennung	Quellenvermerk ist wie folgt zu gestalten: © GeoBasis-DE / BKG (Jahr des Datenbezugs)

C Deskriptive Statistiken der verwendeten Variablen

C.1 Realdatensätze

Tabelle 72: Deskriptive Statistiken der SES-Indikatoren für Hamburg

	Baublockebene			1 x 1 km ²
	Mietspiegel	Kaufspiegel	Baublockfläche	Haushaltseinkommen
gültige Werte	N = 16.990	N = 11.608	N = 23.479	N = 655
fehlende Werte	N = 6.489	N = 11.871	-	N = 105
Mittelwert	9,13 €/m ²	3.870 €/m ²	17.351 m ²	48.612 €/Jahr
Median	8,88 €/m ²	3.313 €/m ²	8.381 m ²	48.111 €/Jahr
Standardabweichung	1,48 €/m ²	2.158 €/m ²	30.763 m ²	8.795 €/Jahr
Minimum	5,35 €/m ²	385 €/m ²	0 m ²	29.480 €/Jahr
Maximum	15,22 €/m ²	34.496 €/m ²	1.309.258 m ²	79.668 €/Jahr
1. Quartil	8,07 €/m ²	2.559 €/m ²	2.840 m ²	42.691 €/Jahr
3. Quartil	9,87 €/m ²	4.496 €/m ²	20.906 m ²	53.728 €/Jahr

Tabelle 73: Deskriptive Statistiken der lokalen Belastung mit PM_{2.5} in µg/m³ in Hamburg auf 100 x 100 m²

	Wert
gültige Werte	N = 52.338
fehlende Werte	-
Mittelwert	13,61 µg/m ³
Median	12,99 µg/m ³
Standardabweichung	3,32 µg/m ³
Minimum	10,13 µg/m ³
Maximum	395,26 µg/m ³
1. Quartil	12,23 µg µg/m ³
3. Quartil	14,24 µg/m ³

Tabelle 74: Deskriptive Statistiken der SES-Indikatoren für Berlin

	Baublockebene			1 x 1 km ²
	Mietspiegel	Kaufspiegel	Baublockfläche	Haushaltseinkommen
gültige Werte	N = 18.130	N = 13.199	N = 21.164	N = 771
fehlende Werte	N = 3.034	N = 7.965	N = 0	N = 121
Mittelwert	7,51 €/m ²	3.089 €/m ²	27.323 m ²	39.776 €/Jahr
Median	7,44 €/m ²	2.674 €/m ²	18.891 m ²	38.652 €/Jahr
Standardabweichung	0,90 €/m ²	1.560 €/m ²	40.548 m ²	6.688 €/Jahr
Minimum	4,76 €/m ²	356 €/m ²	0 m ²	24.896 €/Jahr
Maximum	12,2 €/m ²	22.173 €/m ²	1.328.193 m ²	69.865 €/Jahr
1. Quartil	6,98 €/m ²	2.120 €/m ²	10.327 m ²	34.935 €/Jahr
3. Quartil	7,75 €/m ²	3.671 €/m ²	31.664 m ²	43.506 €/Jahr

Tabelle 75: Deskriptive Statistiken der Hintergrundbelastung mit PM_{2,5} µg/m³ auf 500 x 500 m² in Berlin

	Wert
gültige Werte	N = 3.747
fehlende Werte	-
Mittelwert	13,17 µg/m ³
Median	13,17 µg/m ³
Standardabweichung	1,06 µg/m ³
Minimum	11,25 µg/m ³
Maximum	15,69 µg/m ³
1. Quartil	12,31 µg/m ³
3. Quartil	14,13 µg/m ³

Tabelle 76: Deskriptive Statistiken der Datensätze Mietspiegel und Kaufspiegel (€/m²) auf Baublockebene (infas360) nach Baublockflächenkorrektur und Zuweisung der Einwohnerzahlen für Berlin

Statistik	Mietspiegel (€/m ²)	Kaufspiegel (€/m ²)	Baublockfläche in m ²
Anzahl	N = 11.968		
Mittelwert	7,53	3.064	27.045
Median	7,48	2.626	22.280
Standardabweichung	0,93	1.574	20.326
Minimum	4,76	356	667
Maximum	12,20	22.173	290.757
1. Quartil	7,02	2.087	14.511
3. Quartil	7,97	3.636	33.172

Tabelle 77: Deskriptive Statistiken des Mietspiegels in €/m² und Kaufspiegels in €/m² auf Baublockebene für Deutschland

	Mietspiegel	Kaufspiegel	Baublockfläche
gültige Werte	N = 2.389.618	N = 2.007.911	N = 2.950.464
fehlende Werte	N = 560.846	N = 942.553	-
Mittelwert	5,90 €/m ²	1.860 €/m ²	12.875 m ²
Median	5,54 €/m ²	1.588 €/m ²	7.319 m ²
Standardabweichung	1,25 €/m ²	1.138 €/m ²	31.164 m ²
Minimum	2,15 €/m ²	131 €/m ²	0 m ²
Maximum	20,06 €/m ²	44.236 €/m ²	18.864.461 m ²
1. Quartil	5,08 €/m ²	1.170 €/m ²	3.196 m ²
3. Quartil	6,36 €/m ²	2.203 €/m ²	15.073 m ²

Tabelle 78: Deskriptive Statistiken der Datensätze Mietspiegel und Kaufspiegel (€/m²) auf Baublockebene (infas360) nach Baublockflächenkorrektur und Zuweisung der Einwohnerzahlen für Deutschland

Statistik	Mietspiegel (€/m ²)	Kaufspiegel (€/m ²)	Baublockfläche in m ²
Anzahl	N = 1.866.984		
Mittelwert	5,87	1.850	12.446
Median	5,52	1.583	8.504
Standardabweichung	1,23	1.122	13.140
Minimum	3,24	131	56
Maximum	20,06	34.496	469.256
Q1	5,07	1.166	4.316
Q3	6,32	2.192	15.840

Tabelle 79: Deskriptive Statistiken der Daten zum Haushaltseinkommen in €/Jahr auf 1 x 1 km² für Deutschland

	kumuliertes Einkommen pro 1 x 1 km ²	Durchschnittseinkommen pro 1 x 1 km ²
gültige Werte	N = 149.810	N = 149.145
fehlende Werte*	N = 69.577	N = 70.242
Mittelwert	12.002.300 €	45.670 €
Median	2.969.720 €	45.448 €
Standardabweichung	26.475.700 €	9.200 €
Minimum	0 €	15.518 €
Maximum	728.115.000 €	242.166 €
1. Quartil	1.063.680 €	39.632 €
3. Quartil	10.316.600 €	51.332 €

*NA-Werte und -1-Werte im Rohdatensatz wurden als fehlende Werte behandelt, eine Angabe von 0 € als Minimalwert.

Tabelle 80: Deskriptive Statistiken der Hintergrundbelastung mit $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $\text{PM}_{2.5}$ für Deutschland auf $2 \times 2 \text{ km}^2$

	Wert
gültige Werte	N = 94.126
fehlende Werte	-
Mittel	10,26 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Median	10,30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Standardabweichung	1,31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Minimum	6,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Maximum	16,70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
1. Quartil	9,40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
3. Quartil	11,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

C.2 z-transformierte Datensätze

Tabelle 81: Deskriptive Statistiken der z-transformierten Variablen Mietspiegel und Kaufspiegel auf Baublockebene sowie Mietspiegel, Kaufspiegel und Haushaltseinkommen auf Ebene des 1 x 1 km² Rasters für Hamburg

	Baublockebene N = 10 051		1 x 1 km ² Raster N = 623†		
	Mietspiegel	Kaufspiegel	Mietspiegel	Kaufspiegel	Haushalts-ein-kommen
Mittelwert*	-0,005	-0,010	0	0	0
Median	-0,200	-0,262	-0,187	0,330	-0,058
SD*	0,983	0,988	1	1	1
Minimum	-2,513	-1,623	-2,260	-1,656	-2,179
Maximum	4,066	14,226	3,452	5,083	3,551
Q1	-0,700	-0,614	-0,700	-0,617	-0,671
Q3	0,473	0,292	0,428	0,359	0,607

*Anmerkung: In z-normalisierten Datensätzen beträgt der Mittelwert 0 und die Standardabweichung 1. Die Abweichungen der hier gezeigten Werte ergeben auch aus Rundungseffekten bei den dieser Transformation zu Grunde liegenden Größen: Mittelwert und Standardabweichung der reellen Daten.

† Bei der Verschneidung der Feinstaubwerte auf mit dem Haushaltseinkommen auf 1 x 1 km² lag die resultierende Fallzahl nur bei 565 Zellen, weil der PM_{2,5}-Datensatz im Gegensatz zu den SES-Indikatoren nicht das gesamte Hamburger Stadtgebiet abdeckt (vgl. Abschnitt 3.3).

Tabelle 82: Deskriptive Statistiken der z-transformierten Variablen Mietspiegel und Kaufspiegel auf Baublockebene sowie Mietspiegel, Kaufspiegel und Haushaltseinkommen auf Ebene des 1 x 1 km² Rasters für Berlin

	Baublockebene N = 11.726		1 x 1 km ² Raster N = 755		
	Mietspiegel	Kaufspiegel	Mietspiegel	Kaufspiegel	Haushaltseinkommen
Mittelwert*	-0,001	0,004	0,001	0,010	-0,004
Median	0,054	-0,283	-0,023	-0,30351	-0,175568
SD*	0,997	0,999	1,006	1,005	1,002
Minimum	-2,991	-1,721	-2,153	-1,740	-2,225
Maximum	5,043	12,136	3,397	5,273	4,499
Q1	-0,550	-0,622	-0,721	-0,670	-0,728
Q3	0,465	0,356	0,521	0,475	0,554

*Anmerkung: In z-normalisierten Datensätzen beträgt der Mittelwert 0 und die Standardabweichung 1. Die Abweichungen der hier gezeigten Werte ergeben auch aus Rundungseffekten bei den dieser Transformation zu Grunde liegenden Größen: Mittelwert und Standardabweichung der reellen Daten.

Tabelle 83: Deskriptive Statistiken der z-transformierten Variablen Mietspiegel und Kaufspiegel auf Baublockebene sowie Mietspiegel, Kaufspiegel und Haushaltseinkommen auf Ebene des 1 x 1 km² Rasters für Deutschland

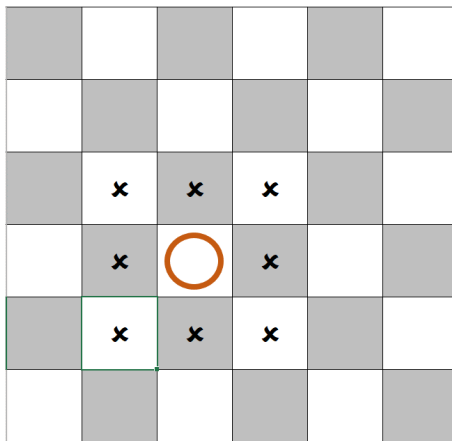
	Baublockebene N = 1.866.984		1 x 1 km ² Raster N = 145.854		
	Mietspiegel	Kaufspiegel	Mietspiegel	Kaufspiegel	Haushalts-ein- kommen
Mittelwert*	-3,6933E-15	-3,7348E-15	0,005	-0,087	0,005
Median	-0,043	-0,113	-0,034	-0,192	0,002
SD*	0,999	0,999	0,911	0,822	0,996
Minimum	-9,754	-5,641	-5,324	-5,739	-4,923
Maximum	22,352	24,489	8,031	7,327	5,542
Q1	-,618384	-0,624	-0,580	-0,605	-0,707
Q3	0,578163	0,491	0,564	0,334	0,709

*Anmerkung: In z-normalisierten Datensätzen beträgt der Mittelwert 0 und die Standardabweichung 1. Die Abweichungen der hier gezeigten z-Werte ergeben sich a) aus der deutschlandweiten Zusammenfassung von z-Werten, die auf Gemeindeebene errechnet wurden (Baublockebene) sowie b) aus der Aggregation der z-Werte von Baublock- auf 1 x 1 km-Ebene (vgl. Abschnitt 4.3.2).

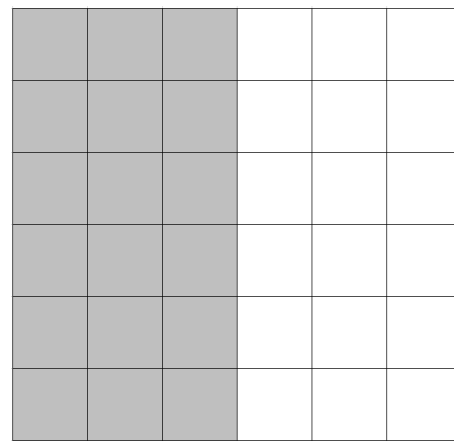
D Erläuterung der Global Moran's I Statistic

Global Moran's I untersucht räumliche Daten auf globale Verteilungsmuster – fragt also nicht nach dem Vorhandensein einzelner Cluster. Da hierfür die Werte benachbarter Raumeinheiten miteinander in Bezug gesetzt werden, muss zunächst definiert werden, welche dieser Einheiten als Nachbarn gelten sollen und ob es sich um eine binäre oder skalierte Beziehung handelt (binär: A ist Nachbar von B oder ist nicht Nachbar von B; skaliert: der ‚Grad‘ der Nachbarschaft von A und B basiert beispielsweise auf einem inversen Distanzmaß). Im vorliegenden Fall wurde sowohl für die Miet- und Kaufspiegeldaten auf Ebene der Baublöcke als auch für die $PM_{2.5}$ Daten auf Ebene des $100 \times 100 \text{ m}^2$ Rasters die *queen contiguity* als Basis einer binären Nachbarschaftsdefinition gewählt. In Anlehnung an die Figur der Königin beim Schach hat dabei eine Raumeinheit alle anderen Raumeinheiten als Nachbarin, mit denen sie mindestens einen gemeinsamen Grenzpunkt teilt. In Abbildung 59 hat somit die mit dem Kreis markierte Zelle alle acht mit Kreuz markierten Zellen als Nachbarinnen.

Abbildung 59: Muster räumlicher Datenverteilung – schematische Darstellung



Global Moran's $I = -1$



Global Moran's $I = 1$

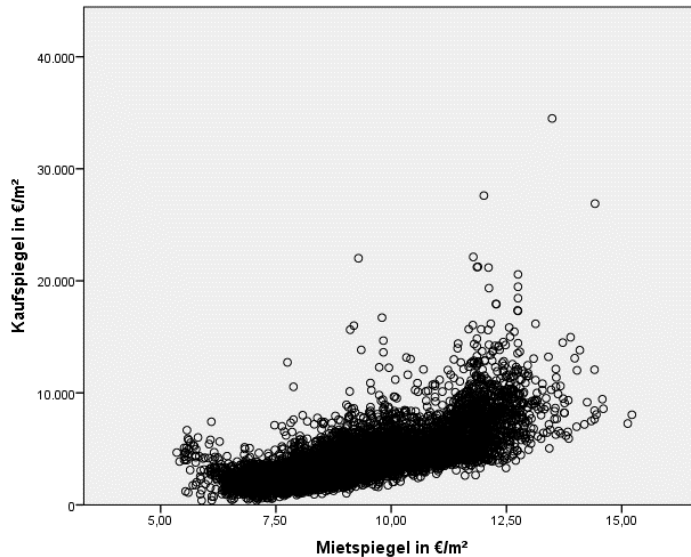
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

E Punktdiagramme / Scatterplots

Im Folgenden finden sich die bivariaten Punktdiagramme, die die linearen Zusammenhänge der in den Analysen verwendeten SES- und Feinstaubvariablen dokumentieren.

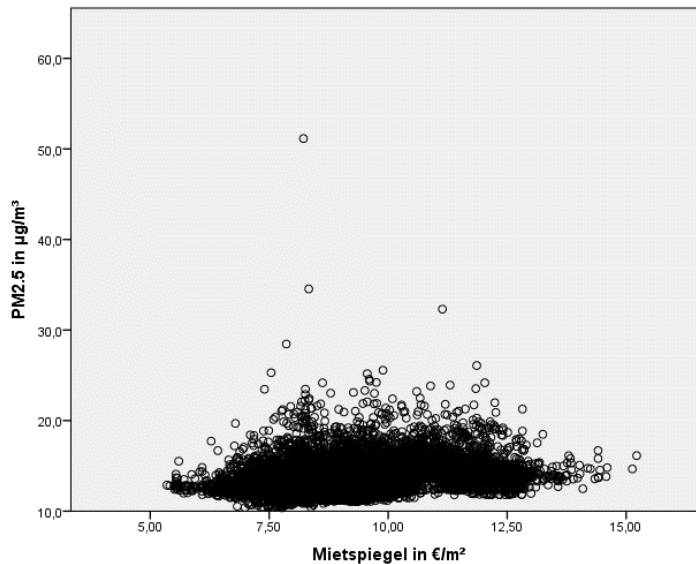
E.1 Daten für Hamburg

Abbildung 60: Mietspiegel und Kaufspiegel (in €/m²) auf Ebene der Baublöcke – Hamburg



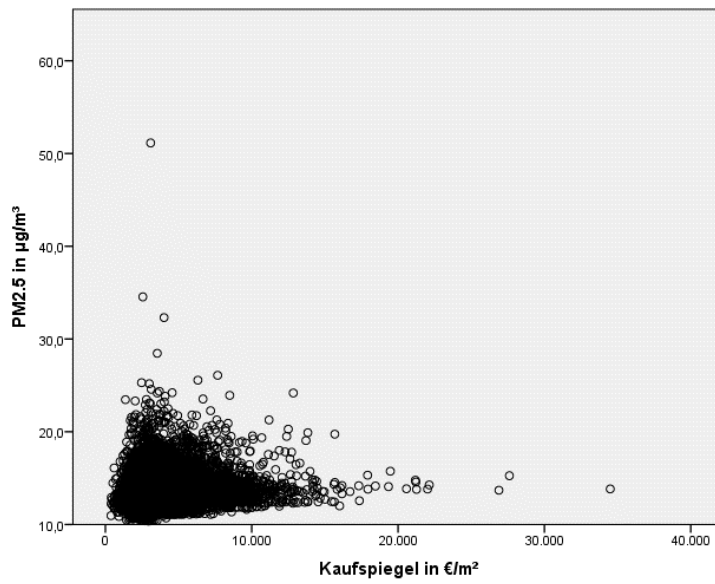
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 61: Mietspiegel und PM_{2.5} Belastung auf Ebene der Baublöcke – Hamburg



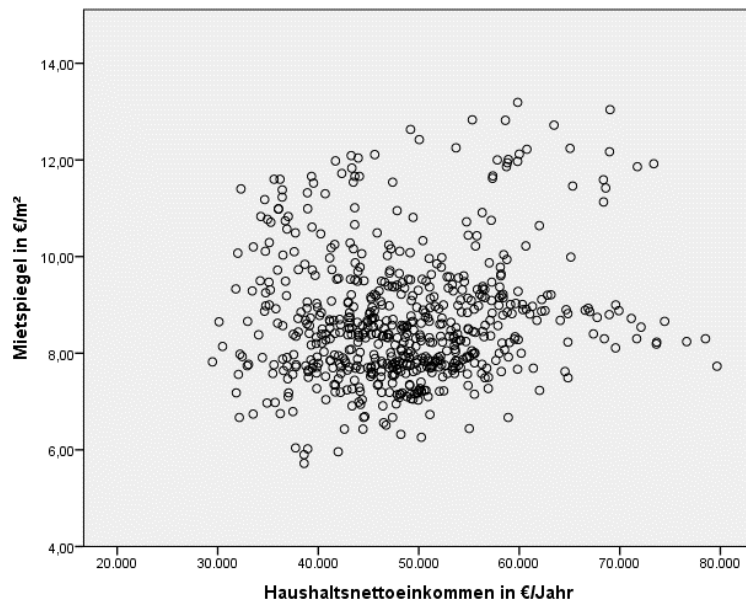
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 62: Kaufspiegel und PM_{2.5} Belastung auf Ebene der Baublöcke – Hamburg



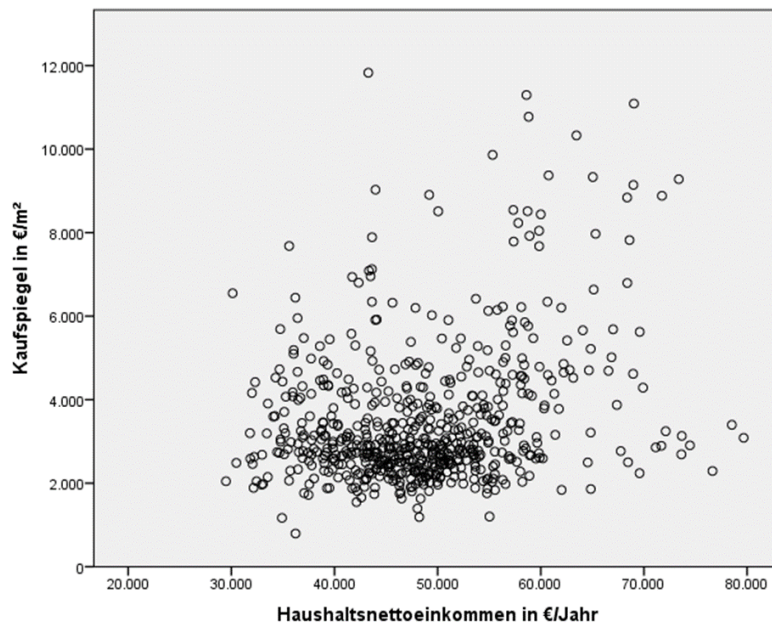
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 63: Haushaltseinkommen und Mietspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km² Zensustrasters – Hamburg



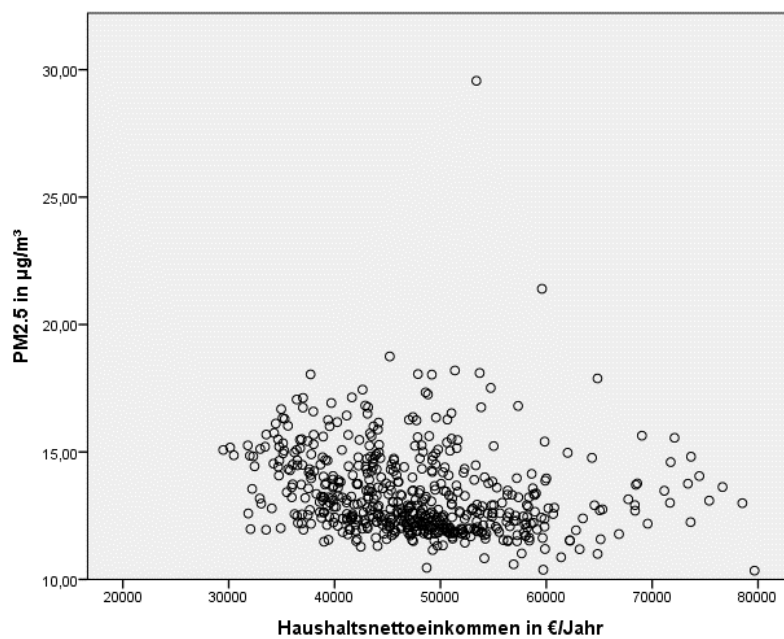
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 64: Haushaltseinkommen und Kaufspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km² Zensusrasters – Hamburg



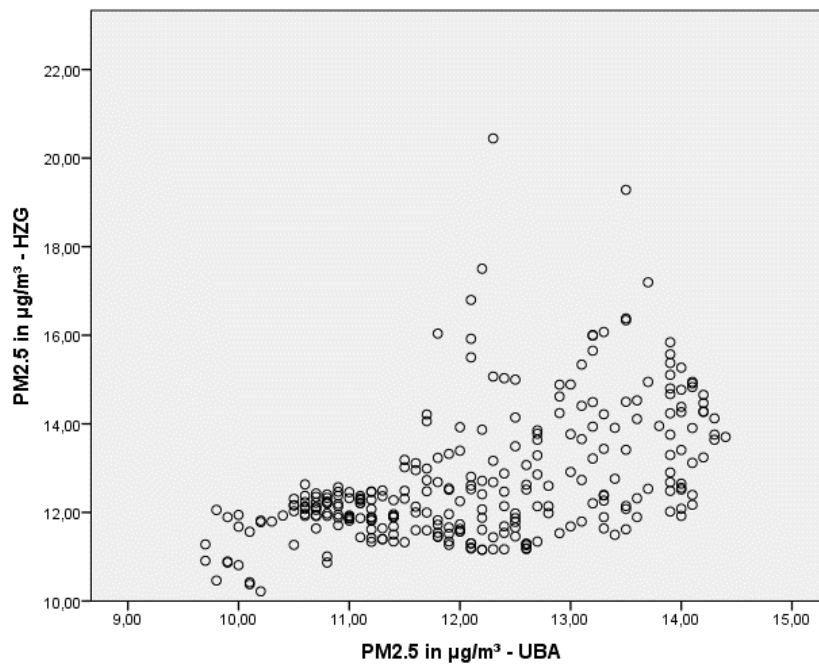
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 65: Haushaltseinkommen und PM_{2.5} Belastung (flächengewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km² Zensusrasters – Hamburg



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

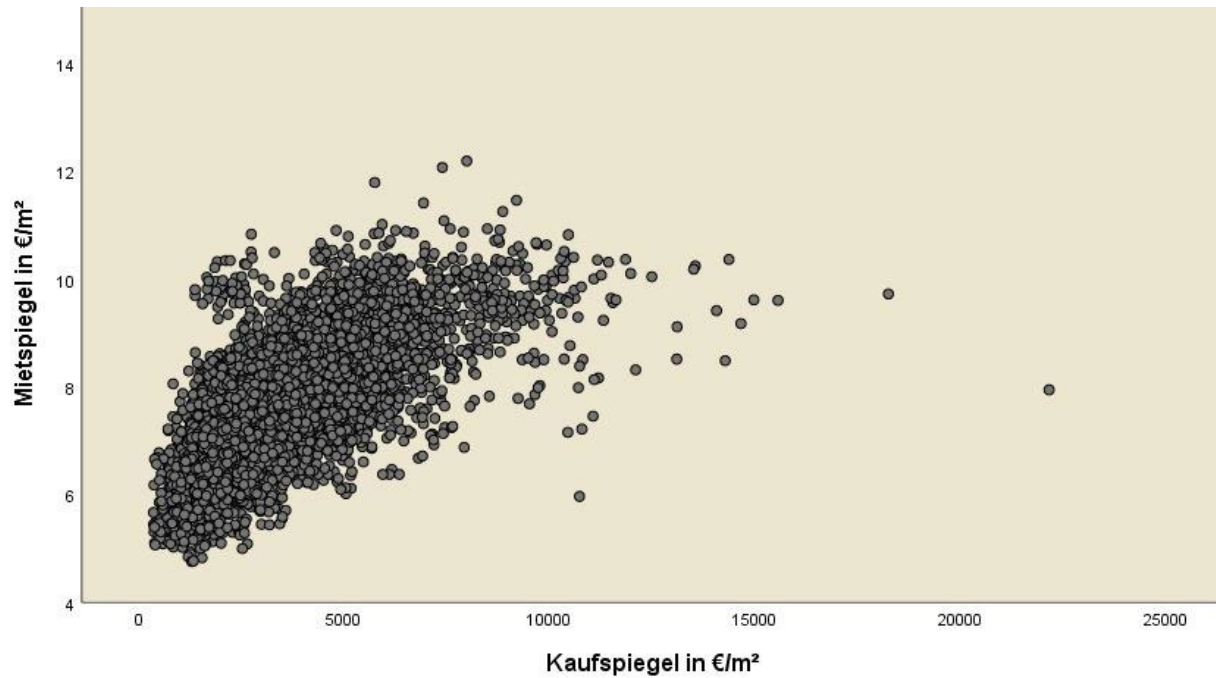
**Abbildung 66: PM_{2.5} Belastung auf 2 x 2 km² – Hintergrundbelastungswerte des UBA und flächen-
gewichtetes Mittel der HZG-Daten – Hamburg**



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

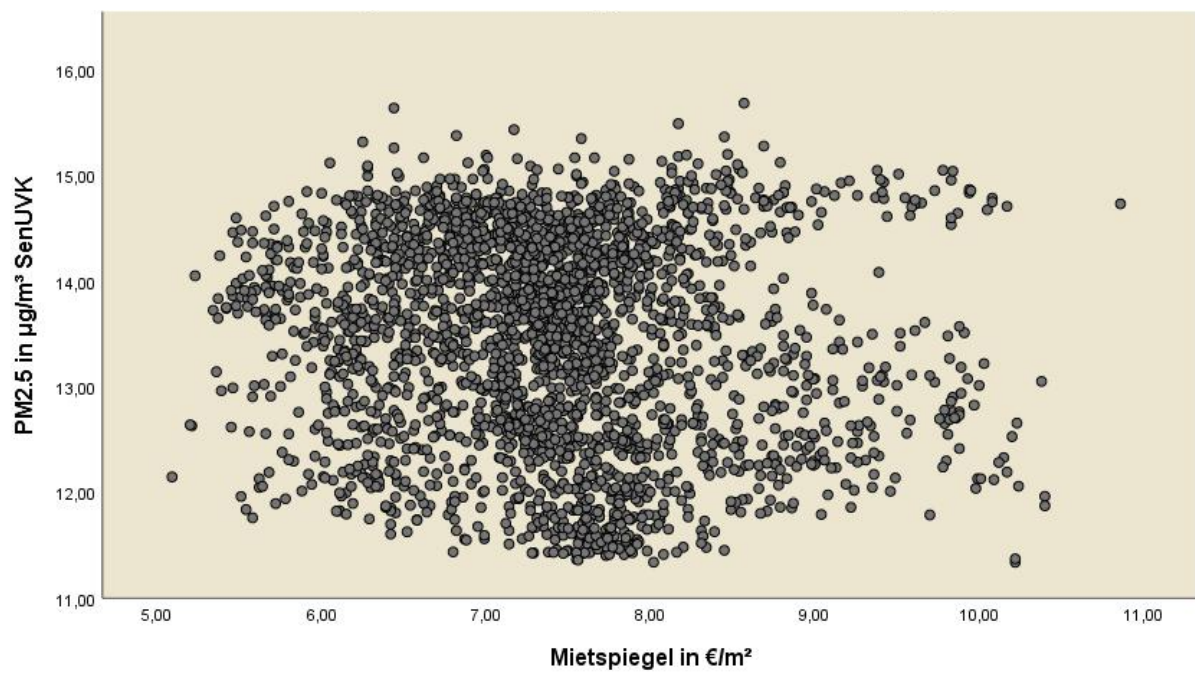
E.2 Daten für Berlin

Abbildung 67: Mietspiegel und Kaufspiegel (in €/m²) auf Ebene der Baublöcke – Berlin



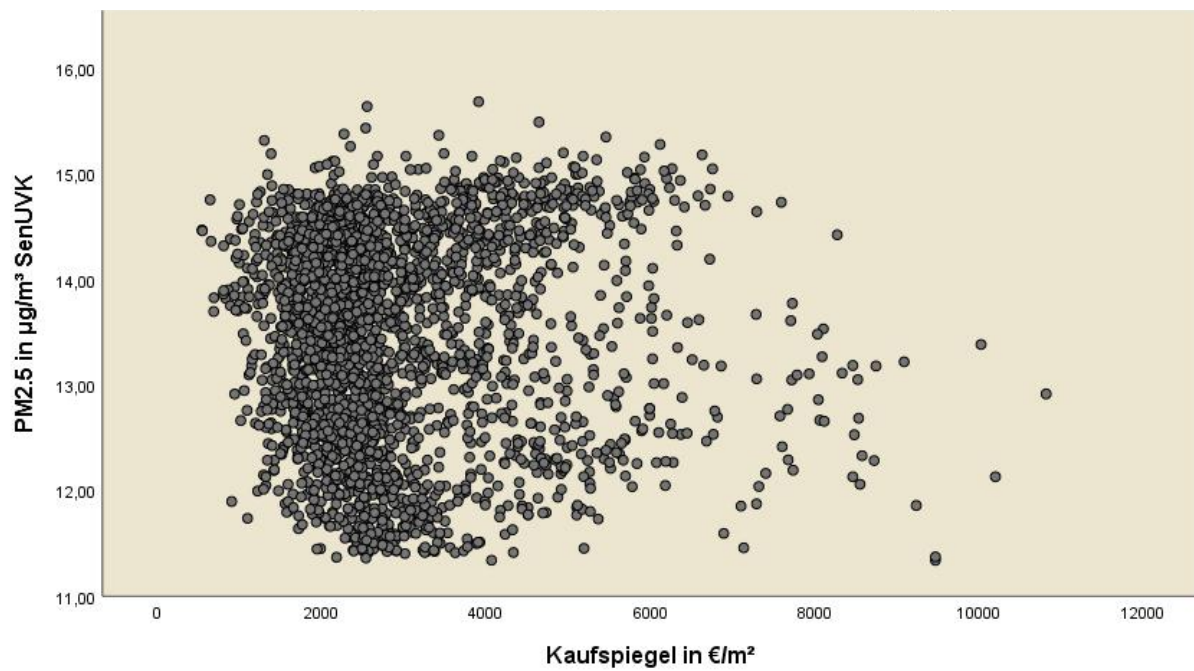
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 68: Mietspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) und PM_{2.5} Belastung auf Ebene des 500 x 500 m² Rasters – Berlin



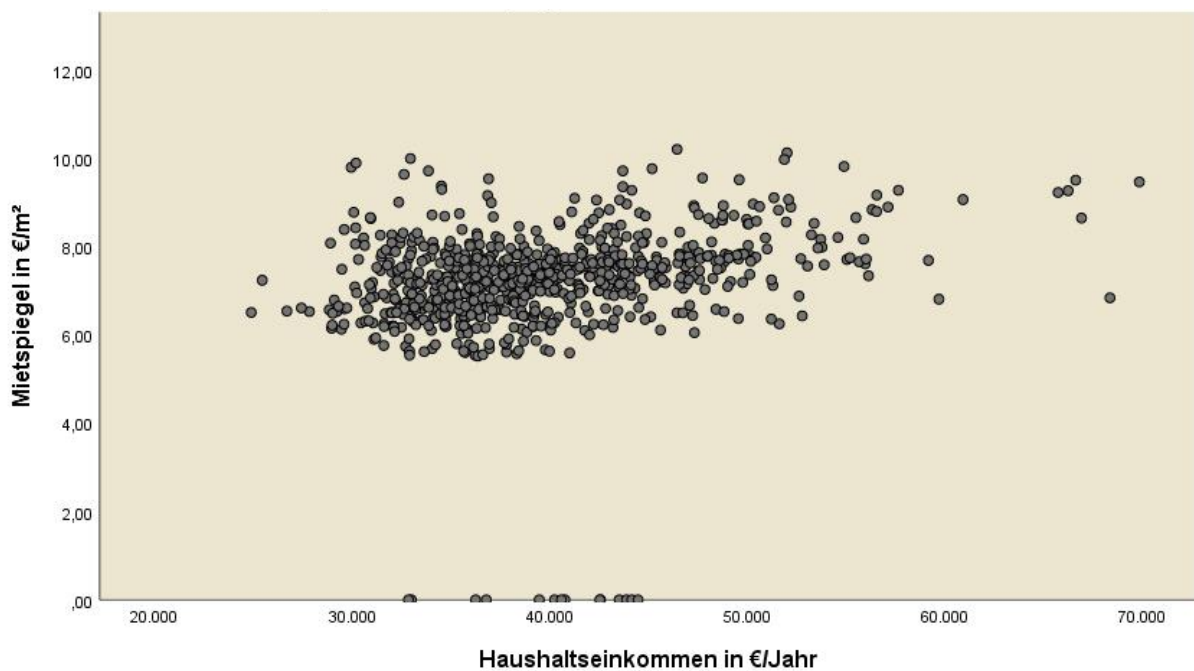
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 69: Kaufspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) und PM_{2.5} Belastung auf Ebene des 500 x 500 m² Rasters – Berlin



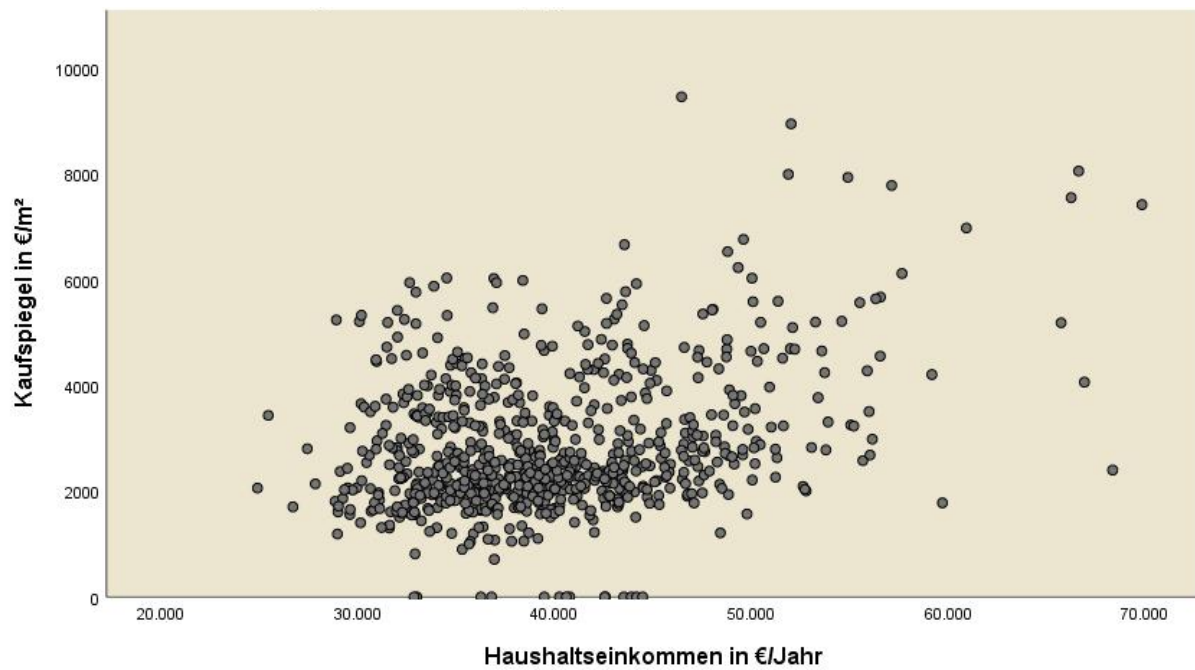
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 70: Haushaltseinkommen und Mietspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km² Zensusrasters – Berlin



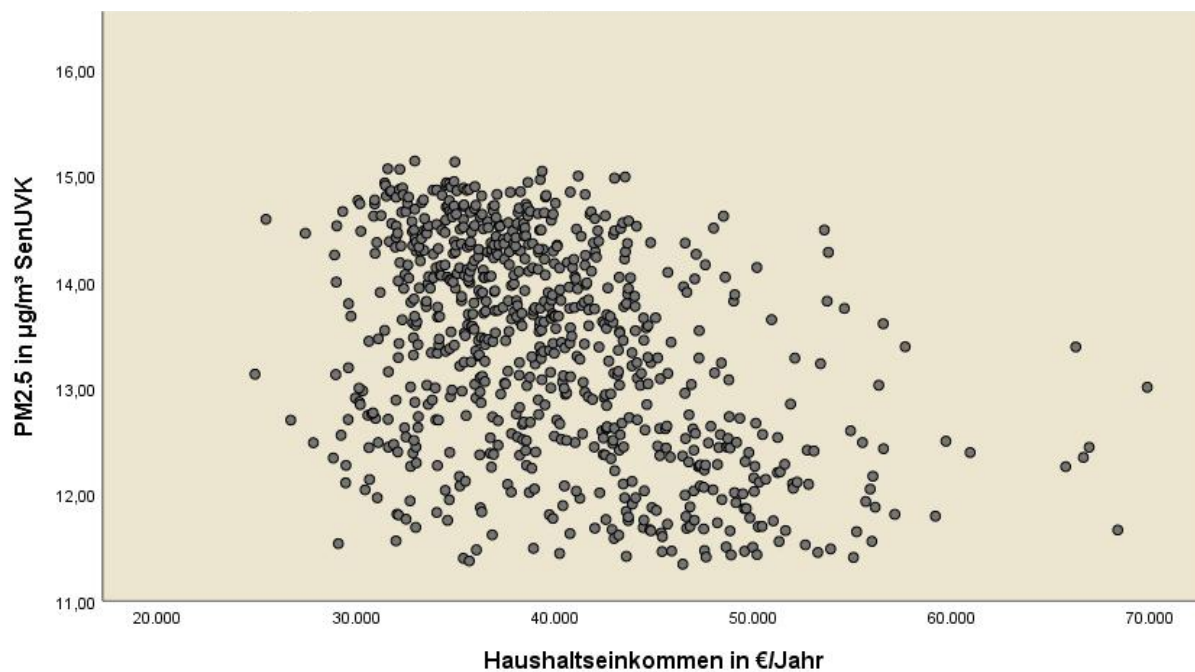
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 71: Haushaltseinkommen und Kaufspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km² Zensustrasters – Berlin



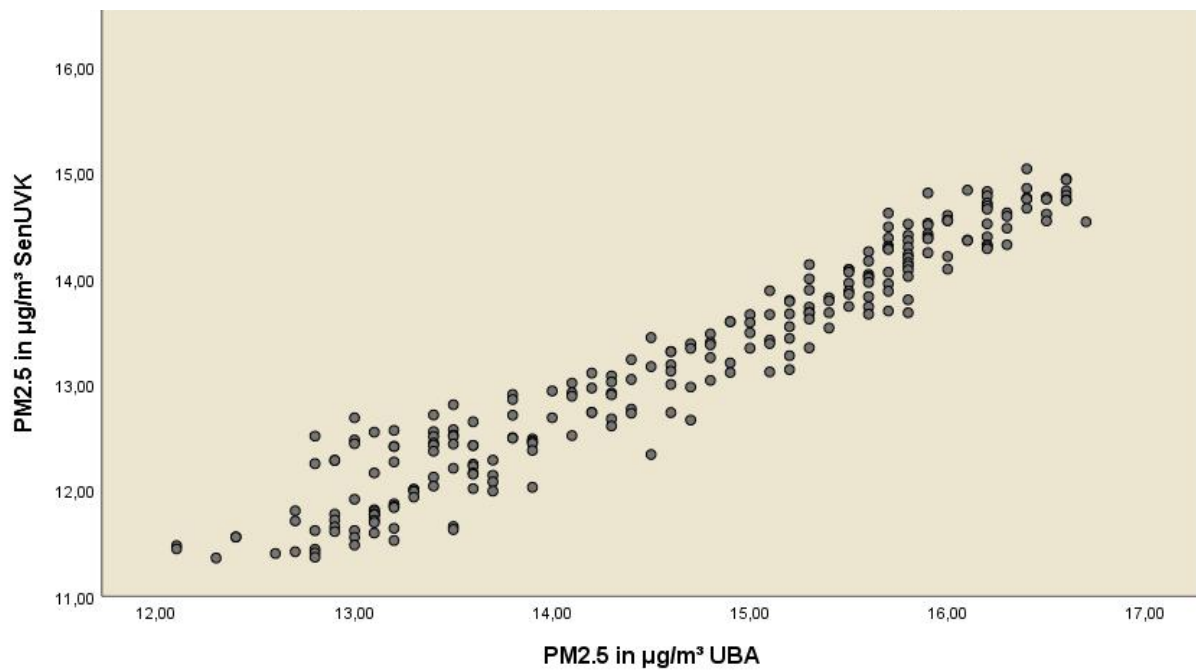
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 72: Haushaltseinkommen und PM_{2.5} Belastung (flächengewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km² Zensustrasters – Berlin



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

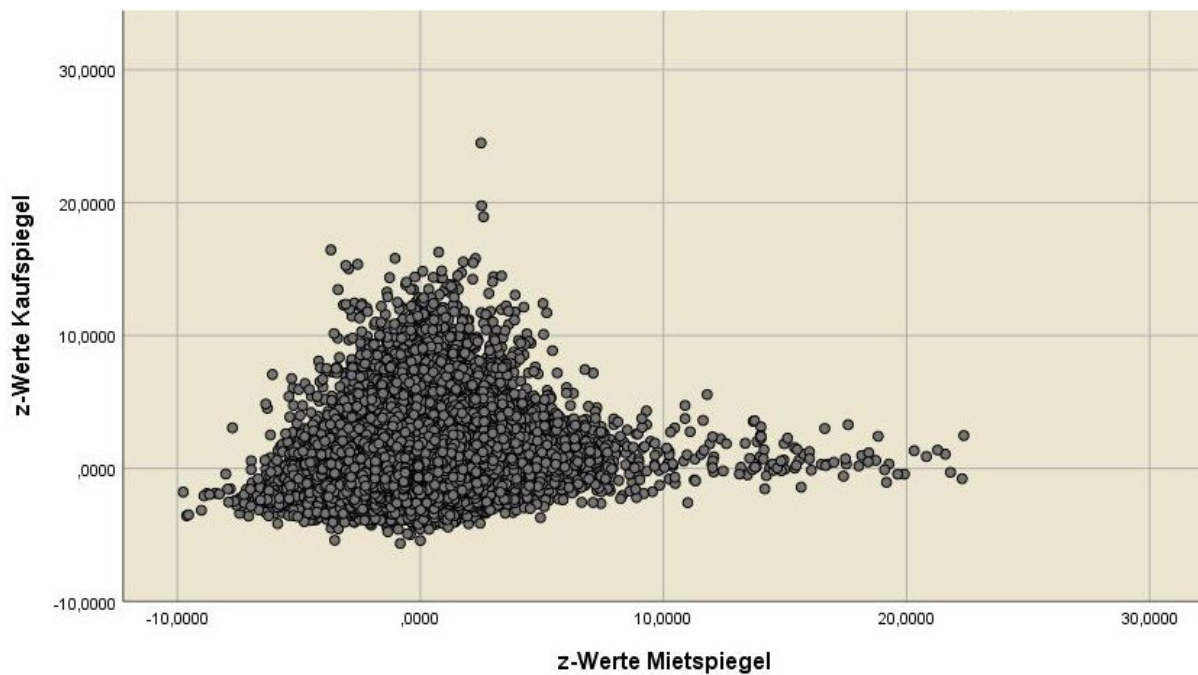
**Abbildung 73: PM_{2.5} Belastung auf 2 x 2 km² – Hintergrundbelastungswerte des UBA und flächen-
gewichtetes Mittel der SenUVK-Daten – Berlin**



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

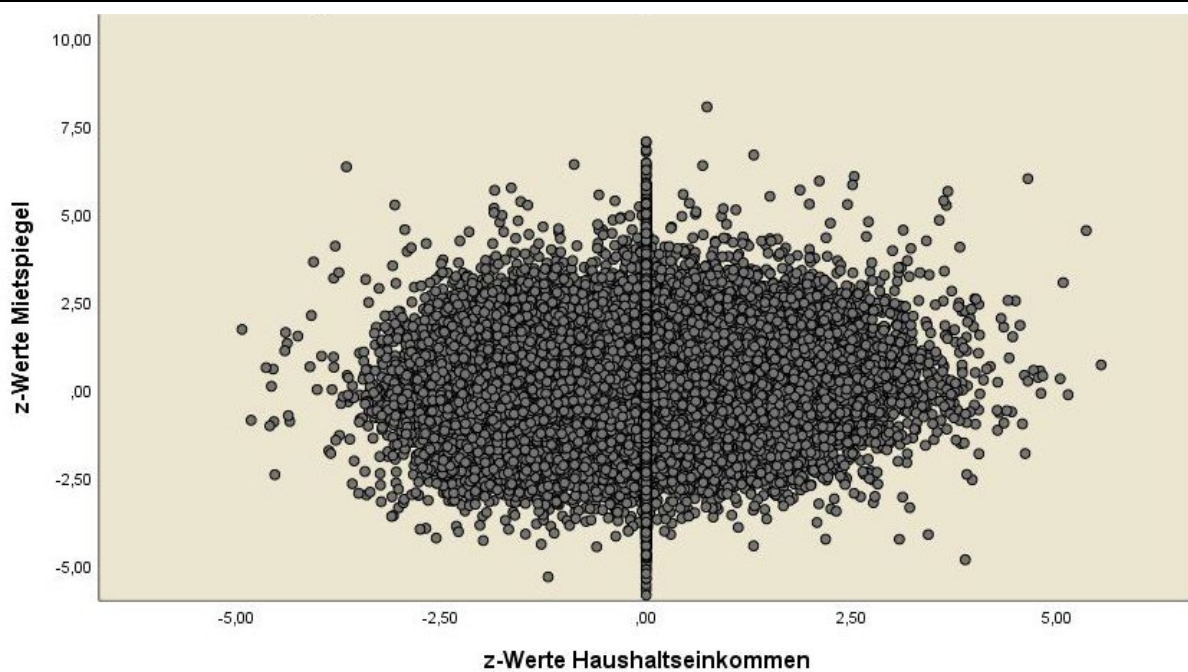
E.3 Daten für Deutschland

Abbildung 74: Mietspiegel und Kaufspiegel (in €/m²) auf Ebene der Baublöcke (Daten z-transformiert auf Gemeindeebene) – Deutschland



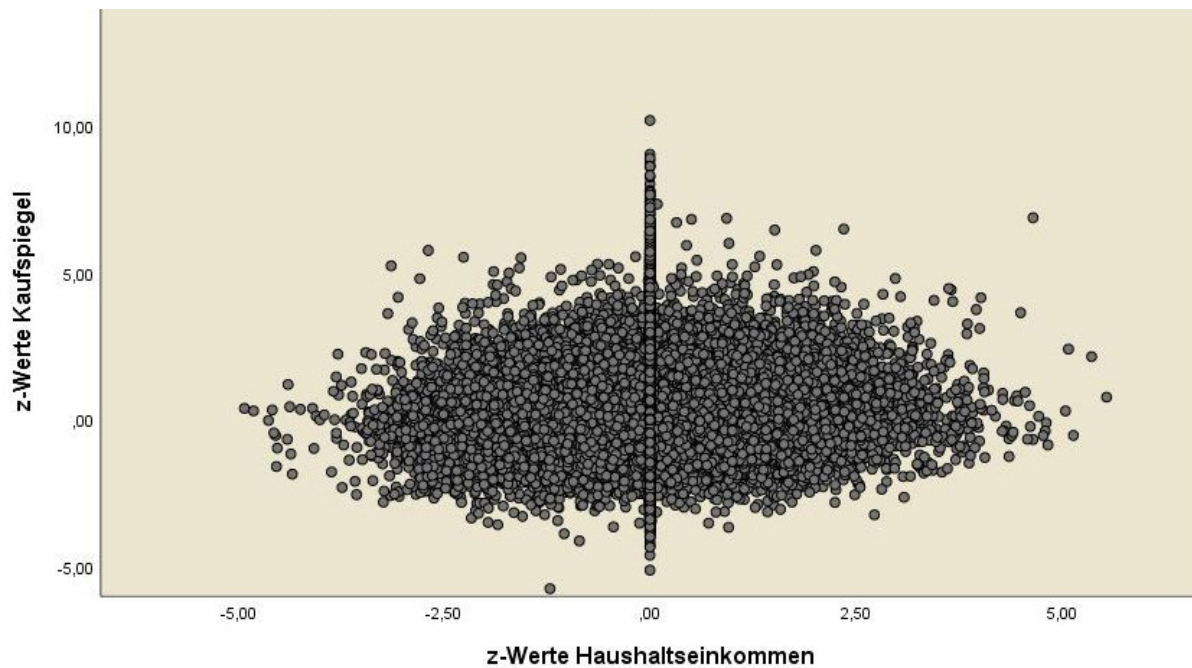
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 75: Haushaltseinkommen und Mietspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km² Zensustrasters (Daten z-transformiert auf Gemeindeebene) – Deutschland



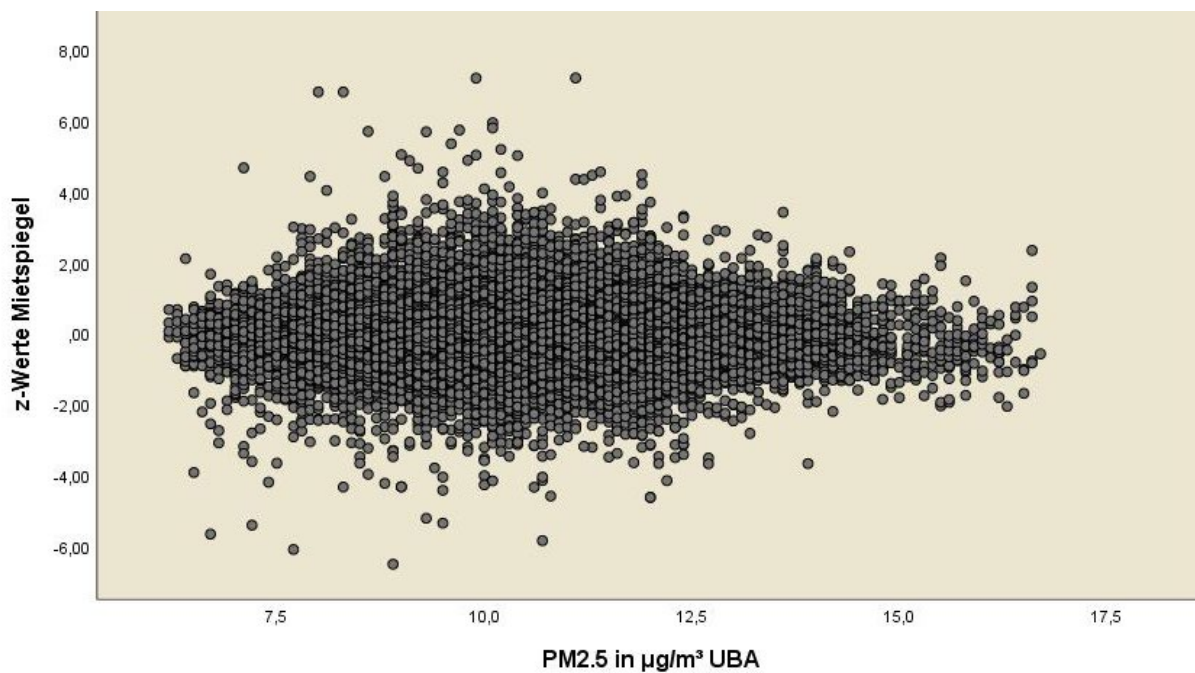
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 76: Haushaltseinkommen und Kaufspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel) auf Ebene des 1 x 1 km² Zensusrasters (Daten z-transformiert auf Gemeindeebene) – Deutschland



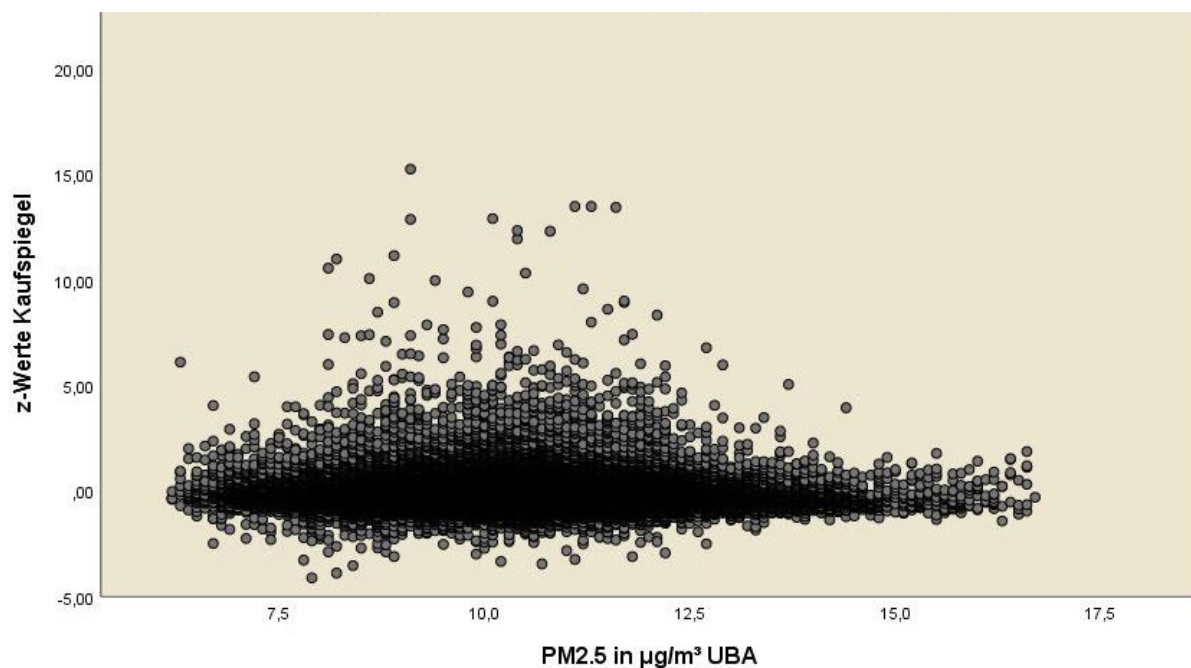
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 77: Mietspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel, z-transformiert auf Gemeindeebene) und PM_{2,5} Belastung auf Ebene des 2 x 2 km² UBA Rasters – Deutschland



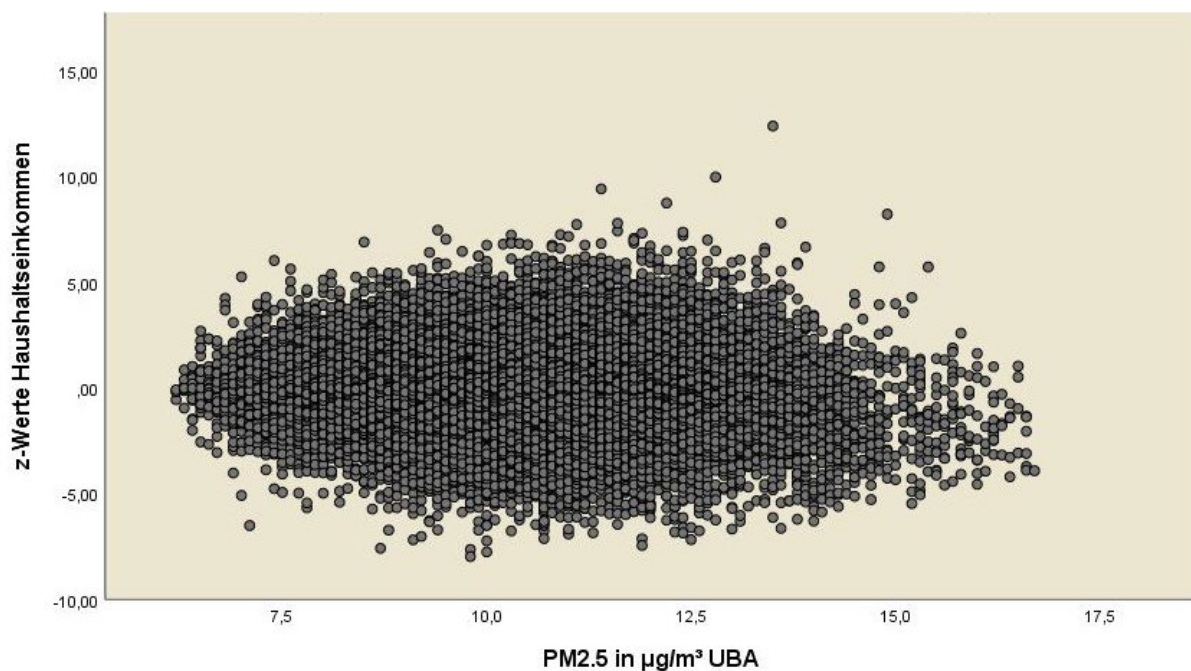
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 78: Kaufspiegel (bevölkerungsgewichtetes Mittel, z-transformiert auf Gemeindeebene) und PM_{2.5} Belastung auf Ebene des 2 x 2 km² UBA Rasters – Deutschland



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 79: Haushaltseinkommen (bevölkerungsgewichtetes Mittel, z-transformiert auf Gemeindeebene) und PM_{2.5} Belastung auf Ebene des 2 x 2 km² UBA Rasters – Deutschland



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

F Tabellen der post-hoc Tests nach Games-Howell für Varianzanalysen in Kapitel 7

F.1 Hamburg

Tabelle 84: post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen der Mietspiegeldaten (Baublockebene) für Hamburg in Dezilen der Feinstaubbelastung

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standardfeh- ler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	,25503	,04053	,000	,1267	,3834
	3	,18920	,04401	,001	,0498	,3286
	4	-,08653	,05288	,830	-,2541	,0810
	5	,01197	,04951	1,000	-,1449	,1688
	6	-,53941	,05525	,000	-,7144	-,3644
	7	-1,14481	,05928	,000	-1,3326	-,9570
	8	-1,13907	,05693	,000	-1,3194	-,9587
	9	-1,14261	,05664	,000	-1,3221	-,9632
	10	-1,21556	,05247	,000	-1,3818	-1,0493
2	1	-,25503	,04053	,000	-,3834	-,1267
	3	-,06583	,04641	,922	-,2128	,0812
	4	-,34156	,05489	,000	-,5154	-,1677
	5	-,24306	,05165	,000	-,4067	-,0795
	6	-,79444	,05717	,000	-,9756	-,6133
	7	-1,39984	,06108	,000	-1,5934	-1,2063
	8	-1,39410	,05880	,000	-1,5804	-1,2078
	9	-1,39764	,05852	,000	-1,5830	-1,2122
	10	-1,47059	,05449	,000	-1,6432	-1,2980
3	1	-,18920	,04401	,001	-,3286	-,0498
	2	,06583	,04641	,922	-,0812	,2128
	4	-,27573	,05751	,000	-,4579	-,0936
	5	-,17723	,05442	,038	-,3496	-,0049
	6	-,72861	,05969	,000	-,9177	-,5395
	7	-1,33401	,06344	,000	-1,5350	-1,1330
	8	-1,32827	,06125	,000	-1,5223	-1,1343
	9	-1,33181	,06098	,000	-1,5250	-1,1386

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standardfeh- ler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
4	10	-1,40476	,05713	,000	-1,5857	-1,2238
	1	,08653	,05288	,830	-,0810	,2541
	2	,34156	,05489	,000	,1677	,5154
	3	,27573	,05751	,000	,0936	,4579
	5	,09850	,06181	,852	-,0973	,2943
	6	-,45288	,06650	,000	-,6635	-,2423
	7	-1,05828	,06989	,000	-1,2796	-,8369
	8	-1,05254	,06790	,000	-1,2676	-,8375
	9	-1,05608	,06766	,000	-1,2704	-,8418
	10	-1,12904	,06421	,000	-1,3324	-,9257
5	1	-,01197	,04951	1,000	-,1688	,1449
	2	,24306	,05165	,000	,0795	,4067
	3	,17723	,05442	,038	,0049	,3496
	4	-,09850	,06181	,852	-,2943	,0973
	6	-,55138	,06385	,000	-,7536	-,3491
	7	-1,15678	,06737	,000	-1,3702	-,9434
	8	-1,15104	,06531	,000	-1,3579	-,9442
	9	-1,15458	,06506	,000	-1,3606	-,9485
	10	-1,22753	,06146	,000	-1,4222	-1,0329
6	1	,53941	,05525	,000	,3644	,7144
	2	,79444	,05717	,000	,6133	,9756
	3	,72861	,05969	,000	,5395	,9177
	4	,45288	,06650	,000	,2423	,6635
	5	,55138	,06385	,000	,3491	,7536
	7	-,60540	,07169	,000	-,8325	-,3783
	8	-,59966	,06976	,000	-,8206	-,3787
	9	-,60320	,06953	,000	-,8234	-,3830
	10	-,67615	,06617	,000	-,8857	-,4666
7	1	1,14481	,05928	,000	,9570	1,3326
	2	1,39984	,06108	,000	1,2063	1,5934
	3	1,33401	,06344	,000	1,1330	1,5350

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standardfeh- ler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
8	4	1,05828	,06989	,000	,8369	1,2796
	5	1,15678	,06737	,000	,9434	1,3702
	6	,60540	,07169	,000	,3783	,8325
	8	,00574	,07300	1,000	-,2255	,2369
	9	,00220	,07277	1,000	-,2283	,2327
	10	-,07075	,06957	,991	-,2911	,1496
	1	1,13907	,05693	,000	,9587	1,3194
	2	1,39410	,05880	,000	1,2078	1,5804
	3	1,32827	,06125	,000	1,1343	1,5223
	4	1,05254	,06790	,000	,8375	1,2676
9	5	1,15104	,06531	,000	,9442	1,3579
	6	,59966	,06976	,000	,3787	,8206
	7	-,00574	,07300	1,000	-,2369	,2255
	9	-,00354	,07087	1,000	-,2280	,2209
	10	-,07649	,06758	,981	-,2905	,1376
	1	1,14261	,05664	,000	,9632	1,3221
	2	1,39764	,05852	,000	1,2122	1,5830
	3	1,33181	,06098	,000	1,1386	1,5250
	4	1,05608	,06766	,000	,8418	1,2704
	5	1,15458	,06506	,000	,9485	1,3606
10	6	,60320	,06953	,000	,3830	,8234
	7	-,00220	,07277	1,000	-,2327	,2283
	8	,00354	,07087	1,000	-,2209	,2280
	10	-,07296	,06734	,986	-,2862	,1403
	1	1,21556	,05247	,000	1,0493	1,3818
	2	1,47059	,05449	,000	1,2980	1,6432
	3	1,40476	,05713	,000	1,2238	1,5857
	4	1,12904	,06421	,000	,9257	1,3324
	5	1,22753	,06146	,000	1,0329	1,4222
	6	,67615	,06617	,000	,4666	,8857
	7	,07075	,06957	,991	-,1496	,2911

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standardfeh- ler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
	8	,07649	,06758	,981	-,1376	,2905
	9	,07296	,06734	,986	-,1403	,2862

Tabelle 85: post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen der Kaufspiegeldaten (Baublockebene) für Hamburg in Dezilen der Feinstaubbelastung

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	338,882	62,299	,000	141,56	536,20
	3	235,637	64,823	,011	30,32	440,96
	4	-291,802	84,241	,019	-558,69	-24,92
	5	-58,356	71,787	,998	-285,75	169,04
	6	-580,855	87,372	,000	-857,67	-304,04
	7	-1097,036	102,518	,000	-1421,89	-772,18
	8	-781,916	85,512	,000	-1052,83	-511,00
	9	-700,356	82,481	,000	-961,66	-439,05
	10	-810,468	78,523	,000	-1059,22	-561,72
2	1	-338,882	62,299	,000	-536,20	-141,56
	3	-103,245	66,564	,871	-314,07	107,58
	4	-630,685	85,587	,000	-901,82	-359,55
	5	-397,238	73,363	,000	-629,61	-164,86
	6	-919,737	88,671	,000	-1200,66	-638,82
	7	-1435,918	103,627	,000	-1764,28	-1107,56
	8	-1120,798	86,839	,000	-1395,91	-845,69
	9	-1039,238	83,856	,000	-1304,88	-773,59
	10	-1149,351	79,966	,000	-1402,66	-896,04
3	1	-235,637	64,823	,011	-440,96	-30,32
	2	103,245	66,564	,871	-107,58	314,07
	4	-527,440	87,442	,000	-804,44	-250,44
	5	-293,993	75,519	,004	-533,19	-54,80
	6	-816,492	90,462	,000	-1103,07	-529,92
	7	-1332,673	105,164	,000	-1665,88	-999,47

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
4	8	-1017,553	88,667	,000	-1298,44	-736,67
	9	-935,993	85,748	,000	-1207,62	-664,37
	10	-1046,106	81,948	,000	-1305,68	-786,53
	1	291,802	84,241	,019	24,92	558,69
	2	630,685	85,587	,000	359,55	901,82
	3	527,440	87,442	,000	250,44	804,44
	5	233,447	92,722	,259	-60,25	527,14
	6	-289,053	105,251	,156	-622,41	44,31
	7	-805,234	118,127	,000	-1179,40	-431,07
	8	-490,114	103,713	,000	-818,60	-161,63
5	9	-408,553	101,228	,002	-729,17	-87,94
	10	-518,666	98,030	,000	-829,16	-208,17
	1	58,356	71,787	,998	-169,04	285,75
	2	397,238	73,363	,000	164,86	629,61
	3	293,993	75,519	,004	54,80	533,19
	4	-233,447	92,722	,259	-527,14	60,25
	6	-522,500	95,576	,000	-825,24	-219,76
	7	-1038,680	109,594	,000	-1385,87	-691,49
	8	-723,560	93,879	,000	-1020,92	-426,20
	9	-642,000	91,127	,000	-930,64	-353,36
6	10	-752,113	87,560	,000	-1029,45	-474,78
	1	580,855	87,372	,000	304,04	857,67
	2	919,737	88,671	,000	638,82	1200,66
	3	816,492	90,462	,000	529,92	1103,07
	4	289,053	105,251	,156	-44,31	622,41
	5	522,500	95,576	,000	219,76	825,24
	7	-516,181	120,380	,001	-897,47	-134,89
	8	-201,061	106,272	,675	-537,65	135,53
	9	-119,500	103,848	,979	-448,42	209,42
	10	-229,613	100,733	,403	-548,67	89,44
7	1	1097,036	102,518	,000	772,18	1421,89

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
8	2	1435,918	103,627	,000	1107,56	1764,28
	3	1332,673	105,164	,000	999,47	1665,88
	4	805,234	118,127	,000	431,07	1179,40
	5	1038,680	109,594	,000	691,49	1385,87
	6	516,181	120,380	,001	134,89	897,47
	8	315,120	119,037	,197	-61,92	692,16
	9	396,680	116,878	,024	26,46	766,90
	10	286,567	114,120	,263	-74,93	648,06
	1	781,916	85,512	,000	511,00	1052,83
	2	1120,798	86,839	,000	845,69	1395,91
	3	1017,553	88,667	,000	736,67	1298,44
	4	490,114	103,713	,000	161,63	818,60
	5	723,560	93,879	,000	426,20	1020,92
	6	201,061	106,272	,675	-135,53	537,65
	7	-315,120	119,037	,197	-692,16	61,92
	9	81,560	102,288	,999	-242,42	405,54
	10	-28,552	99,124	1,000	-342,51	285,41
9	1	700,356	82,481	,000	439,05	961,66
	2	1039,238	83,856	,000	773,59	1304,88
	3	935,993	85,748	,000	664,37	1207,62
	4	408,553	101,228	,002	87,94	729,17
	5	642,000	91,127	,000	353,36	930,64
	6	119,500	103,848	,979	-209,42	448,42
	7	-396,680	116,878	,024	-766,90	-26,46
	8	-81,560	102,288	,999	-405,54	242,42
	10	-110,113	96,522	,980	-415,83	195,60
10	1	810,468	78,523	,000	561,72	1059,22
	2	1149,351	79,966	,000	896,04	1402,66
	3	1046,106	81,948	,000	786,53	1305,68
	4	518,666	98,030	,000	208,17	829,16
	5	752,113	87,560	,000	474,78	1029,45

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
	6	229,613	100,733	,403	-89,44	548,67
	7	-286,567	114,120	,263	-648,06	74,93
	8	28,552	99,124	1,000	-285,41	342,51
	9	110,113	96,522	,980	-195,60	415,83

Tabelle 86: post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen des jährlichen Haushaltseinkommens (1 x 1 km² Raster) für Hamburg in Dezilen der Feinstaubbelastung

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	3751,618	1276,995	,109	-379,05	7882,29
	3	3942,246	1413,846	,153	-622,62	8507,11
	4	4957,601	1316,095	,010	703,83	9211,38
	5	4445,333	1489,739	,096	-364,37	9255,03
	6	5048,529	1720,072	,109	-515,25	10612,31
	7	4660,281	1663,112	,149	-714,83	10035,39
	8	7876,404	1491,507	,000	3060,01	12692,80
	9	9475,509	1647,946	,000	4150,10	14800,91
	10	7875,458	1549,978	,000	2868,95	12881,97
2	1	-3751,618	1276,995	,109	-7882,29	379,05
	3	190,627	1227,368	1,000	-3777,05	4158,31
	4	1205,982	1113,363	,985	-2390,25	4802,21
	5	693,715	1314,075	1,000	-3559,00	4946,43
	6	1296,911	1570,388	,998	-3805,20	6399,02
	7	908,662	1507,784	1,000	-3983,94	5801,27
	8	4124,786	1316,079	,066	-135,95	8385,52
	9	5723,890	1491,039	,008	886,70	10561,08
	10	4123,839	1381,993	,098	-354,50	8602,18
3	1	-3942,246	1413,846	,153	-8507,11	622,62
	2	-190,627	1227,368	1,000	-4158,31	3777,05
	4	1015,355	1267,999	,998	-3081,10	5111,81
	5	503,088	1447,425	1,000	-4170,87	5177,04

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
4	6	1106,284	1683,557	1,000	-4343,37	6555,94
	7	718,035	1625,318	1,000	-4538,15	5974,22
	8	3934,159	1449,245	,181	-746,78	8615,09
	9	5533,263	1609,796	,028	328,10	10738,43
	10	3933,212	1509,354	,228	-943,97	8810,39
	1	-4957,601	1316,095	,010	-9211,38	-703,83
	2	-1205,982	1113,363	,985	-4802,21	2390,25
	3	-1015,355	1267,999	,998	-5111,81	3081,10
	5	-512,267	1352,103	1,000	-4884,15	3859,61
	6	90,929	1602,344	1,000	-5108,40	5290,26
5	7	-297,320	1541,040	1,000	-5291,85	4697,22
	8	2918,804	1354,051	,494	-1460,77	7298,37
	9	4517,908	1524,660	,103	-422,51	9458,32
	10	2917,857	1418,201	,561	-1672,88	7508,59
	1	-4445,333	1489,739	,096	-9255,03	364,37
	2	-693,715	1314,075	1,000	-4946,43	3559,00
	3	-503,088	1447,425	1,000	-5177,04	4170,87
	4	512,267	1352,103	1,000	-3859,61	4884,15
	6	603,196	1747,777	1,000	-5047,67	6254,06
	7	214,947	1691,750	1,000	-5250,78	5680,68
6	8	3431,071	1523,375	,428	-1487,95	8350,09
	9	5030,175	1676,843	,092	-386,81	10447,16
	10	3430,124	1580,667	,483	-1674,59	8534,84
	1	-5048,529	1720,072	,109	-10612,31	515,25
	2	-1296,911	1570,388	,998	-6399,02	3805,20
	3	-1106,284	1683,557	1,000	-6555,94	4343,37
	4	-90,929	1602,344	1,000	-5290,26	5108,40
	5	-603,196	1747,777	1,000	-6254,06	5047,67
	7	-388,248	1897,721	1,000	-6516,51	5740,02
	8	2827,875	1749,284	,837	-2828,34	8484,09
	9	4426,980	1884,444	,367	-1658,67	10512,63

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
7	10	2826,929	1799,398	,859	-2987,97	8641,83
	1	-4660,281	1663,112	,149	-10035,39	714,83
	2	-908,662	1507,784	1,000	-5801,27	3983,94
	3	-718,035	1625,318	1,000	-5974,22	4538,15
	4	297,320	1541,040	1,000	-4697,22	5291,85
	5	-214,947	1691,750	1,000	-5680,68	5250,78
	6	388,248	1897,721	1,000	-5740,02	6516,51
	8	3216,123	1693,308	,669	-2255,21	8687,46
	9	4815,228	1832,601	,217	-1101,22	10731,68
	10	3215,177	1745,030	,707	-2420,96	8851,31
8	1	-7876,404	1491,507	,000	-12692,80	-3060,01
	2	-4124,786	1316,079	,066	-8385,52	135,95
	3	-3934,159	1449,245	,181	-8615,09	746,78
	4	-2918,804	1354,051	,494	-7298,37	1460,77
	5	-3431,071	1523,375	,428	-8350,09	1487,95
	6	-2827,875	1749,284	,837	-8484,09	2828,34
	7	-3216,123	1693,308	,669	-8687,46	2255,21
	9	1599,105	1678,415	,994	-3823,55	7021,76
	10	-,946	1582,334	1,000	-5111,81	5109,92
9	1	-9475,509	1647,946	,000	-14800,91	-4150,10
	2	-5723,890	1491,039	,008	-10561,08	-886,70
	3	-5533,263	1609,796	,028	-10738,43	-328,10
	4	-4517,908	1524,660	,103	-9458,32	422,51
	5	-5030,175	1676,843	,092	-10447,16	386,81
	6	-4426,980	1884,444	,367	-10512,63	1658,67
	7	-4815,228	1832,601	,217	-10731,68	1101,22
	8	-1599,105	1678,415	,994	-7021,76	3823,55
	10	-1600,051	1730,582	,995	-7189,18	3989,08
10	1	-7875,458	1549,978	,000	-12881,97	-2868,95
	2	-4123,839	1381,993	,098	-8602,18	354,50
	3	-3933,212	1509,354	,228	-8810,39	943,97

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
	4	-2917,857	1418,201	,561	-7508,59	1672,88
	5	-3430,124	1580,667	,483	-8534,84	1674,59
	6	-2826,929	1799,398	,859	-8641,83	2987,97
	7	-3215,177	1745,030	,707	-8851,31	2420,96
	8	,946	1582,334	1,000	-5109,92	5111,81
	9	1600,051	1730,582	,995	-3989,08	7189,18

F.2 Berlin

 Tabelle 87: post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen des Mietspiegels (500 x 500 m² Raster) für Berlin in Dezilen der Feinstaubhintergrundbelastung

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	-,06186	,07842	,999	-,3111	,1874
	3	,04051	,07530	1,000	-,1988	,2798
	4	,08799	,07590	,978	-,1533	,3292
	5	,29510	,06753	,001	,0805	,5097
	6	,46542	,06625	,000	,2549	,6759
	7	,43844	,06299	,000	,2383	,6386
	8	,43096	,06176	,000	,2347	,6272
	9	,30340	,06372	,000	,1010	,5058
	10	-,09508	,07718	,967	-,3404	,1502
2	1	,06186	,07842	,999	-,1874	,3111
	3	,10237	,08846	,978	-,1787	,3834
	4	,14985	,08898	,804	-,1328	,4325
	5	,35696	,08195	,001	,0965	,6174
	6	,52728	,08090	,000	,2702	,7844
	7	,50030	,07825	,000	,2516	,7490
	8	,49281	,07727	,000	,2472	,7385
	9	,36526	,07884	,000	,1147	,6159
	10	-,03322	,09007	1,000	-,3194	,2529
3	1	-,04051	,07530	1,000	-,2798	,1988
	2	-,10237	,08846	,978	-,3834	,1787
	4	,04748	,08624	1,000	-,2265	,3215
	5	,25459	,07896	,043	,0037	,5055
	6	,42491	,07787	,000	,1775	,6724
	7	,39793	,07512	,000	,1592	,6367
	8	,39044	,07409	,000	,1549	,6259
	9	,26289	,07573	,020	,0222	,5036
	10	-,13559	,08736	,870	-,4131	,1420
4	1	-,08799	,07590	,978	-,3292	,1533

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
	2	-,14985	,08898	,804	-,4325	,1328
	3	-,04748	,08624	1,000	-,3215	,2265
	5	,20711	,07954	,218	-,0456	,4599
	6	,37743	,07846	,000	,1281	,6268
	7	,35044	,07573	,000	,1098	,5911
	8	,34296	,07471	,000	,1055	,5804
	9	,21541	,07634	,132	-,0272	,4580
	10	-,18307	,08788	,540	-,4623	,0961
5	1	-,29510	,06753	,001	-,5097	-,0805
	2	-,35696	,08195	,001	-,6174	-,0965
	3	-,25459	,07896	,043	-,5055	-,0037
	4	-,20711	,07954	,218	-,4599	,0456
	6	,17032	,07039	,316	-,0533	,3939
	7	,14333	,06733	,508	-,0706	,3573
	8	,13585	,06618	,562	-,0744	,3461
	9	,00830	,06801	1,000	-,2078	,2244
	10	-,39019	,08076	,000	-,6468	-,1336
6	1	-,46542	,06625	,000	-,6759	-,2549
	2	-,52728	,08090	,000	-,7844	-,2702
	3	-,42491	,07787	,000	-,6724	-,1775
	4	-,37743	,07846	,000	-,6268	-,1281
	5	-,17032	,07039	,316	-,3939	,0533
	7	-,02699	,06604	1,000	-,2368	,1828
	8	-,03447	,06487	1,000	-,2406	,1717
	9	-,16202	,06674	,311	-,3741	,0500
	10	-,56051	,07969	,000	-,8138	-,3073
7	1	-,43844	,06299	,000	-,6386	-,2383
	2	-,50030	,07825	,000	-,7490	-,2516
	3	-,39793	,07512	,000	-,6367	-,1592
	4	-,35044	,07573	,000	-,5911	-,1098
	5	-,14333	,06733	,508	-,3573	,0706

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
8	6	,02699	,06604	1,000	-,1828	,2368
	8	-,00748	,06154	1,000	-,2030	,1880
	9	-,13504	,06351	,510	-,3368	,0667
	10	-,53352	,07700	,000	-,7783	-,2888
	1	-,43096	,06176	,000	-,6272	-,2347
	2	-,49281	,07727	,000	-,7385	-,2472
	3	-,39044	,07409	,000	-,6259	-,1549
	4	-,34296	,07471	,000	-,5804	-,1055
	5	-,13585	,06618	,562	-,3461	,0744
	6	,03447	,06487	1,000	-,1717	,2406
9	7	,00748	,06154	1,000	-,1880	,2030
	9	-,12756	,06229	,565	-,3255	,0703
	10	-,52604	,07600	,000	-,7676	-,2844
	1	-,30340	,06372	,000	-,5058	-,1010
	2	-,36526	,07884	,000	-,6159	-,1147
	3	-,26289	,07573	,020	-,5036	-,0222
	4	-,21541	,07634	,132	-,4580	,0272
	5	-,00830	,06801	1,000	-,2244	,2078
	6	,16202	,06674	,311	-,0500	,3741
	7	,13504	,06351	,510	-,0667	,3368
10	8	,12756	,06229	,565	-,0703	,3255
	10	-,39848	,07760	,000	-,6451	-,1518
	1	,09508	,07718	,967	-,1502	,3404
	2	,03322	,09007	1,000	-,2529	,3194
	3	,13559	,08736	,870	-,1420	,4131
	4	,18307	,08788	,540	-,0961	,4623
	5	,39019	,08076	,000	,1336	,6468
	6	,56051	,07969	,000	,3073	,8138
	7	,53352	,07700	,000	,2888	,7783
	8	,52604	,07600	,000	,2844	,7676
	9	,39848	,07760	,000	,1518	,6451

Tabelle 88: post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen des Kaufspiegels (500 x 500 m² Raster) für Berlin in Dezilen der Feinstaubhintergrundbelastung

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	-205,660	119,582	0,784	-585,72	174,41
	3	151,361	114,340	0,948	-211,99	514,71
	4	45,066	121,174	1,000	-340,08	430,21
	5	385,292	101,791	0,007	61,90	708,69
	6	491,148	100,014	0,000	173,40	808,89
	7	438,325	91,856	0,000	146,45	730,20
	8	445,233	95,358	0,000	142,26	748,20
	9	68,331	101,962	1,000	-255,61	392,27
	10	-689,030	113,075	0,000	-1048,35	-329,71
2	1	205,660	119,582	0,784	-174,41	585,72
	3	357,020	131,825	0,173	-61,80	775,85
	4	250,726	137,794	0,723	-187,06	688,51
	5	590,952	121,101	0,000	206,09	975,82
	6	696,808	119,611	0,000	316,65	1076,96
	7	643,984	112,879	0,000	285,04	1002,93
	8	650,892	115,746	0,000	282,92	1018,86
	9	273,991	121,245	0,417	-111,33	659,31
	10	-483,370	130,729	0,009	-898,72	-68,02
3	1	-151,361	114,340	0,948	-514,71	211,99
	2	-357,020	131,825	0,173	-775,85	61,80
	4	-106,294	133,270	0,999	-529,72	317,13
	5	233,932	115,928	0,587	-134,44	602,31
	6	339,788	114,371	0,090	-23,66	703,23
	7	286,964	107,310	0,187	-54,20	628,13
	8	293,872	110,322	0,192	-56,79	644,53
	9	-83,029	116,078	0,999	-451,88	285,82
	10	-840,390	125,952	0,000	-1240,55	-440,23
4	1	-45,066	121,174	1,000	-430,21	340,08
	2	-250,726	137,794	0,723	-688,51	187,06
	3	106,294	133,270	0,999	-317,13	529,72

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
	5	340,226	122,673	0,148	-49,65	730,10
	6	446,082	121,202	0,010	60,85	831,31
	7	393,258	114,563	0,023	28,93	757,58
	8	400,166	117,390	0,025	26,95	773,38
	9	23,265	122,815	1,000	-367,06	413,59
	10	-734,096	132,187	0,000	-1154,08	-314,11
5	1	-385,292	101,791	0,007	-708,69	-61,90
	2	-590,952	121,101	0,000	-975,82	-206,09
	3	-233,932	115,928	0,587	-602,31	134,44
	4	-340,226	122,673	0,148	-730,10	49,65
	6	105,856	101,825	0,990	-217,65	429,36
	7	53,032	93,825	1,000	-245,12	351,18
	8	59,940	97,256	1,000	-249,07	368,95
	9	-316,961	103,739	0,071	-646,55	12,63
	10	-1074,322	114,680	0,000	-1438,72	-709,92
6	1	-491,148	100,014	0,000	-808,89	-173,40
	2	-696,808	119,611	0,000	-1076,96	-316,65
	3	-339,788	114,371	0,090	-703,23	23,66
	4	-446,082	121,202	0,010	-831,31	-60,85
	5	-105,856	101,825	0,990	-429,36	217,65
	7	-52,824	91,894	1,000	-344,82	239,17
	8	-45,916	95,394	1,000	-349,00	257,17
	9	-422,817	101,996	0,002	-746,87	-98,77
	10	-1180,178	113,106	0,000	-1539,59	-820,76
7	1	-438,325	91,856	0,000	-730,20	-146,45
	2	-643,984	112,879	0,000	-1002,93	-285,04
	3	-286,964	107,310	0,187	-628,13	54,20
	4	-393,258	114,563	0,023	-757,58	-28,93
	5	-53,032	93,825	1,000	-351,18	245,12
	6	52,824	91,894	1,000	-239,17	344,82
	8	6,908	86,804	1,000	-268,88	282,70

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
8	9	-369,993	94,011	0,004	-668,73	-71,25
	10	-1127,354	105,961	0,000	-1464,21	-790,49
	1	-445,233	95,358	0,000	-748,20	-142,26
	2	-650,892	115,746	0,000	-1018,86	-282,92
	3	-293,872	110,322	0,192	-644,53	56,79
	4	-400,166	117,390	0,025	-773,38	-26,95
	5	-59,940	97,256	1,000	-368,95	249,07
	6	45,916	95,394	1,000	-257,17	349,00
	7	-6,908	86,804	1,000	-282,70	268,88
	9	-376,901	97,435	0,005	-686,49	-67,32
9	10	-1134,262	109,011	0,000	-1480,74	-787,79
	1	-68,331	101,962	1,000	-392,27	255,61
	2	-273,991	121,245	0,417	-659,31	111,33
	3	83,029	116,078	0,999	-285,82	451,88
	4	-23,265	122,815	1,000	-413,59	367,06
	5	316,961	103,739	0,071	-12,63	646,55
	6	422,817	101,996	0,002	98,77	746,87
	7	369,993	94,011	0,004	71,25	668,73
	8	376,901	97,435	0,005	67,32	686,49
	10	-757,361	114,833	0,000	-1122,24	-392,48
10	1	689,030	113,075	0,000	329,71	1048,35
	2	483,370	130,729	0,009	68,02	898,72
	3	840,390	125,952	0,000	440,23	1240,55
	4	734,096	132,187	0,000	314,11	1154,08
	5	1074,322	114,680	0,000	709,92	1438,72
	6	1180,178	113,106	0,000	820,76	1539,59
	7	1127,354	105,961	0,000	790,49	1464,21
	8	1134,262	109,011	0,000	787,79	1480,74
	9	757,361	114,833	0,000	392,48	1122,24

Tabelle 89: post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen des Haushaltseinkommens (1 x 1 km² Raster) für Berlin in Dezilen der Feinstaubhintergrundbelastung

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	2448,489	1351,904	0,727	-1919,31	6816,28
	3	2367,277	1510,954	0,861	-2512,53	7247,08
	4	4870,810	1329,734	0,014	570,68	9170,94
	5	6576,243	1250,789	0,000	2527,31	10625,17
	6	6606,320	1177,831	0,000	2779,58	10433,07
	7	6871,208	1122,326	0,000	3209,01	10533,40
	8	8236,081	1112,747	0,000	4601,84	11870,32
	9	9078,479	1112,596	0,000	5444,68	12712,28
	10	10190,860	1072,766	0,000	6671,98	13709,74
2	1	-2448,489	1351,904	0,727	-6816,28	1919,31
	3	-81,213	1452,010	1,000	-4761,43	4599,00
	4	2422,320	1262,356	0,656	-1641,17	6485,81
	5	4127,754	1178,908	0,021	336,57	7918,93
	6	4157,831	1101,198	0,009	610,29	7705,37
	7	4422,719	1041,618	0,002	1058,02	7787,42
	8	5787,592	1031,289	0,000	2454,20	9120,99
	9	6629,989	1031,126	0,000	3297,09	9962,89
	10	7742,370	988,018	0,000	4539,01	10945,73
3	1	-2367,277	1510,954	0,861	-7247,08	2512,53
	2	81,213	1452,010	1,000	-4599,00	4761,43
	4	2503,533	1431,391	0,765	-2113,52	7120,59
	5	4208,967	1358,367	0,071	-176,35	8594,28
	6	4239,044	1291,501	0,044	58,12	8419,97
	7	4503,931	1241,090	0,016	473,85	8534,01
	8	5868,804	1232,434	0,000	1864,32	9873,29
	9	6711,202	1232,298	0,000	2707,12	10715,29
	10	7823,583	1196,460	0,000	3924,63	11722,54
4	1	-4870,810	1329,734	0,014	-9170,94	-570,68
	2	-2422,320	1262,356	0,656	-6485,81	1641,17
	3	-2503,533	1431,391	0,765	-7120,59	2113,52

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
	5	1705,434	1153,417	0,898	-2005,95	5416,82
	6	1735,511	1073,864	0,838	-1726,43	5197,45
	7	2000,398	1012,676	0,618	-1273,95	5274,74
	8	3365,271	1002,049	0,035	123,07	6607,47
	9	4207,669	1001,882	0,002	965,98	7449,36
	10	5320,050	957,458	0,000	2211,51	8428,59
5	1	-6576,243	1250,789	0,000	-10625,17	-2527,31
	2	-4127,754	1178,908	0,021	-7918,93	-336,57
	3	-4208,967	1358,367	0,071	-8594,28	176,35
	4	-1705,434	1153,417	0,898	-5416,82	2005,95
	6	30,077	974,405	1,000	-3096,13	3156,28
	7	294,965	906,529	1,000	-2617,98	3207,91
	8	1659,838	894,642	0,699	-1216,18	4535,85
	9	2502,235	894,455	0,147	-373,20	5377,67
	10	3614,616	844,397	0,001	893,57	6335,66
6	1	-6606,320	1177,831	0,000	-10433,07	-2779,58
	2	-4157,831	1101,198	0,009	-7705,37	-610,29
	3	-4239,044	1291,501	0,044	-8419,97	-58,12
	4	-1735,511	1073,864	0,838	-5197,45	1726,43
	5	-30,077	974,405	1,000	-3156,28	3096,13
	7	264,888	802,874	1,000	-2309,43	2839,21
	8	1629,761	789,428	0,555	-902,14	4161,66
	9	2472,158	789,216	0,062	-59,07	5003,39
	10	3584,539	731,997	0,000	1232,77	5936,31
7	1	-6871,208	1122,326	0,000	-10533,40	-3209,01
	2	-4422,719	1041,618	0,002	-7787,42	-1058,02
	3	-4503,931	1241,090	0,016	-8534,01	-473,85
	4	-2000,398	1012,676	0,618	-5274,74	1273,95
	5	-294,965	906,529	1,000	-3207,91	2617,98
	6	-264,888	802,874	1,000	-2839,21	2309,43
	8	1364,873	703,937	0,643	-891,28	3621,03

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
8	9	2207,271	703,699	0,061	-48,12	4462,66
	10	3319,652	638,866	0,000	1270,37	5368,94
	1	-8236,081	1112,747	0,000	-11870,32	-4601,84
	2	-5787,592	1031,289	0,000	-9120,99	-2454,20
	3	-5868,804	1232,434	0,000	-9873,29	-1864,32
	4	-3365,271	1002,049	0,035	-6607,47	-123,07
	5	-1659,838	894,642	0,699	-4535,85	1216,18
	6	-1629,761	789,428	0,555	-4161,66	902,14
	7	-1364,873	703,937	0,643	-3621,03	891,28
	9	842,398	688,318	0,968	-1363,82	3048,62
9	10	1954,779	621,884	0,060	-39,74	3949,30
	1	-9078,479	1112,596	0,000	-12712,28	-5444,68
	2	-6629,989	1031,126	0,000	-9962,89	-3297,09
	3	-6711,202	1232,298	0,000	-10715,29	-2707,12
	4	-4207,669	1001,882	0,002	-7449,36	-965,98
	5	-2502,235	894,455	0,147	-5377,67	373,20
	6	-2472,158	789,216	0,062	-5003,39	59,07
	7	-2207,271	703,699	0,061	-4462,66	48,12
	8	-842,398	688,318	0,968	-3048,62	1363,82
	10	1112,381	621,614	0,741	-881,27	3106,03
10	1	-10190,860	1072,766	0,000	-13709,74	-6671,98
	2	-7742,370	988,018	0,000	-10945,73	-4539,01
	3	-7823,583	1196,460	0,000	-11722,54	-3924,63
	4	-5320,050	957,458	0,000	-8428,59	-2211,51
	5	-3614,616	844,397	0,001	-6335,66	-893,57
	6	-3584,539	731,997	0,000	-5936,31	-1232,77
	7	-3319,652	638,866	0,000	-5368,94	-1270,37
	8	-1954,779	621,884	0,060	-3949,30	39,74
	9	-1112,381	621,614	0,741	-3106,03	881,27

F.3 Deutschland

Tabelle 90: post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen des Mietspiegels (gemeindebasierte z-Werte aggregiert auf 2 x 2 km²) für Deutschland in Dezilen der Feinstaubhintergrundbelastung

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	-0,0217	0,0100	0,485	-0,0534	0,0101
	3	-0,0012	0,0101	1,000	-0,0332	0,0308
	4	-0,0169	0,0098	0,786	-0,0480	0,0142
	5	0,0014	0,0102	1,000	-0,0308	0,0337
	6	-0,0125	0,0098	0,959	-0,0436	0,0185
	7	-0,0151	0,0099	0,883	-0,0465	0,0163
	8	-0,0131	0,0103	0,960	-0,0456	0,0194
	9	-0,0212	0,0103	0,563	-0,0540	0,0115
	10	0,0342	0,0107	0,046	0,0003	0,0680
2	1	0,0217	0,0100	0,485	-0,0101	0,0534
	3	0,0205	0,0104	0,628	-0,0126	0,0535
	4	0,0048	0,0102	1,000	-0,0274	0,0370
	5	0,0231	0,0105	0,462	-0,0102	0,0564
	6	0,0092	0,0102	0,996	-0,0230	0,0413
	7	0,0066	0,0103	1,000	-0,0259	0,0390
	8	0,0086	0,0106	0,998	-0,0250	0,0422
	9	0,0004	0,0107	1,000	-0,0333	0,0342
	10	0,0559	0,0110	0,000	0,0210	0,0907
3	1	0,0012	0,0101	1,000	-0,0308	0,0332
	2	-0,0205	0,0104	0,628	-0,0535	0,0126
	4	-0,0157	0,0103	0,881	-0,0481	0,0168
	5	0,0027	0,0106	1,000	-0,0309	0,0362
	6	-0,0113	0,0102	0,984	-0,0437	0,0211
	7	-0,0139	0,0103	0,943	-0,0466	0,0188
	8	-0,0119	0,0107	0,984	-0,0456	0,0219
	9	-0,0200	0,0107	0,695	-0,0540	0,0140
	10	0,0354	0,0111	0,046	0,0003	0,0705
4	1	0,0169	0,0098	0,786	-0,0142	0,0480

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
	2	-0,0048	0,0102	1,000	-0,0370	0,0274
	3	0,0157	0,0103	0,881	-0,0168	0,0481
	5	0,0183	0,0103	0,754	-0,0144	0,0511
	6	0,0044	0,0100	1,000	-0,0272	0,0359
	7	0,0018	0,0101	1,000	-0,0301	0,0336
	8	0,0038	0,0104	1,000	-0,0292	0,0368
	9	-0,0043	0,0105	1,000	-0,0375	0,0289
	10	0,0511	0,0108	0,000	0,0168	0,0854
5	1	-0,0014	0,0102	1,000	-0,0337	0,0308
	2	-0,0231	0,0105	0,462	-0,0564	0,0102
	3	-0,0027	0,0106	1,000	-0,0362	0,0309
	4	-0,0183	0,0103	0,754	-0,0511	0,0144
	6	-0,0139	0,0103	0,942	-0,0466	0,0187
	7	-0,0165	0,0104	0,855	-0,0495	0,0165
	8	-0,0145	0,0108	0,943	-0,0486	0,0196
	9	-0,0227	0,0108	0,534	-0,0570	0,0116
	10	0,0327	0,0112	0,097	-0,0026	0,0681
6	1	0,0125	0,0098	0,959	-0,0185	0,0436
	2	-0,0092	0,0102	0,996	-0,0413	0,0230
	3	0,0113	0,0102	0,984	-0,0211	0,0437
	4	-0,0044	0,0100	1,000	-0,0359	0,0272
	5	0,0139	0,0103	0,942	-0,0187	0,0466
	7	-0,0026	0,0100	1,000	-0,0344	0,0292
	8	-0,0006	0,0104	1,000	-0,0335	0,0324
	9	-0,0087	0,0105	0,998	-0,0419	0,0244
	10	0,0467	0,0108	0,001	0,0125	0,0809
7	1	0,0151	0,0099	0,883	-0,0163	0,0465
	2	-0,0066	0,0103	1,000	-0,0390	0,0259
	3	0,0139	0,0103	0,943	-0,0188	0,0466
	4	-0,0018	0,0101	1,000	-0,0336	0,0301
	5	0,0165	0,0104	0,855	-0,0165	0,0495

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
8	6	0,0026	0,0100	1,000	-0,0292	0,0344
	8	0,0020	0,0105	1,000	-0,0312	0,0353
	9	-0,0061	0,0106	1,000	-0,0396	0,0273
	10	0,0493	0,0109	0,000	0,0148	0,0838
	1	0,0131	0,0103	0,960	-0,0194	0,0456
	2	-0,0086	0,0106	0,998	-0,0422	0,0250
	3	0,0119	0,0107	0,984	-0,0219	0,0456
	4	-0,0038	0,0104	1,000	-0,0368	0,0292
	5	0,0145	0,0108	0,943	-0,0196	0,0486
	6	0,0006	0,0104	1,000	-0,0324	0,0335
9	7	-0,0020	0,0105	1,000	-0,0353	0,0312
	9	-0,0082	0,0109	0,999	-0,0427	0,0264
	10	0,0473	0,0112	0,001	0,0117	0,0828
	1	0,0212	0,0103	0,563	-0,0115	0,0540
	2	-0,0004	0,0107	1,000	-0,0342	0,0333
	3	0,0200	0,0107	0,695	-0,0140	0,0540
	4	0,0043	0,0105	1,000	-0,0289	0,0375
	5	0,0227	0,0108	0,534	-0,0116	0,0570
	6	0,0087	0,0105	0,998	-0,0244	0,0419
	7	0,0061	0,0106	1,000	-0,0273	0,0396
10	8	0,0082	0,0109	0,999	-0,0264	0,0427
	10	0,0554	0,0113	0,000	0,0196	0,0912
	1	-0,0342	0,0107	0,046	-0,0680	-0,0003
	2	-0,0559	0,0110	0,000	-0,0907	-0,0210
	3	-0,0354	0,0111	0,046	-0,0705	-0,0003
	4	-0,0510	0,0108	0,000	-0,0854	-0,0168
	5	-0,0327	0,0112	0,097	-0,0681	0,0026
	6	-0,0467	0,0108	0,001	-0,0809	-0,0125
	7	-0,0493	0,0109	0,000	-0,0838	-0,0148
	8	-0,0473	0,0112	0,001	-0,0828	-0,0117
	9	-0,0554	0,0113	0,000	-0,0912	-0,0196

Tabelle 91: post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen des Kaufspiegels (gemeindebasierte z-Werte aggregiert auf 2 x 2 km²) für Deutschland in Dezilen der Feinstaubhintergrundbelastung

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	-0,0083	0,0106	0,999	-0,0420	0,0253
	3	0,0079	0,0099	0,999	-0,0235	0,0393
	4	-0,0122	0,0099	0,967	-0,0436	0,0192
	5	0,0024	0,0103	1,000	-0,0303	0,0350
	6	-0,0121	0,0101	0,973	-0,0441	0,0200
	7	0,0022	0,0100	1,000	-0,0296	0,0339
	8	0,0026	0,0107	1,000	-0,0311	0,0363
	9	0,0126	0,0103	0,969	-0,0200	0,0453
	10	0,0808	0,0101	0,000	0,0489	0,1127
2	1	0,0083	0,0106	0,999	-0,0253	0,0420
	3	0,0162	0,0106	0,879	-0,0173	0,0497
	4	-0,0039	0,0106	1,000	-0,0374	0,0296
	5	0,0107	0,0110	0,994	-0,0240	0,0454
	6	-0,0038	0,0108	1,000	-0,0378	0,0303
	7	0,0105	0,0107	0,993	-0,0233	0,0443
	8	0,0110	0,0113	0,994	-0,0247	0,0466
	9	0,0210	0,0110	0,660	-0,0137	0,0556
	10	0,0891	0,0107	0,000	0,0552	0,1231
3	1	-0,0079	0,0099	0,999	-0,0393	0,0235
	2	-0,0162	0,0106	0,879	-0,0497	0,0173
	4	-0,0201	0,0099	0,571	-0,0513	0,0111
	5	-0,0055	0,0103	1,000	-0,0380	0,0270
	6	-0,0200	0,0101	0,611	-0,0519	0,0119
	7	-0,0057	0,0100	1,000	-0,0373	0,0259
	8	-0,0053	0,0106	1,000	-0,0388	0,0283
	9	0,0047	0,0103	1,000	-0,0278	0,0372
	10	0,0729	0,0100	0,000	0,0411	0,1046
4	1	0,0122	0,0099	0,967	-0,0192	0,0436
	2	0,0039	0,0106	1,000	-0,0296	0,0374

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
	3	0,0201	0,0099	0,571	-0,0111	0,0513
	5	0,0146	0,0103	0,921	-0,0179	0,0471
	6	0,0001	0,0101	1,000	-0,0317	0,0320
	7	0,0144	0,0100	0,914	-0,0172	0,0460
	8	0,0149	0,0106	0,927	-0,0187	0,0484
	9	0,0249	0,0103	0,313	-0,0076	0,0573
	10	0,0930	0,0100	0,000	0,0613	0,1248
5	1	-0,0024	0,0103	1,000	-0,0350	0,0303
	2	-0,0107	0,0110	0,994	-0,0454	0,0240
	3	0,0055	0,0103	1,000	-0,0270	0,0380
	4	-0,0146	0,0103	0,921	-0,0471	0,0179
	6	-0,0145	0,0105	0,933	-0,0476	0,0187
	7	-0,0002	0,0104	1,000	-0,0330	0,0327
	8	0,0003	0,0110	1,000	-0,0345	0,0350
	9	0,0103	0,0107	0,994	-0,0234	0,0440
	10	0,0784	0,0104	0,000	0,0454	0,1114
6	1	0,0121	0,0101	0,973	-0,0200	0,0441
	2	0,0038	0,0108	1,000	-0,0303	0,0378
	3	0,0200	0,0101	0,611	-0,0119	0,0519
	4	-0,0001	0,0101	1,000	-0,0320	0,0317
	5	0,0145	0,0105	0,933	-0,0187	0,0476
	7	0,0143	0,0102	0,927	-0,0180	0,0465
	8	0,0147	0,0108	0,938	-0,0194	0,0489
	9	0,0247	0,0105	0,349	-0,0084	0,0578
	10	0,0929	0,0102	0,000	0,0605	0,1253
7	1	-0,0022	0,0100	1,000	-0,0339	0,0296
	2	-0,0105	0,0107	0,993	-0,0443	0,0233
	3	0,0057	0,0100	1,000	-0,0259	0,0373
	4	-0,0144	0,0100	0,914	-0,0460	0,0172
	5	0,0002	0,0104	1,000	-0,0327	0,0330
	6	-0,0143	0,0102	0,927	-0,0465	0,0180

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
8	8	0,0005	0,0107	1,000	-0,0334	0,0344
	9	0,0105	0,0104	0,992	-0,0224	0,0433
	10	0,0786	0,0101	0,000	0,0465	0,1107
	1	-0,0026	0,0107	1,000	-0,0363	0,0311
	2	-0,0110	0,0113	0,994	-0,0466	0,0247
	3	0,0053	0,0106	1,000	-0,0283	0,0388
	4	-0,0149	0,0106	0,927	-0,0484	0,0187
	5	-0,0003	0,0110	1,000	-0,0350	0,0345
	6	-0,0147	0,0108	0,938	-0,0489	0,0194
	7	-0,0005	0,0107	1,000	-0,0344	0,0334
9	9	0,0100	0,0110	0,996	-0,0247	0,0447
	10	0,0781	0,0108	0,000	0,0441	0,1122
	1	-0,0126	0,0103	0,969	-0,0453	0,0200
	2	-0,0210	0,0110	0,660	-0,0556	0,0137
	3	-0,0047	0,0103	1,000	-0,0372	0,0278
	4	-0,0249	0,0103	0,313	-0,0573	0,0076
	5	-0,0103	0,0107	0,994	-0,0440	0,0234
	6	-0,0247	0,0105	0,349	-0,0578	0,0084
	7	-0,0105	0,0104	0,992	-0,0433	0,0224
	8	-0,0100	0,0110	0,996	-0,0447	0,0247
10	10	0,0681	0,0104	0,000	0,0352	0,1011
	1	-0,0808	0,0101	0,000	-0,1127	-0,0489
	2	-0,0891	0,0107	0,000	-0,1231	-0,0552
	3	-0,0789	0,0100	0,000	-0,1046	-0,0411
	4	-0,0930	0,0100	0,000	-0,1248	-0,0613
	5	-0,0784	0,0104	0,000	-0,1114	-0,0454
	6	-0,0929	0,0102	0,000	-0,1253	-0,0605
	7	-0,0786	0,0101	0,000	-0,1107	-0,0465
	8	-0,0781	0,0108	0,000	-0,1122	-0,0441
	9	-0,0681	0,0104	0,000	-0,1011	-0,0352

Tabelle 92: post-hoc Ergebnisse für Fallgruppen des Haushaltseinkommens (gemeindebasierte z-Werte aggregiert auf 2 x 2 km²) für Deutschland in Dezilen der Feinstaubhintergrundbelastung

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
1	2	-0,0084	0,0196	1,000	-0,0705	0,0536
	3	-0,0028	0,0197	1,000	-0,0651	0,0596
	4	-0,0053	0,0186	1,000	-0,0643	0,0536
	5	0,0104	0,0187	1,000	-0,0488	0,0697
	6	0,0062	0,0189	1,000	-0,0534	0,0659
	7	-0,0071	0,0206	1,000	-0,0722	0,0580
	8	-0,0120	0,0213	1,000	-0,0792	0,0553
	9	0,0004	0,0208	1,000	-0,0653	0,0661
	10	0,1349	0,0241	0,000	0,0586	0,2111
2	1	0,0084	0,0196	1,000	-0,0536	0,0705
	3	0,0057	0,0213	1,000	-0,0616	0,0729
	4	0,0031	0,0203	1,000	-0,0611	0,0672
	5	0,0189	0,0204	0,996	-0,0456	0,0833
	6	0,0147	0,0205	0,999	-0,0502	0,0795
	7	0,0013	0,0221	1,000	-0,0686	0,0712
	8	-0,0035	0,0227	1,000	-0,0754	0,0683
	9	0,0088	0,0222	1,000	-0,0615	0,0792
	10	0,1433	0,0254	0,000	0,0630	0,2237
3	1	0,0028	0,0197	1,000	-0,0596	0,0651
	2	-0,0057	0,0213	1,000	-0,0729	0,0616
	4	-0,0026	0,0204	1,000	-0,0670	0,0618
	5	0,0132	0,0205	1,000	-0,0515	0,0779
	6	0,0090	0,0206	1,000	-0,0561	0,0741
	7	-0,0044	0,0222	1,000	-0,0745	0,0657
	8	-0,0092	0,0228	1,000	-0,0813	0,0629
	9	0,0032	0,0223	1,000	-0,0674	0,0738
	10	0,1377	0,0255	0,000	0,0571	0,2182
4	1	0,0053	0,0186	1,000	-0,0536	0,0643
	2	-0,0031	0,0203	1,000	-0,0672	0,0611

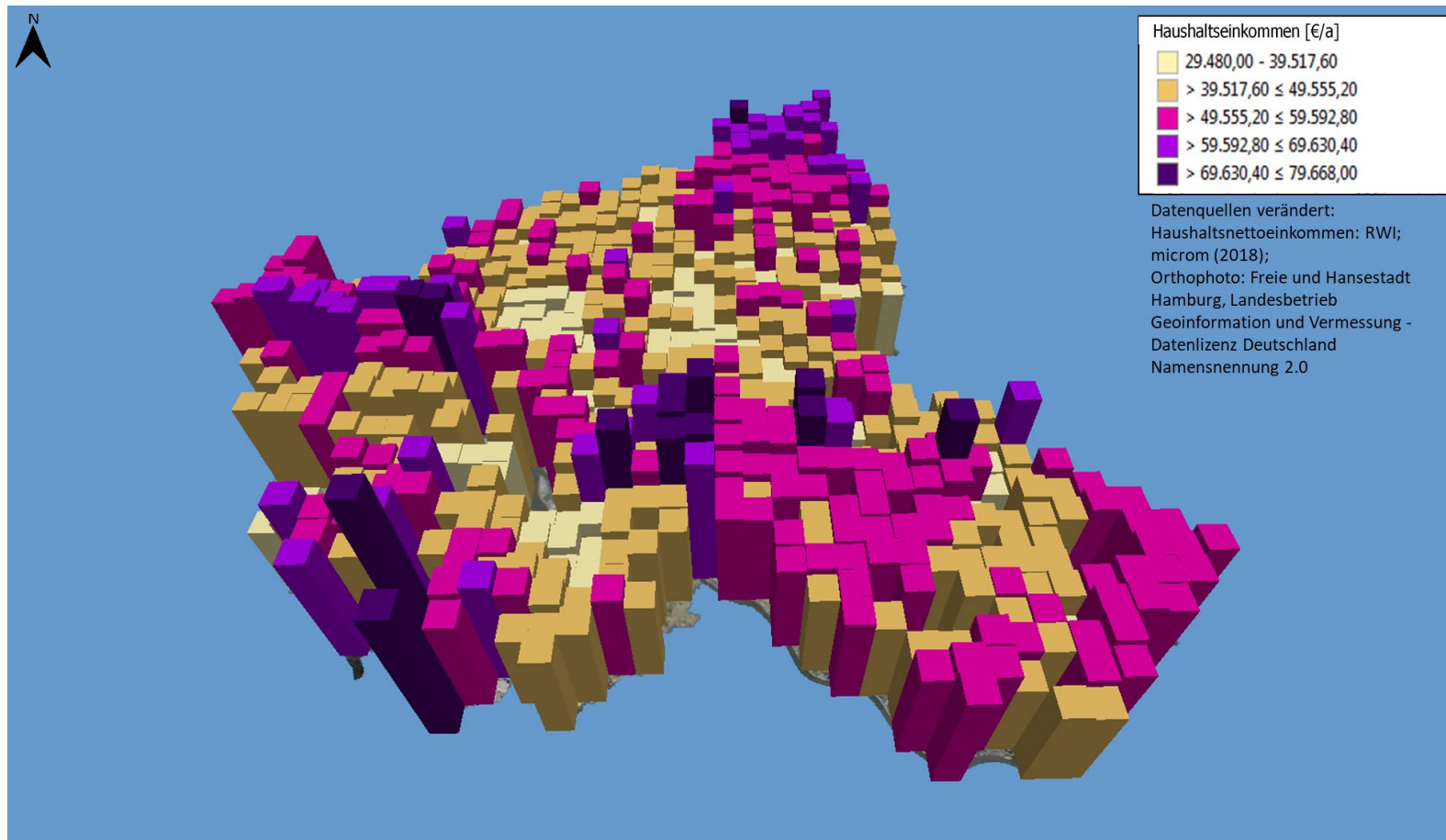
PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
	3	0,0026	0,0204	1,000	-0,0618	0,0670
	5	0,0158	0,0194	0,998	-0,0457	0,0772
	6	0,0116	0,0195	1,000	-0,0503	0,0734
	7	-0,0018	0,0212	1,000	-0,0689	0,0653
	8	-0,0066	0,0219	1,000	-0,0758	0,0626
	9	0,0057	0,0214	1,000	-0,0619	0,0734
	10	0,1403	0,0246	0,000	0,0623	0,2182
5	1	-0,0104	0,0187	1,000	-0,0697	0,0488
	2	-0,0189	0,0204	0,996	-0,0833	0,0456
	3	-0,0132	0,0205	1,000	-0,0779	0,0515
	4	-0,0158	0,0194	0,998	-0,0772	0,0457
	6	-0,0042	0,0196	1,000	-0,0664	0,0580
	7	-0,0176	0,0213	0,998	-0,0850	0,0498
	8	-0,0224	0,0220	0,991	-0,0919	0,0471
	9	-0,0100	0,0215	1,000	-0,0780	0,0579
	10	0,1244	0,0247	0,000	0,0463	0,2027
6	1	-0,0062	0,0189	1,000	-0,0659	0,0534
	2	-0,0147	0,0205	0,999	-0,0795	0,0502
	3	-0,0090	0,0206	1,000	-0,0741	0,0561
	4	-0,0116	0,0195	1,000	-0,0734	0,0503
	5	0,0042	0,0196	1,000	-0,0580	0,0664
	7	-0,0134	0,0214	1,000	-0,0811	0,0544
	8	-0,0182	0,0221	0,998	-0,0880	0,0516
	9	-0,0058	0,0216	1,000	-0,0741	0,0624
	10	0,1287	0,0248	0,000	0,0501	0,2072
7	1	0,0071	0,0206	1,000	-0,0580	0,0722
	2	-0,0013	0,0221	1,000	-0,0712	0,0686
	3	0,0044	0,0222	1,000	-0,0657	0,0745
	4	0,0018	0,0212	1,000	-0,0653	0,0689
	5	0,0176	0,0213	0,998	-0,0498	0,0850
	6	0,0134	0,0214	1,000	-0,0544	0,0811

PM _{2.5} Dezil (A)	PM _{2.5} Dezile (B)	Mittlere Differenz (A-B)	Standard- fehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
					Untergrenze	Obergrenze
8	8	-0,0048	0,0235	1,000	-0,0793	0,0697
	9	0,0075	0,0231	1,000	-0,0655	0,0806
	10	0,1420	0,0261	0,000	0,0593	0,2247
	1	0,0120	0,0213	1,000	-0,0553	0,0792
	2	0,0035	0,0227	1,000	-0,0683	0,0754
	3	0,0092	0,0228	1,000	-0,0629	0,0813
	4	0,0066	0,0219	1,000	-0,0626	0,0758
	5	0,0224	0,0220	0,991	-0,0471	0,0919
	6	0,0182	0,0221	0,998	-0,0516	0,0880
	7	0,0048	0,0235	1,000	-0,0697	0,0793
9	9	0,0124	0,0237	1,000	-0,0626	0,0874
	10	0,1468	0,0267	0,000	0,0624	0,2313
	1	-0,0004	0,0208	1,000	-0,0661	0,0653
	2	-0,0088	0,0222	1,000	-0,0792	0,0615
	3	-0,0032	0,0223	1,000	-0,0738	0,0674
	4	-0,0057	0,0214	1,000	-0,0734	0,0619
	5	0,0100	0,0215	1,000	-0,0579	0,0780
	6	0,0058	0,0216	1,000	-0,0624	0,0741
	7	-0,0075	0,0231	1,000	-0,0806	0,0655
	8	-0,0124	0,0237	1,000	-0,0874	0,0626
10	10	0,1345	0,0263	0,000	0,0513	0,2176
	1	-0,1349	0,0241	0,000	-0,2111	-0,0586
	2	-0,1433	0,0254	0,000	-0,2237	-0,0630
	3	-0,1377	0,0255	0,000	-0,2182	-0,0571
	4	-0,1402	0,0246	0,000	-0,2182	-0,0623
	5	-0,1244	0,0247	0,000	-0,2027	-0,0463
	6	-0,1287	0,0248	0,000	-0,2072	-0,0501
	7	-0,1420	0,0261	0,000	-0,2247	-0,0593
	8	-0,1468	0,0267	0,000	-0,2313	-0,0624
	9	-0,1345	0,0263	0,000	-0,2176	-0,0513

G 3D-Abbildungen der SES-Indikatoren

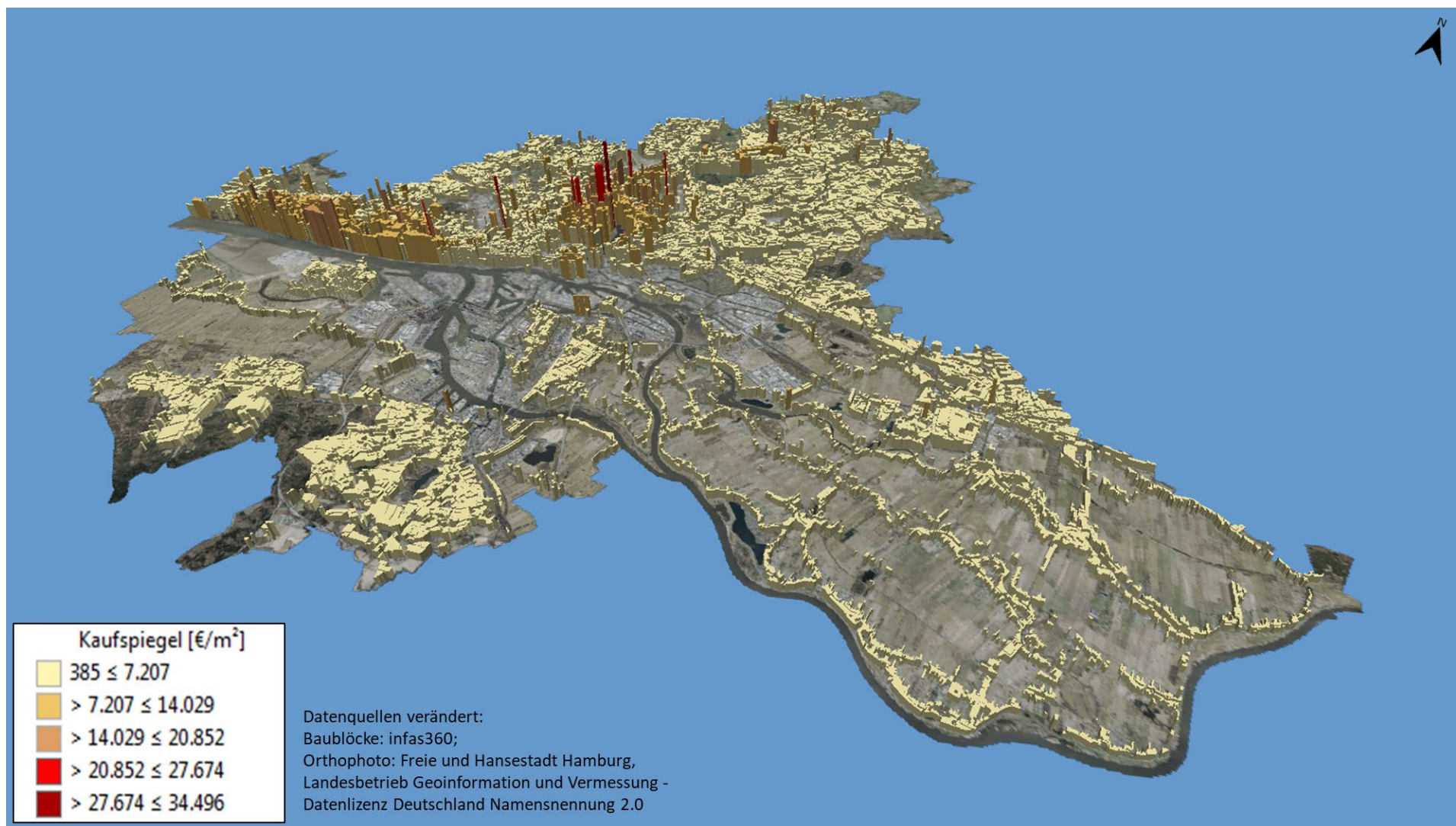
G.1 Hamburg

Abbildung 80: 3D-Abbildung des Indikators Haushaltseinkommen (€/Jahr) in Hamburg, dargestellt in 5 äquidistanten Klassen



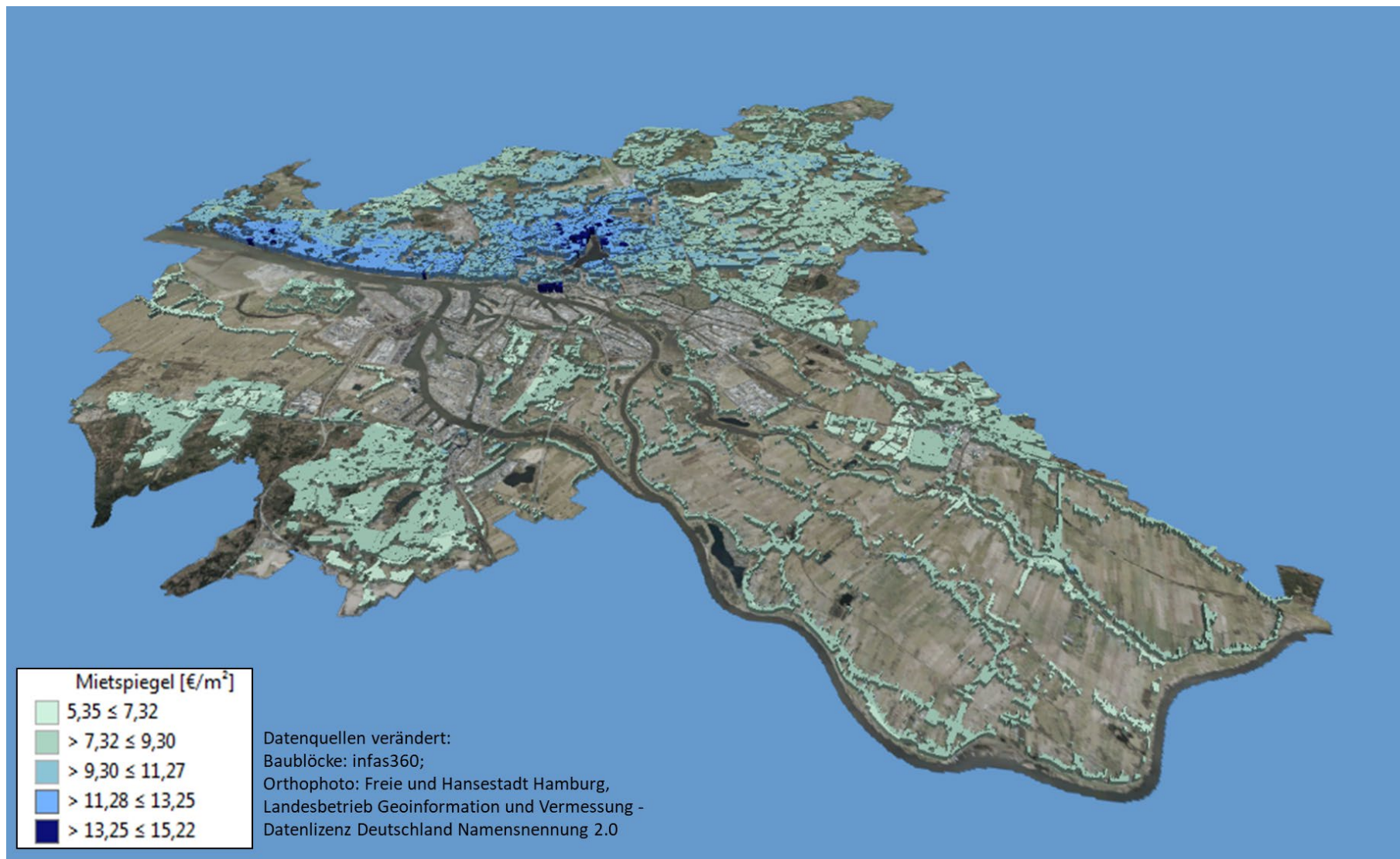
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 81: 3D-Abbildung des Indikators Kaufspiegel ($\text{€}/\text{m}^2$) in Hamburg (aufbereiteter Datensatz), dargestellt in 5 äquidistanten Klassen



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

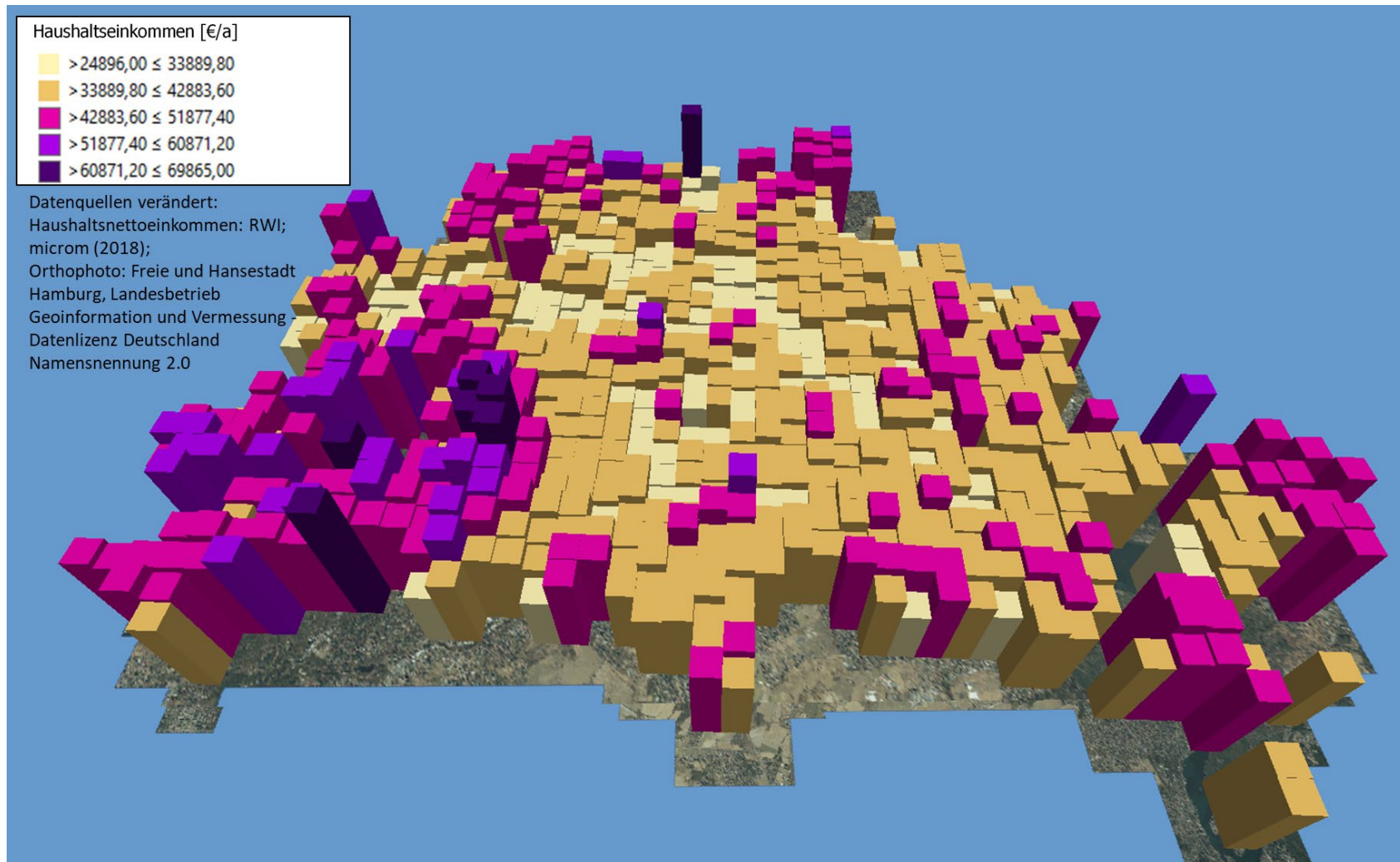
Abbildung 82: 3D-Abbildung des Indikators Mietspiegel (€/m²) in Hamburg (aufbereiteter Datensatz), dargestellt in 5 äquidistanten Klassen



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

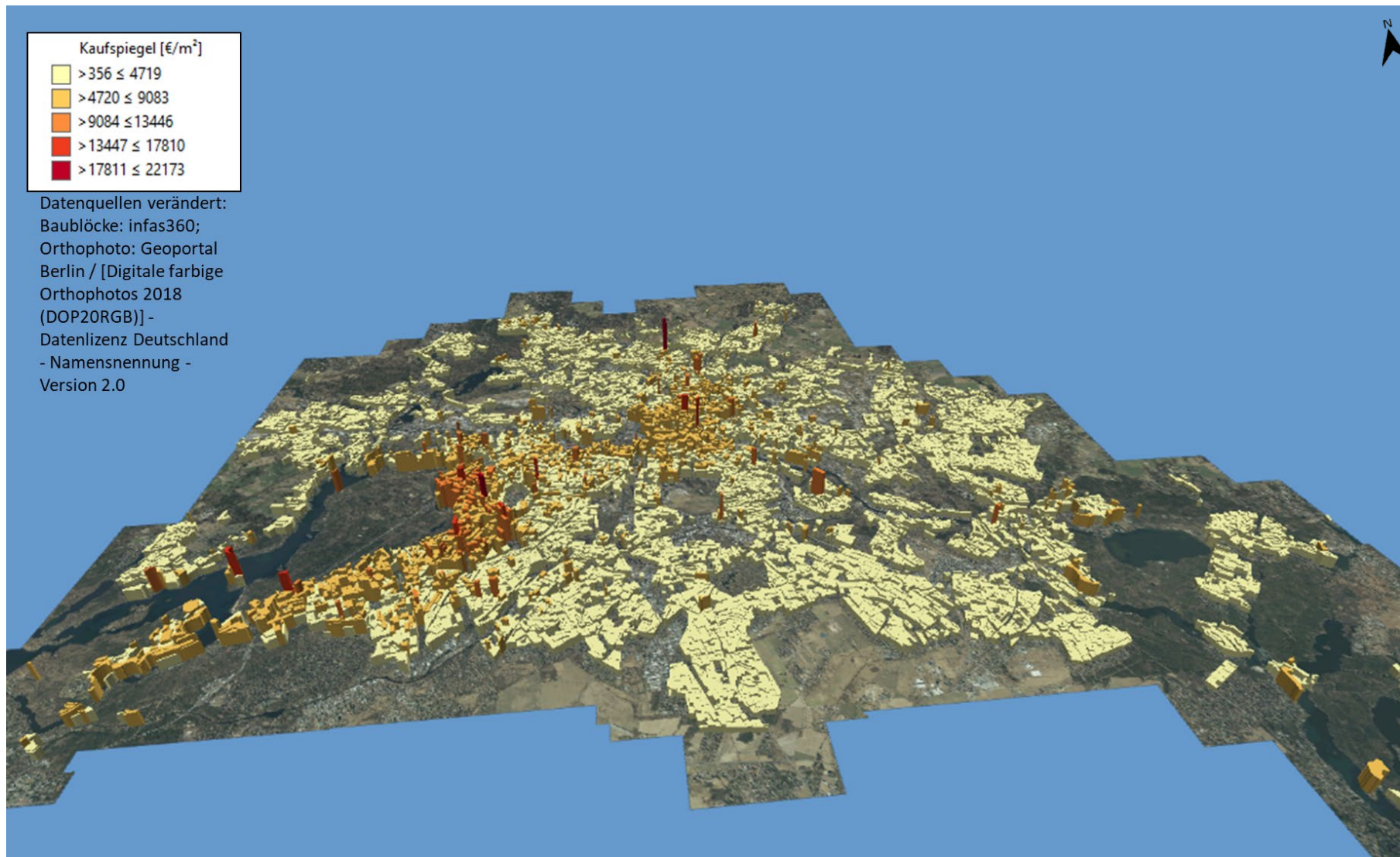
G.2 Berlin

Abbildung 83: 3D-Abbildung des Indikators Haushaltseinkommen (€/Jahr) in Berlin, dargestellt in 5 äquidistanten Klassen



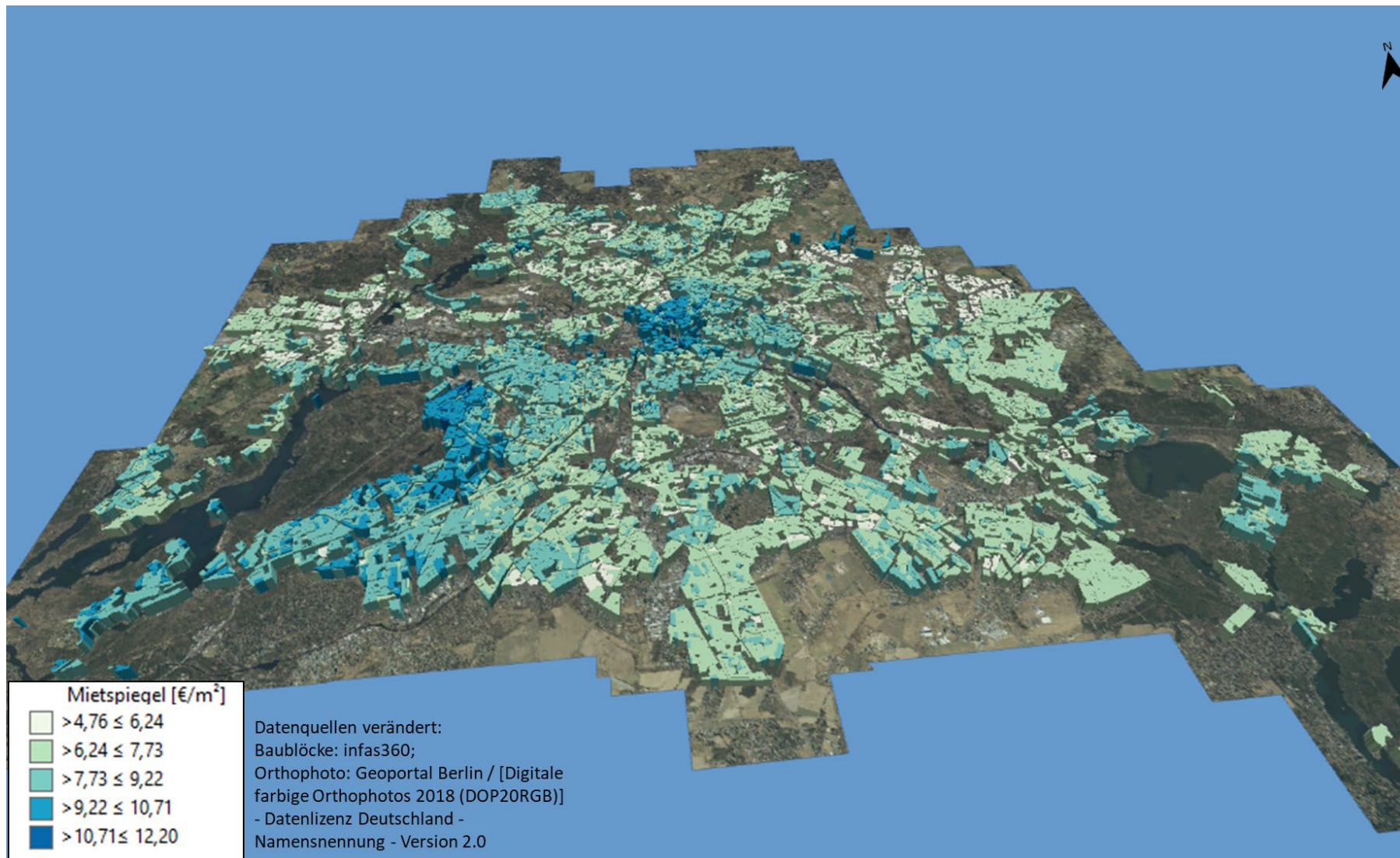
Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 84: 3D-Abbildung des Indikators Kaufspreis (€/m²) in Berlin (aufbereiteter Datensatz), dargestellt in 5 äquidistanten Klassen



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

Abbildung 85: 3D-Abbildung des Indikators Mietspiegel (€/m²) in Berlin (aufbereiteter Datensatz), dargestellt in 5 äquidistanten Klassen



Quelle: eigene Darstellung, TUHH

