

UMWELT & GESUNDHEIT

04/2016

Pilotprojekt: Quantifizierung der verkehrsbezogenen populationsgewichteten Feinstaubexposition 2013 für die Modellregionen Berlin und Brandenburg

Endbericht

UMWELT & GESUNDHEIT 04/2016

Projektnummer 59 883
UBA-FB 002384

Pilotprojekt

Quantifizierung der verkehrsbezogenen populationsgewichteten Feinstaubexposition 2013 für die Modellregionen Berlin und Brandenburg

von

Volker Diegmann, Florian Pfäfflin
IVU Umwelt GmbH, Freiburg

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

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

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

IVU Umwelt GmbH
Emmy-Noether-Straße 2
79110 Freiburg

Abschlussdatum:

2016

Redaktion:

II 1.6 Expositionsschätzung, gesundheitsbezogene Indikatoren
Dr. Dagmar Kallweit

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4340

Dessau-Roßlau, Dezember 2016

Kurzbeschreibung

Bisherige PM₁₀-Expositionsabschätzungen des Umweltbundesamtes (UBA) für Deutschland basieren auf Konzentrationsfeldern mit einer horizontalen Auflösung von ca. 7×8 km². Der vorliegende Bericht beschreibt die Umsetzung von Verfahren zur Berücksichtigung urbaner Strukturen und insbesondere lokaler Verkehrsbelastungen in der PM₁₀-Expositionsabschätzung in einem Pilotprojekt. Dazu wurden für das Bezugsjahr 2013 exemplarisch für die Bundesländer Berlin und Brandenburg drei Methoden zur räumlichen Verfeinerung der Expositionsabschätzung angewendet und mit den Ergebnissen vorhandener Modellierungen in höheren räumlichen Auflösungen aus der Luftreinhalteplanung verglichen.

Einfache Methoden zur Verfeinerung unter Zuhilfenahme von hochauflösenden Emissionskatastern führen zwar zu „optischen“ Verbesserungen von Feinstrukturen, sind aber Ausbreitungsrechnungen für den urbanen Hintergrund in höherer Auflösung deutlich unterlegen, weil sie die Transmission der Schadstoffe nicht abbilden können. Die in der Luftreinhalteplanung weit verbreiteten Screeningverfahren bilden eine sehr gute Grundlage, um in Expositionsschätzungen auch verkehrsbezogene höhere Belastungen zu berücksichtigen. Mit der hier vorgestellten Methode der segmentbasierten Expositionsschätzung (SBE) gibt es eine einfach handhabbare Methode zur Bestimmung der bevölkerungsbezogenen Feinstaubbelastung in der Nähe von Hotspots auf Grundlage bundesweit vorhandener rasterbasierter Bevölkerungszahlen.

In den Ergebnissen zeigt sich deutlich, dass insbesondere eine höhere räumliche Auflösung der urbanen Konzentrationsverteilung zu einer deutlichen Verschiebung der Einwohnerzahlen zu höheren Belastungsniveaus führt. Darüber hinaus ermöglicht die Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags, Anteile der Bevölkerung anzugeben, die von hohen Schadstoffbelastungen betroffen sind, die bei einer Betrachtung allein auf Basis der Hintergrundbelastung nicht identifiziert werden könnten.

Abstract

PM₁₀ exposure assessments for Germany of the German Environment Agency (Umweltbundesamt UBA) hitherto have been based on concentration fields with a horizontal resolution of approximately 7×8 km². This report describes the implementation of methods to account for urban structures and, particularly, local traffic loads in the PM₁₀ exposure assessment in a pilot study. For the German Federal States Berlin and Brandenburg, three different methods to refine the exposure assessment have been applied and the results were compared to existing data from modelling within air quality planning in high spatial resolutions.

Simple methods using high resolution emission inventories may lead to “visual” improvements with respect to finer structures. However, as they cannot account for the transport of the substances, they are clearly inferior to dispersion modelling of urban background concentrations in high spatial resolution. Screening approaches, which are well-used in air quality planning, are a very good basis to account for high concentrations caused by traffic. The method of the segment-based exposure assessment (SBE) presented here, is an easy-to-use approach to estimate exposure in hot spots based on gridded population data available for the entire country.

Results show that notably increased spatial resolution of concentration fields in urban areas leads to a strong shift of the number of inhabitants towards higher concentration levels. Additionally, including local traffic increments in the assessment provides a means to quantify the fraction of the population affected by high concentrations that do not occur if the assessment is based on background concentrations only.

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	7
Tabellenverzeichnis.....	8
Abkürzungsverzeichnis.....	9
1 Einleitung.....	11
2 Daten	12
2.1 RCG/OI Modellergebnisse	12
2.2 Bevölkerungsdichte.....	12
2.3 Emissionskataster	12
2.4 Daten aus der Luftreinhalteplanung	13
2.4.1 Berlin	13
2.4.2 Brandenburg.....	14
2.5 Daten aus der Lärmkartierung	14
2.5.1 Berlin	14
2.5.2 Brandenburg.....	14
2.6 Koordinatensysteme.....	15
3 Methoden.....	17
3.1 Übersicht.....	17
3.2 Verfeinerung des urbanen Hintergrunds.....	17
3.2.1 Ausgangssituation.....	17
3.2.2 OI nur mit ländlichen Hintergrundstationen	18
3.2.3 Berücksichtigung hoch aufgelöster Emissionskataster	18
3.3 Expositionsschätzung unter Berücksichtigung verkehrsbedingter Belastung in Hotspots	21
3.3.1 Ausgangssituation.....	21
3.3.2 Segmentbasierte Expositionsschätzung (SBE)	22
3.3.3 Schätzung aus der Lärmkartierung.....	25
4 Ergebnisse der Verfeinerung des urbanen Hintergrunds.....	28
4.1 Übersicht.....	28
4.2 Vergleich mit Referenzdaten.....	30
4.3 Vergleich der Expositionsschätzung.....	32
5 Ergebnis der Schätzung unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags.....	36
5.1 Auswahl der Betroffenenzuordnung für das SBE-Verfahren	36
5.2 Vergleich der Expositionsschätzung.....	37
6 Verfahrensvorschlag	43

7	Zusammenfassung.....	43
8	Quellenverzeichnis.....	46
9	Anlage Konzeptvorschlag aus der Machbarkeitsstudie.....	47
9.1	Übersicht.....	47
9.2	Regionaler Hintergrund.....	47
9.3	Urbaner Hintergrund.....	48
9.4	Gesamtbelastung unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags	48
9.5	Durchführungsschema.....	50

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	RCG-Daten als Flächenwerte in einem Beispielgebiet um Berlin	16
Abbildung 2:	Schema der Zusammensetzung der städtischen Gesamtbelastung	18
Abbildung 3:	Skizze des Verfahrens zur Verfeinerung der RCG/OI-Modellwerte mit Daten aus dem GRETA-Emissionskataster	20
Abbildung 4:	Entwicklung der PM ₁₀ -Jahresmittelwerte im Belastungsregime über den Zeitraum 2000 bis 2015	21
Abbildung 5:	Schema der Zuordnung der rasterbasierten Einwohnerdaten auf die Screeningabschnitte	22
Abbildung 6:	Anteile der Einwohner einer Rasterzelle in 250*250 m ² -Auflösung.....	24
Abbildung 7:	Beispiel für die Zuordnung der Lärmbelastungswerte zu den Screeningabschnitten	26
Abbildung 8:	Vergleich von Lärmbelastungsindizes mit der Zusatzbelastung von PM ₁₀ -Hotspotbelastungen für Berlin	27
Abbildung 9:	Vergleich von Lärmbelastungsindizes mit der Zusatzbelastung von PM ₁₀ -Hotspotbelastungen in Brandenburg	27
Abbildung 10:	Vergleich der Methoden für den urbanen Hintergrund.....	29
Abbildung 11:	Vergleich der modellierten mit den gemessenen PM ₁₀ -Jahresmittelwerten	31
Abbildung 12:	Histogramm der Einwohner für Berlin je PM ₁₀ -Indikator unter Berücksichtigung der Verfahren für den urbanen Hintergrund ..	33
Abbildung 13:	Histogramm der Einwohner für Brandenburg je PM ₁₀ -Indikator unter Berücksichtigung der Verfahren für den urbanen Hintergrund	35
Abbildung 14:	Histogramm der Einwohner in Berlin je PM ₁₀ -Indikator unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags	40
Abbildung 15:	Histogramm der Einwohner für Brandenburg je PM ₁₀ -Indikator unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags.....	40
Abbildung 16:	Bevölkerungsbezogener PM ₁₀ -Belastungsindikator für Berlin bei Anwendung verschiedener Schätzmethoden	41
Abbildung 17:	Bevölkerungsbezogener PM ₁₀ -Belastungsindikator für Brandenburg bei Anwendung verschiedener Schätzmethoden..	41

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anzahl der Einwohner in den Konzentrationsklassen der PM ₁₀ -Belastung und bevölkerungsbezogener Belastungsindikator für die verschiedenen Verfahren der Ermittlung des urbanen Hintergrunds in Berlin	33
Tabelle 2:	Anzahl der Einwohner in den Konzentrationsklassen der PM ₁₀ -Belastung und bevölkerungsbezogener Belastungsindikator für die verschiedenen Verfahren der Ermittlung des urbanen Hintergrunds im Land Brandenburg	35
Tabelle 3:	Vergleich der Anzahl von Einwohnern in Berlin, die den Straßenabschnitten zugeordnet werden	36
Tabelle 4:	Vergleich der Anzahl von Einwohnern im Land Brandenburg, die den Straßenabschnitten zugeordnet werden	37
Tabelle 5:	Anzahl der Einwohner in den Konzentrationsklassen der PM ₁₀ -Belastung in Berlin für die verschiedenen Verfahren der Ermittlung des urbanen Hintergrunds unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags.....	38
Tabelle 6:	Anzahl der Einwohner in den Konzentrationsklassen der PM ₁₀ -Belastung im Land Brandenburg für die verschiedenen Verfahren der Ermittlung des urbanen Hintergrunds unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags.....	39
Tabelle 7:	Anteil der Einwohner in den Konzentrationsklassen der PM ₁₀ -Belastung im Land Berlin für ausgewählte Verfahren	42
Tabelle 8:	Anteil der Einwohner in den Konzentrationsklassen der PM ₁₀ -Belastung im Land Brandenburg für ausgewählte Verfahren	42

Abkürzungsverzeichnis

µg/m³	Mikrogramm pro Kubikmeter
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
EU	Europäische Union
FKZ	Forschungskennzahl
GES	Mit allen Hintergrundstationen (gesamt)
GRETA	Gridding Tool zur räumlichen Verteilung nationaler Emissionsjahreswerte (FKZ 3712 63 240-2)
HBEFA	Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. Datenbank mit Informationen zu Flottenzusammensetzungen, Verkehrssituationen und Emissionsfaktoren in Deutschland, Österreich und der Schweiz.
IMMIS^{luft}	Screeningmodell der IVU Umwelt GmbH, Freiburg, zur Berechnung der Luftschadstoff-Immissionen in innerstädtischen Straßenräumen.
IMMIS^{net}	Immissionsklimatologische Ausbreitungsmodell der IVU Umwelt GmbH, Freiburg, zur Berechnung und flächenhaften Darstellung der urbanen / regionalen Vorbelastung.
INSPIRE	INfrastructure for SPatial InfoRmation in Europe. Richtlinie der EU, die den rechtlichen Rahmen für den Aufbau von Geodateninfrastrukturen definiert.
Kfz	Kraftfahrzeug; Sammelbegriff für motorgetriebene, nichtschienengebundene Landfahrzeuge.
LAEA	Koordinatensystem Lambert Azimuthal Equal Area
L_{DEN}	Gewichteter Lärmindex auf Basis der drei Mittelungspegel für den Tag-, Abend- und Nachtzeitraum gemäß VBUS (2006)
LRP	Luftreinhalteplan
NO₂	Stickstoffdioxid
NOURB	Ohne städtische Hintergrundmessstationen
OI	Optimale Interpolation
PM₁₀	Partikel, die einen grö ßenselektierenden Lufteinlass passieren, der für einen aerodynamischen Durchmesser von 10 µm eine Abscheidewirksamkeit von 50 % aufweist.
RCG	REM/CALGRID (RCG), Dreidimensionales chemisches Transportmodell
REM/CALGRID	siehe RCG
SBE	Verfahren zur segmentbezogenen Exposition
Soldner	Kartesisches Koordinatensystem welches vor allem noch in Berlin Verwendung findet
UBA	Umweltbundesamt
UFOPLAN	Umweltforschungsplan
UTM	Koordinatensystem Universal Transverse Mercator

VB	Vorbelastung
WHO	World Health Organisation, Weltgesundheitsorganisation der Vereinten Nationen

1 Einleitung

Zur Beurteilung der Belastung der Menschen durch Luftschadstoffe werden neben den Grenz- und Richtwerten der EU bzw. der WHO auch zunehmend Berechnungen der umweltbedingten Krankheitslasten auf Basis von Expositionsschätzungen herangezogen. Das heißt, es wird der Teil der Krankheitslast ermittelt, der auf einen Umweltrisikofaktor, hier die Feinstaubexposition, zurückzuführen ist. Anhand dieser Informationen ist eine effizientere Politikberatung in Hinblick auf die Verbesserung der Luftqualität, aber auch des Gesundheitszustands der Bevölkerung möglich.

Ziel dieses Projekts ist es, die Feinstaubexposition der Bevölkerung umfassender als bisher zu bestimmen, in dem durch eine bessere Abbildung der Feinstruktur der Konzentrationsverteilung auch höhere Belastungsniveaus berücksichtigt werden. Gegenwärtig gilt der Grundsatz, dass es keine Wirkungsschwelle für Feinstaub gibt und alle Konzentrationsbereiche wirkungsrelevant sind und somit die Exposition für alle Konzentrationsbereiche zu ermitteln ist.

Bisherige Feinstaubexpositionsabschätzungen des Umweltbundesamtes (UBA) für Deutschland basieren auf Modellergebnissen in einem Modellraster mit einer horizontalen Auflösung von ca. 7*8 km², assimiliert mit den Feinstaubmessdaten der Hintergrundstationen. Urbane Strukturen der Feinstaubbelastung und vornehmlich durch den Kfz-Verkehr hervorgerufene, lokal auftretende, hohe Belastungen werden dabei nicht explizit berücksichtigt.

Bei der Einbeziehung vor allem der lokalen Verkehrsbelastung in die bisherige bundesweite Expositionsschätzung ist mit einem höheren Anteil der Bevölkerung in den Konzentrationsbereichen, die über dem von der WHO empfohlenem Richtwert für den Schutz der Gesundheit in Höhe von 20 µg/m³ liegen, zu rechnen.

Deshalb sollte in diesem Pilotprojekt, die Feinstaub-Exposition der Gesamtbevölkerung für die Bundesländer Brandenburg und Berlin unter Berücksichtigung urbaner Feinstrukturen und lokaler Hotspots mit verschiedenen Methoden quantifiziert werden.

In der vom Umweltbundesamt beauftragten „Machbarkeitsstudie zur Kartierung und Quantifizierung des Feinstaubbelastungsanteils, der durch den Straßenverkehr hervorgerufen wird, als Beitrag zur räumlichen Darstellung von Gefährdungspotentialen der Umwelt und Gesundheit“ (IVU Umwelt 2014a) (im Folgenden kurz „Machbarkeitsstudie“ genannt), wurde ein Konzept zur deutschlandweiten Ermittlung von PM₁₀-Expositionen unter Berücksichtigung der kleinräumigen Belastung durch den Kfz-Verkehr vorgeschlagen, welches in Auszügen in Abschnitt 9 als Anlage angefügt ist.

Das hier vorliegende Pilotprojekt setzt dieses Konzept erstmals praktisch für die Bundesländer Berlin und Brandenburg um und vergleicht die Ergebnisse verschiedener Verfahren mit den Ergebnissen vorhandener Modellierungen in höheren räumlichen Auflösungen.

Die Bearbeitung des Projekts orientierte sich daher an der Struktur der Machbarkeitsstudie und teilt sich in die vier Arbeitsschritte

- ▶ Datensammlung und Aufbereitung (Abschnitt 2),
- ▶ Beschreibung und Anwendung der Verfahren (Abschnitt 3),
- ▶ Ergebnisse der Verfeinerung des urbanen Hintergrunds (Abschnitt 4) und
- ▶ Ergebnisse der Expositionsschätzung unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags (Abschnitt 5).

2 Daten

In diesem Pilotprojekt sollten mit einem Vergleich zur bisherigen Methode der PM₁₀-Expositionsschätzung des Umweltbundesamtes Verfahren untersucht werden, die die räumliche Auflösung der Konzentrationsschätzung für PM₁₀ erhöhen. Für diesen Vergleich wurden zum einen die in der bisherigen Methode eingesetzten Daten vom Umweltbundesamt verwendet und zum anderen für die zu untersuchenden Verfahren Daten aus höher aufgelösten Emissionskatastern des Umweltbundesamtes und aus der Luftreinhalteplanung und Lärmkartierung der Bundesländer Berlin und Brandenburg verwendet.

Im Folgenden werden die in diesem Projekt verwendeten Daten im Einzelnen beschrieben.

2.1 RCG/OI Modellergebnisse

Das Umweltbundesamt lässt im Rahmen der Berichterstattung an die EU regelmäßig Modellberechnungen der Luftschadstoffbelastungen für Deutschland erstellen. Diese flächenbezogenen Konzentrationsverteilungen beruhen auf einem Datenassimilationsverfahren, das die mit dem chemischen Transportmodell REM/CALGRID (RCG) berechneten Konzentrationsverteilungen mit Messdaten kombiniert und mittels der Methodik der Optimalen Interpolation (OI) eine Felddarstellung erstellt. Diese Konzentrationsfelder beschreiben die Schadstoffverteilung in der regionalen Skala mit einer Auflösung von circa 7*8 km².

Vom Umweltbundesamt wurden flächenbezogene PM₁₀-Konzentrationen aus der RCG/OI-Modellierung für das Bezugsjahr 2013 bereitgestellt. Dabei wurden in der OI alle Stationen mit „Spotcharakter“ (d. h. meistens Verkehrsstationen oder straßennahe Stationen) bei der Erstellung der OI nicht berücksichtigt.

Ergänzend für das vorliegende Projekt wurde im Unterauftrag durch Dr. Rainer Stern eine analoge Berechnung mit der OI durchgeführt, bei der nur die Stationen im ländlichen Hintergrund und keine Stationen im städtischen Hintergrund berücksichtigt wurden.

2.2 Bevölkerungsdichte

Das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) hat eine Verteilung der Bevölkerungsdichte in einer rasterbasierten Auflösung von 250*250 m² für Deutschland mit Stand 2011 erstellt. Diese Datengrundlage wurde vom UBA im LAEA-Koodnatensystem zur Verfügung gestellt.

Die im Folgenden untersuchten Verfahren verwenden alle nur die Bevölkerungsdaten des BBSR, um an dieser Stelle eine für das ganze Bundesgebiet vorliegende einheitliche Datengrundlage zu verwenden.

In den Bundesländern Berlin und Brandenburg liegen Informationen zur Bevölkerung beispielweise aus der Lärmkartierung und Luftreinhalteplanung vor, wie sie in den folgenden Abschnitten beschrieben werden. Diese Daten wurden zum Vergleich bzw. zur Plausibilisierung der in diesem Projekt untersuchten Verfahren verwendet.

2.3 Emissionskataster

Eine Datengrundlage der in Abschnitt 2.1 beschriebenen Modellberechnungen mit RCG ist ein räumlich aufgelöstes Emissionskataster. Dabei wurden die im Rahmen des FE-Vorhabens „Luftqualität

2020/2030: Weiterentwicklung von Prognosen für Luftschadstoffe unter Berücksichtigung von Klimastrategie“, FKZ 3710 43 219 (UBA 2014) für das Referenzjahr 2005 erhobenen Emissionen verwendet. Dieser Datensatz liegt in geographischen Koordinaten in einer Auflösung von ca. 1*2 km² vor und wurde vom UBA zu Beginn des Projekts zur Verfügung gestellt. Im Laufe des Projekts konnte der im Folgenden beschriebene höher aufgelöste Datensatz zur Verfügung gestellt werden, weshalb der erstgenannte Datensatz nicht verwendet wurde.

Das UBA hat mit dem sogenannten Gridding Tool zur räumlichen Verteilung nationaler Emissionsjahreswerte (GRETA, FKZ 3712 63 240-2) eine Methode geschaffen, mit der Emissionskataster in verschiedenen Koordinatensystemen und Auflösungen aufbereitet werden können. Für das vorliegende Vorhaben wurden vom UBA Jahresemissionen für das Jahr 2013 für PM₁₀ als summierte Gitterwerte in einer räumlichen Auflösung von 1*1 km² für das UTM-Koordinatensystem bereitgestellt und im Folgenden verwendet.

2.4 Daten aus der Luftreinhalteplanung

2.4.1 Berlin

Als Referenzdaten für Berlin wurden PM₁₀-Daten aus der Luftreinhalteplanung 2011 – 2017 von Berlin verwendet (Senat Berlin 2013), die von der Senatsverwaltung zur Verfügung gestellt wurden. Die Grundlagen dazu bilden die Untersuchungen zur „Fortschreibung des Berliner Luftreinhalteplans (LRP) 2009 – 2020“ (IVU Umwelt 2011).

Die urbane Vorbelastung wurde im Rahmen der Modellierungen zum Luftreinhalteplan mit IMMIS^{net} (IVU GmbH 1997) durchgeführt. Mit dem Ausbreitungsmodell IMMIS^{net} wurde auf der Basis aller bekannten PM₁₀-Emissionsquellen und einer meteorologischen Jahreszeitreihe aus dem Jahr 2005 der Anteil der urbanen Vorbelastung für regelmäßig angeordnete Aufpunkte in einer Auflösung von 500*500 m² berechnet und in ein entsprechendes regelmäßiges Raster im Soldner-Koordinatensystem überführt. Dieses Raster wurde mit RCG-Modellergebnissen kombiniert. Bei den RCG-Modellberechnungen wurden alle Quellen, die in Berlin liegen, nicht berücksichtigt, so dass die mit RCG modellierten Konzentrationswerte dem regionalen Hintergrund von Berlin entsprechen. Im Ergebnis der Kombination erhält man ein regelmäßiges Raster mit der Summe der PM₁₀-Jahresmittelwerte aus dem regionalem Hintergrund und dem urbanen Vorbelastungsbeitrag in einer 500*500 m²-Auflösung.

Die PM₁₀-Zusatzbelastung wurde mit dem Screeningverfahren IMMIS^{luft} Version 4 auf der Basis des HBEFA 3.1 (IVU Umwelt 2008) berechnet. Summiert mit der o. g. Vorbelastung lagen damit PM₁₀-Jahresmittelwerte für 10 187 Screening-Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 1 385 km vor.

Im Rahmen der nachfolgend durch die Senatsverwaltung beauftragten Untersuchungen „Modellrechnungen für die Gesamtbelastung an Stickstoffdioxid (NO₂) im Straßenraum zur Aktualisierung des Berliner Luftreinhalteplans 2011-2017 für die Jahre 2013 – 2020“ (IVU Umwelt 2014b) wurde neben der Aktualisierung für NO₂ auch die Datenbasis für eine Fortschreibung der PM₁₀-Jahresmittelwerte auf das hier verwendete Bezugsjahr 2013 geschaffen.

Für das vorliegende Projekt wurde auf der Basis von Messungen aus Berlin eine pauschale Senkung des urbanen Untergrunds von PM₁₀ um 3 µg/m³ und eine Anpassung der Kfz-Flotte auf Flotteninformationen aus dem Jahr 2013 vorgenommen und das Screening unter Berücksichtigung des HBEFA 3.2 mit IMMIS^{luft} Version 6 (IVU Umwelt 2014c) erneut durchgeführt. Damit liegen Daten zur urbanen Vorbelastung und zur Hotspotbelastung in Berlin für das Bezugsjahr 2013 vor.

Informationen zu Einwohnern als potenziell Betroffene für die Validierung lagen in Berlin für alle IMMIS^{luft}-Abschnitte aus der Luftreinhalteplanung vor. Diese wurden dort analog zur Lärmkartierung in

Berlin aus Geometriedaten der Randbebauung und Annahmen zur mittleren Einwohnerzahl je Haushalt und Aufenthaltswahrscheinlichkeiten abgeleitet (IVU Umwelt 2011).

2.4.2 Brandenburg

Für das Land Brandenburg wurden als Referenzdaten Ergebnisse des Projekts „Verkehrsgutachten 2013-2014. Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität und Lärmbelastung im Land Brandenburg“ (IVU Umwelt 2015) vom Land Brandenburg zur Verfügung gestellt.

In diesem Projekt wurde die regionale PM₁₀ Vorbelastung mit dem RCG-Modell in einer Auflösung von 2*2 km² und einer anschließenden Datenassimilation mit entsprechenden Messdaten für das Bezugsjahr 2013 in einer Auflösung von 1*1 km² ermittelt. Auf Grund von verschiedenen Prognosehorizonten wurden dabei für das Bezugsjahr 2013 drei verschiedene Belastungsszenarien (best-, middle- und worst-case) angegeben. Für die hier vorliegende Untersuchung wurde das Belastungsszenario „middle case“ verwendet.

Die PM₁₀-Zusatzbelastung wurde in IVU Umwelt (2015) mit dem Screeningverfahren IMMIS^{luft} für das Bezugsjahr 2013 berechnet. Summiert mit der o. g. Vorbelastung lagen damit PM₁₀-Jahresmittelwerte für 36 523 Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 2 983 km vor.

Betroffenenzahlen für die Validierung lagen für Brandenburg ebenfalls vor. Diese wurden in IVU Umwelt (2015) für Abschnitte mit einer möglichen Überschreitung von Luftschadstoffgrenzwerten abgeschätzt. Dazu wurde dort für PM₁₀ ein Schwellwert von 27 µg/m³ festgelegt, bei dessen Überschreitung bereits Betroffenheiten der Bevölkerung gewertet wurde. Die Anzahl der Einwohner in den Gebäuden entlang dieser Abschnitte entstammt der 2. Stufe der Lärmkartierung. Einwohnerdaten für Abschnitte mit Belastungen unterhalb des PM₁₀-Schwellwerts von 27 µg/m³ lagen nicht vor.

2.5 Daten aus der Lärmkartierung

Im Rahmen dieser Pilotstudie sollte geprüft werden, inwieweit Daten zur Lärmbelastung aus der Lärmkartierung für eine Ableitung von räumlich höher aufgelösten PM₁₀-Konzentrationen verwendet werden können. Die dazu verwendeten Datensätze werden im Folgenden beschrieben. Daten zur Lärmbetroffenheit aus der Lärmkartierung wurden nicht verwendet.

2.5.1 Berlin

Die Daten zur aktuellen Lärmkartierung Berlin 2012 (Senat Berlin 2015) konnten auf Internetseiten der Senatsverwaltung heruntergeladen werden. Dabei lagen Lärmbelastungswerte in einem Raster mit 10*10 m² Auflösung im Koordinatensystem Deutsches Hauptdreiecksnetz Cassini vor¹. Zusätzlich wurden Daten zur Lärmbetroffenheit² zur Verfügung gestellt.

2.5.2 Brandenburg

Die Daten zur Lärmkartierung des Landes Brandenburg (LUGV 2012) wurden von den Internetseiten der EU heruntergeladen³. Die Daten liegen als Isoflächen der klassifizierten Lärmbelastung, getrennt

¹ http://fbarc.stadt-berlin.de/FIS_Broker_Atom/strat_laerm/STR_DEN_N.zip (Stand März 2016)

² <http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/ia705.htm> und http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/e_abb/taa705_01.xls (Stand März 2016)

³ <http://cdr.eionet.europa.eu/de/eu/noise/df8/coluck1tw> (Stand November 2013)

für Potsdam und das Land Brandenburg ohne Potsdam, im UTM-Koordinatensystem vor. Die statistischen Daten zur Lärmbetroffenheit wurden im Rahmen von IVU Umwelt (2015) vom Land Brandenburg zur Verfügung gestellt.

2.6 Koordinatensysteme

Für die vorliegende Fragestellung werden ortsbezogene Informationen räumlich miteinander in Beziehung gesetzt. Grundlage der Erstellung eines geografischen Bezugs sind Koordinatensysteme, die das Rotationsellipsoid der Erde möglichst wenig verzerrend auf eine zweidimensionale Ebene projizieren. Die im Projekt verwendeten Daten lagen in unterschiedlichen Koordinatensystemen vor:

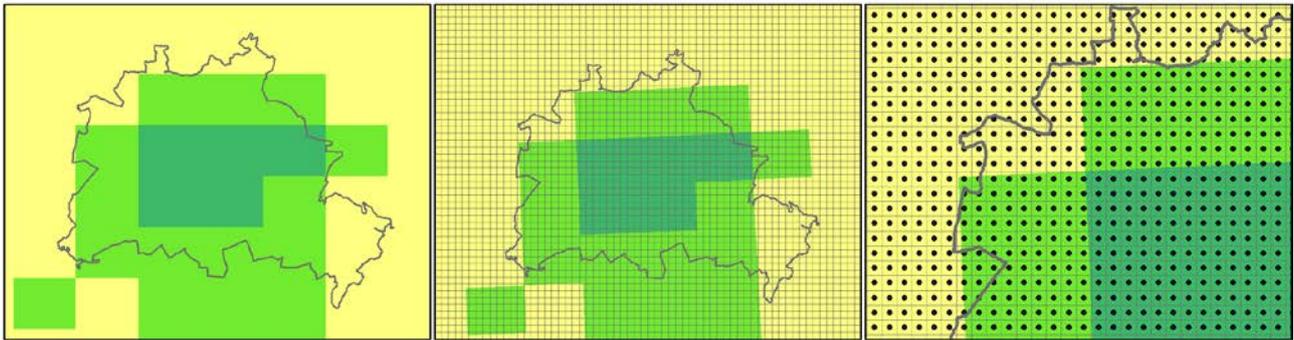
- ▶ Die Modellergebnisse RCG/OI werden in einem regelmäßigen geographischen Koordinatensystem erzeugt (Angaben in Grad für Länge und Breite). Die Grundfläche des dreidimensionalen Modellgitters hat an der Erdoberfläche in unseren Breiten eine Fläche von ca. 7*8 km². Ausgegeben wird die unterste Schicht der Modellierung, projiziert in das kartesische UTM-Koordinatensystem. Die einzelnen Flächen mit Angaben von PM₁₀-Jahresmittelwerten sind damit unregelmäßige Vierecke, die einer rechteckigen Geometrie nahe kommen.
- ▶ Die Emissionskataster aus Luft 2030 (UBA 2014) und aus dem Gridding-Tool (GRETA) des UBA stehen in einem regelmäßigen quadratischen Raster im UTM-Koordinatensystem zur Verfügung.
- ▶ Die Verwaltungsgrenzen liegen als Polygone im UTM-Koordinatensystem vor.
- ▶ Die Einwohnerdichten wurden als regelmäßiges quadratisches Raster im LAEA-Koordinatensystem übergeben. Das LAEA-System wird von INSPIRE als Austauschformat für rasterbasierte Daten mit europäischem Bezug vorgeschlagen. Das LAEA-System ist flächentreu und gültig für ganz Europa und hat durch die Festlegung des Zentroiden in Deutschland die geringste Verzerrung in Mitteleuropa.

In Deutschland wurde bis vor wenigen Jahren das Gauss-Krüger-Koordinatensystem verwendet. Im Zuge der Umstellung auf INSPIRE-konforme Datensätze wird im Allgemeinen auf UTM umgestellt. Das System LAEA findet bisher noch wenig Verwendung.

Da bei der vorliegenden Fragestellung hauptsächlich Rasterdaten zur Anwendung kommen und die Einwohnerdichten mit der höchsten Auflösung im LAEA-System vorliegen, wurde im Zuge der Bearbeitung festgelegt, dass die Gesamtbewertung der Exposition auf einem Raster im LAEA-System durchgeführt wird. Das UBA verwendet diese Projektion für die bundesweite PM₁₀-Expositionsschätzung.

Die Überführung der Datengrundlagen aus unterschiedlichen Koordinatensystemen in ein LAEA-Raster erfolgt nach einem einfachen Prinzip, das gewährleistet, dass in der Übertragung keine neuen Konzentrationswerte durch Wichtungen oder Interpolation erzeugt werden. Dabei werden die Mittelpunkte des Datensatz in einer höheren Auflösung mit den Flächen der gröberen Auflösung assoziiert, in denen sie liegen (Abbildung 1). Eine Wichtung über Flächenanteile bei Verschneidungen findet nicht statt. Bei der Überführung der Einwohnerdichten auf ein gröberes Raster entstehen keine Verzerrungen, wenn es sich, wie hier, um Vielfache der Auflösung 250*250 m² handeln, da die Einwohnerdaten im LAEA-System vorliegen.

Abbildung 1: RCG-Daten als Flächenwerte in einem geographischen Koordinatensystem in einem Beispielgebiet um Berlin (links); im kartesischen Koordinatensystem (LAEA) mit dargestelltem Raster in 1*1 km²-Auflösung (Mitte) und zusätzlich mit Mittelpunkten des kartesischen Rasters, für Gebietsausschnitte bei Berlin (rechts)



IVU Umwelt, April 2016

3 Methoden

3.1 Übersicht

Das Konzept aus der Machbarkeitsstudie (siehe auch Anlage in Abschnitt 9) wurde in dieser Pilotstudie für die Bundesländer Berlin und Brandenburg angewendet und die Ergebnisse verschiedener Methoden mit den Ergebnissen vorhandener Modellierungen in höheren räumlichen Auflösungen verglichen.

Das Ziel der Expositionsschätzung war es, in einer räumlichen Auflösung von $1 \times 1 \text{ km}^2$ Einwohnerdichten mit Belastungsniveaus des urbanen Hintergrunds zu verknüpfen, so dass für diese Rasterzellen Histogramme der Einwohner je PM_{10} -Belastungsniveaus und ein Indikator der mittleren PM_{10} -Belastung als gewichtetes Produkt aus Konzentration und Einwohner gebildet werden konnten. Zusätzlich wurden für die Expositionsschätzung die lokal auftretenden verkehrsbedingten hohen Belastungen segmentbezogen mit den rasterbasierten Einwohnerdichten verschnitten.

Als Referenzdaten liegen Grundlagen aus der Luftreinhalteplanung für den urbanen Hintergrund und für landesweite Detailbetrachtungen für Brandenburg und für Berlin vor.

Für die Exposition durch lokal auftretende verkehrsbedingte hohe PM_{10} -Belastungen wurde, entsprechend des Linienbezugs zu einer Straße, ein Verfahren zur segmentbezogenen Exposition (SBE) entwickelt und getestet, dass dann mit den rasterbezogenen Expositionsschätzungen verknüpft wurde.

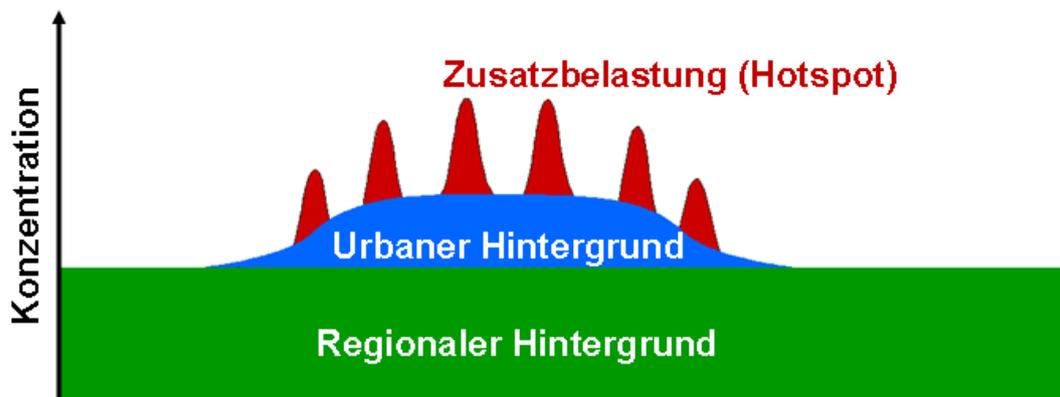
3.2 Verfeinerung des urbanen Hintergrunds

3.2.1 Ausgangssituation

Wie in Abschnitt 1 beschrieben, wurden zur PM_{10} -Expositionsschätzung bisher vom UBA Karten der flächendeckenden PM_{10} -Jahresmittelwerte für die Expositionsabschätzung benutzt, die mit dem RCG-Modell berechnet und an Messwerte assimiliert wurden. Ausgehend von der Auflösung des RCG-Modells von $7 \times 8 \text{ km}^2$ kann dieses Ergebnis als Regionaler Hintergrund interpretiert werden (Abbildung 2).

Auch wenn in den Modellrechnungen Emissionskataster in einer Auflösung von ca. $1 \times 2 \text{ km}^2$ eingehen (Abschnitt 2.3), ist in den Ergebnissen der urbane Beitrag im regionalen Hintergrund nur stark generalisiert enthalten. Eine räumliche Auflösung von ca. $7 \times 8 \text{ km}^2$ kann innerurbane Emissionsstrukturen nur eingeschränkt abbilden.

Abbildung 2: Schema der Zusammensetzung der städtischen Gesamtbelastung (Lenschow et al. 2001)



Ansätze für eine Verfeinerung von Modellergebnisse auf urbane Strukturen nutzen z. B. räumlich höher aufgelöste Daten zur Landnutzung (Janssen et. al 2008). Ein entsprechender Verfeinerungsansatz, der anstatt der Landnutzung ein hochaufgelöstes Emissionskataster verwendet, wurde hier getestet.

3.2.2 OI nur mit ländlichen Hintergrundstationen

Zur Prüfung bzw. Qualitätssicherung der Methodik einer Verfeinerung wurden die Messstationen mit lokalem Charakter im städtischen Hintergrund herangezogen. Bei der Assimilation der RCG-Modellwerte mit der Methode der Optimalen Interpolation (OI) wurden bisher alle Messwerte von Hintergrundmessstationen berücksichtigt, und damit auch Stationen im urbanen Hintergrund. Diese Stationen können damit nicht mehr für eine Qualitätssicherung dieses Datensatzes herangezogen werden.

Es wurde deshalb zusätzlich eine OI ohne Berücksichtigung der städtischen Hintergrundstationen durchgeführt. Damit können diese Stationen auch uneingeschränkt für einen Messwert-Modell-Vergleich benutzt werden (Abschnitt 4.3).

3.2.3 Berücksichtigung hoch aufgelöster Emissionskataster

Für eine Verfeinerung der PM₁₀-Belastung zur Berücksichtigung urbaner Strukturen wurde ein hoch aufgelöstes Emissionskataster verwendet. Grundsätzlich sind höher aufgelöste Emissionskataster unverzichtbar, wenn direkt mit Ausbreitungsmodellen eine höhere Auflösung erzielt werden soll.

Emissionskataster stellen aber auch eine Grundlage für eine Verfeinerung von gröber aufgelösten Modellergebnissen dar. Emissionskataster bilden nämlich räumliche Strukturen ab, die für eine Verfeinerung der flächenhaften Schadstoffkonzentrationen relevant sind, wie es z. B. in sogenannten Land-Use-Regression Verfahren oder bei Janssen (2008) mit Hilfe von Landnutzungsdaten geschieht. So berücksichtigen Emissionskataster implizit räumlich aufgelöste Informationen

- ▶ zu Aktivitätsdaten (Einwohner, Verkehr, Transport, Produktion, Erzeugung, Gewerbe, etc.) und
- ▶ zur räumlichen Verteilung (Nutzungs- und Siedlungsfläche, Verkehrsnetz, Gebäudevolumen, etc.).

Vom UBA wurden Rasterdaten für die PM₁₀-Emissionen aus GRETA in einem UTM basierten Raster in 1*1 km² Auflösung für ein rechteckiges Gebiet um Brandenburg und Berlin zur Verfügung gestellt (Abschnitt 2.3). Diese Emissionsstruktur sollte als Verfeinerung auf das RCG/OI-Raster in 7*8 km² Auflösung übertragen werden, um damit eine urbane Feinstruktur abzubilden.

Bei der Ableitung einer Feinstruktur auf Basis eines Emissionskatasters ist zu beachten, dass im Emissionskataster starke Einzelmittenten mit einer geringen räumlichen Ausdehnung auftreten können. Diese Dominanz von Einzelquellen, die um Größenordnungen höhere Emissionen gegenüber benachbarten Gebieten aufweisen können, finden sich im Allgemeinen aber in räumlichen Verteilungen der Luftschadstoffkonzentrationen nicht wieder.

Gerade die Hintergrundbelastung ist bei PM₁₀ durch einen hohen, räumlich nicht stark variierenden, Anteil geprägt (Bias). Eine Verfeinerung der Modellergebnisse auf Basis lokaler Emissionen kann deshalb nur für den vornehmlich lokal verursachten Teilbereich der Konzentration oberhalb des Bias angewendet werden.

Die Verfeinerung wurde nach dem folgenden Verfahren durchgeführt:

- a. Eine Verfeinerung der RCG-Modellergebnisse im 7*8 km² Gitter wurde für das 1*1 km² Raster durchgeführt.
- b. Die Verfeinerung wurde separat für jede Zelle der RCG/OI-Modellierung vorgenommen.
- c. Die Verfeinerung wurde nur für den urbanen Anteil oberhalb des Bias in der mit RCG/OI-Zelle angewendet und dazu festgelegt, dass die Erhöhung der RCG/OI-Modellwerte maximal 25 % betragen darf⁴.
- d. Zur Ermittlung der Struktur der Verfeinerung wurde für alle Rasterzellen des Emissionskatasters innerhalb einer RCG/OI-Zelle der mittlere Rang⁵ nach Höhe der PM₁₀-Emissionen gebildet.
- e. Der Mittelwert aller Teilzellen der Verfeinerung entspricht dem Wert der gröberen RCG/OI-Zelle.
- f. Die Verfeinerung der Konzentration für jede Gitterzelle (I_V) wurde dann mittels der folgenden linearen Funktion auf der Basis des Rangs (R), des maximalen Rangs (R_{max}), der maximalen Erhöhung ($P_{I_{max}}$) und des Modellwerts aus der RCG/OI-Zelle (I_{RCG}) errechnet:

$$I_V = I_{RCG} * \left[p_{I_{max}} - (1 - p_{I_{max}}) * \frac{2 * (R - 1)}{R_{max}} \right]$$

Die Abbildung 3 zeigt die Methode der Verfeinerung am Beispiel einer exemplarischen RCG/OI-Gitterzelle, die im oberen Bild mit einem fiktiven Konzentrationswert von 100 dargestellt ist.

Darunter ist für die 7*8 = 56 Gitterzellen, die innerhalb der RCG/OI-Gitterzelle liegen, ein Beispiel für eine Emissionsverteilung in Anteilen an der Emissionssumme aller 56 Gitterzellen angegeben.

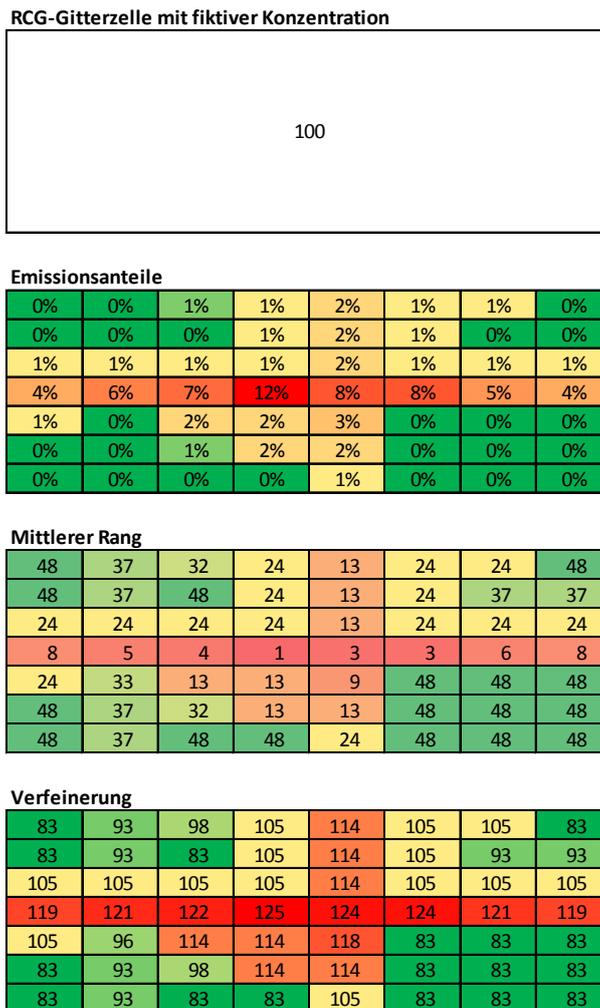
⁴ Die Festlegung auf eine maximale Erhöhung von 25 % leitet sich aus den PM₁₀-Jahresmittelwerten in den einzelnen Belastungsregimen, wie sie in Abbildung 4 dargestellt sind, ab. Geht man davon aus, dass die grobe RCG/OI-Modellwerte ohne Berücksichtigung der städtischen Messstationen in der OI großräumige Strukturen und damit den ländlichen Hintergrund repräsentiert und die Verfeinerung die Konzentrationserhöhungen auf Grund städtischer Strukturen abbildet, so liegt, nach den Messdaten für 2014, das städtische Niveau gerundet 25 % über dem ländlichen Hintergrund.

⁵ Bei ranggleichen Emissionsanteilen wird das arithmetische Mittel der auf sie fallenden Ränge zugeordnet.

In der folgenden Darstellung ist der Rang Emissionsanteile innerhalb der 56 Zellen angegeben. Der Rang 1 wird für die Zelle mit dem höchsten Anteil gesetzt (im Beispiel Emissionsanteil 12 %). Bei den weiteren Rang-Werten wird bei gleichen Emissionsanteilen in mehreren Zellen der mittlere Rang ausgegeben. Der Vorteil der Verwendung einer Rangverteilung gegenüber einer direkten Übertragung der Emissionsanteile liegt darin, dass isolierte hohe Emissionsanteile die Verfeinerung nicht dominieren.

Das untere Bild zeigt das Ergebnis der Verfeinerung des Konzentrationswerts aus der RCG/OI-Zelle.

Abbildung 3: Skizze des Verfahrens zur Verfeinerung der RCG/OI-Modellwerte mit Daten aus dem GRETA-Emissionskataster

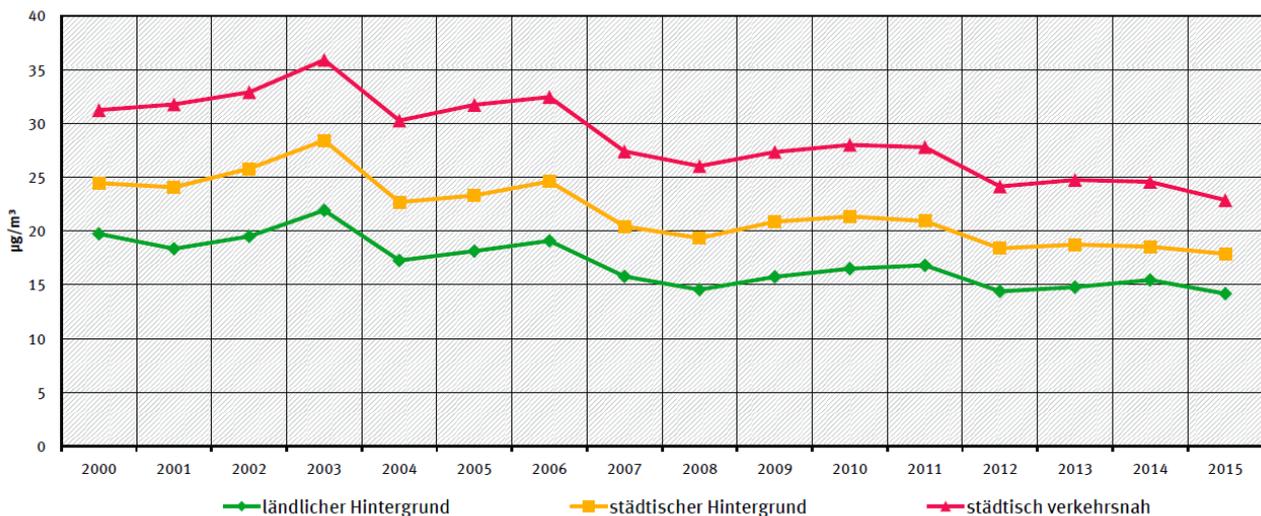


3.3 Expositionsschätzung unter Berücksichtigung verkehrsbedingter Belastung in Hotspots

3.3.1 Ausgangssituation

Die höchsten PM₁₀-Belastungen werden in Deutschland an verkehrsnahen Messstationen ermittelt. So liegt nach den vom UBA für 2013 veröffentlichten Messwerten (UBA 2016) der Mittelwert der verkehrsnahen Messstationen bei 25 µg/m³ und für städtische Hintergrundstationen bei 19 µg/m³ (Abbildung 4).

Abbildung 4: Entwicklung der PM₁₀-Jahresmittelwerte im Belastungsregime über den Zeitraum 2000 bis 2015 (UBA 2016)



* Ausgewählt wurden diejenigen Stationen, die über einen längeren Zeitraum hinweg gemessen haben. Beispiel: Im städtisch verkehrsnahen Bereich muss eine Station in mindestens 9 Jahren NO₂ gemessen haben, damit die Daten in die Berechnung einfließen.

Quelle: Umweltbundesamt 2016

Die hohen Konzentrationen an verkehrsbezogenen Stationen werden durch eine hohe Emissionsbelastung durch den lokalen Kfz-Verkehr und durch ungünstige Ausbreitungsbedingungen in eng bebauten Straßenräumen verursacht.

Die räumliche Variation der Konzentrationsverhältnisse in einer Stadt durch sich ändernde Randbebauungsstruktur macht es schwierig, die Repräsentativität von Messungen zu beurteilen und die Ergebnisse zu verallgemeinern.

Im z. Zt. laufenden UFOPLAN-Vorhaben des Umweltbundesamtes „Urbane Hintergrundbelastung von PM₁₀ und NO₂: Metriken und Maßnahmen zur Minderung“ (FKZ 3715512000) wird gegenwärtig untersucht, wie die Beurteilung der Luftqualität auf Gebietsmitteln anstatt auf Punktmessungen basiert werden kann. Schwerpunkt der Betrachtung ist dabei der urbane Raum.

In der Machbarkeitsstudie (IVU Umwelt 2014a) wird ausgeführt, dass zur Beurteilung stadtweiter verkehrsbedingter Belastungen im Rahmen der Luftreinhalteplanung sehr häufig die Methode des Screenings zum Einsatz kommt. Das Screening liefert einen repräsentativen Konzentrationswert für Straßenabschnitte mit möglichst homogener Randbebauung und homogenen Emissionsverhältnissen. Damit stellt das Screening eine weit verbreitete Datengrundlage zur gebietsweisen Abschätzung der Exposition unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags dar.

3.3.2 Segmentbasierte Expositionsschätzung (SBE)

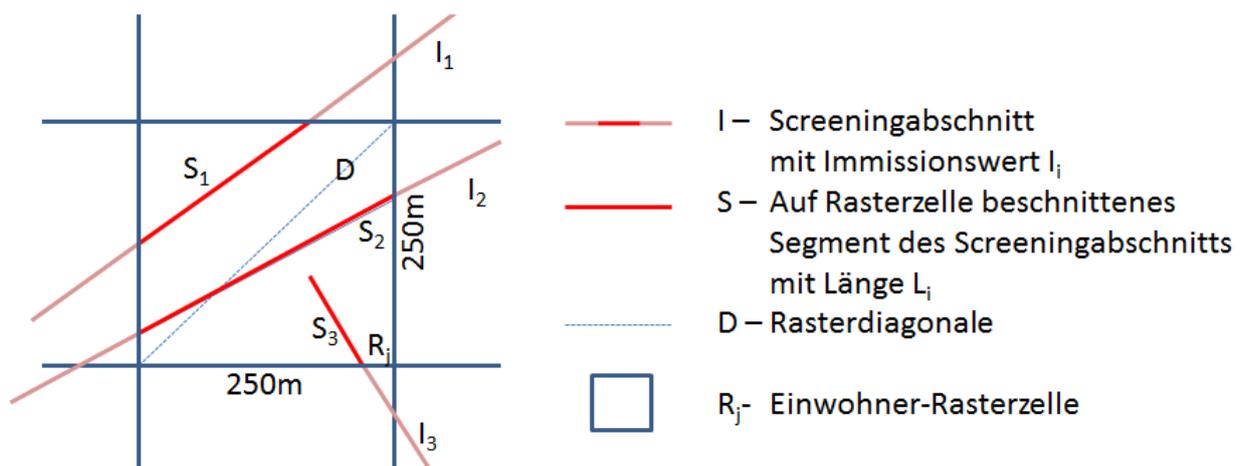
Die Luftschadstoffkonzentrationen aus dem Screening-Verfahren liegen für Straßenabschnitte eines Hauptstraßennetzes mit vorhandener Randbebauung vor. Zur Berücksichtigung dieser abschnittsbezogenen Konzentrationen in der Expositionsschätzung wurde von folgenden Überlegungen ausgegangen:

- ▶ Die Luftschadstoffbelastung, und damit die bevölkerungsbezogene Exposition, soll hier nur auf Basis der Umgebungsluft außerhalb geschlossener Räume bestimmt werden.
- ▶ Anders als beim Lärm, bei dem die Betroffenheit an Belastungswerten an der Fassade ermittelt wird, werden bei der Luftschadstoffbelastung Orte in der Umgebungsluft beurteilt, an denen sich Menschen häufig aufhalten.

Es besteht die Aufgabe, die segmentbezogenen PM₁₀-Konzentrationswerte aus dem Screening mit im Raster vorliegenden Einwohnerdaten zu verschneiden. Da in einer Rasterzelle mehrere Segmente von Screeningabschnitten mit unterschiedlichen Konzentrationswerten liegen können, sollen diesen Segmenten entsprechende Einwohnerzahlen zugeordnet werden. Um dabei eine möglichst hohe Genauigkeit bezogen auf die Einwohner zu erhalten, wurde die Zuordnung direkt auf der Basis der EWZ-Daten im 250*250 m² Raster durchgeführt und nicht die daraus auf 1*1 km² aggregierten Werte verwendet.

Folgendes Verfahren zur segmentbasierten Expositionsschätzung (SBE) wurde durchgeführt (siehe Abbildung 5). Die Abschnitte der Screeningberechnung (I_i) werden mit dem 250*250 m² Raster der Einwohnerdaten zu Segmenten (S_i) beschnitten, so dass diese Segmente vollständig in der Rasterzelle liegen. Für jedes Segment S_i wird dann dessen Länge L_i bestimmt. In Abhängigkeit der Summe der Länge aller Segmente ($\sum L_i$) in einer Rasterzelle R_j wird der Anteil der Einwohner dieser Rasterzelle bestimmt, der den Segmenten zugeordnet wird. Ab einem definierten Schwellwert von $\sum L_i$ werden alle Einwohner als Betroffene von direkt verkehrsbedingten Belastungen auf die Segmente verteilt. Die Verteilung des Anteils von verkehrsbedingten Belastungen betroffener Einwohner der Rasterzelle R_j auf die einzelnen Segmente S_i erfolgt entsprechend ihrem jeweiligen Anteil an $\sum L_i$.

Abbildung 5: Schema der Zuordnung der rasterbasierten Einwohnerdaten auf die Screeningabschnitte und damit zu den segmentbezogenen PM₁₀-Konzentrationen



Zur Festlegung des Längenschwellwerts wurden vier Varianten untersucht. In der ersten Variante LS1 wurde als Längenschwellwert (LS) die Länge der Diagonale (D) in der 250*250 m²-Rasterzelle,

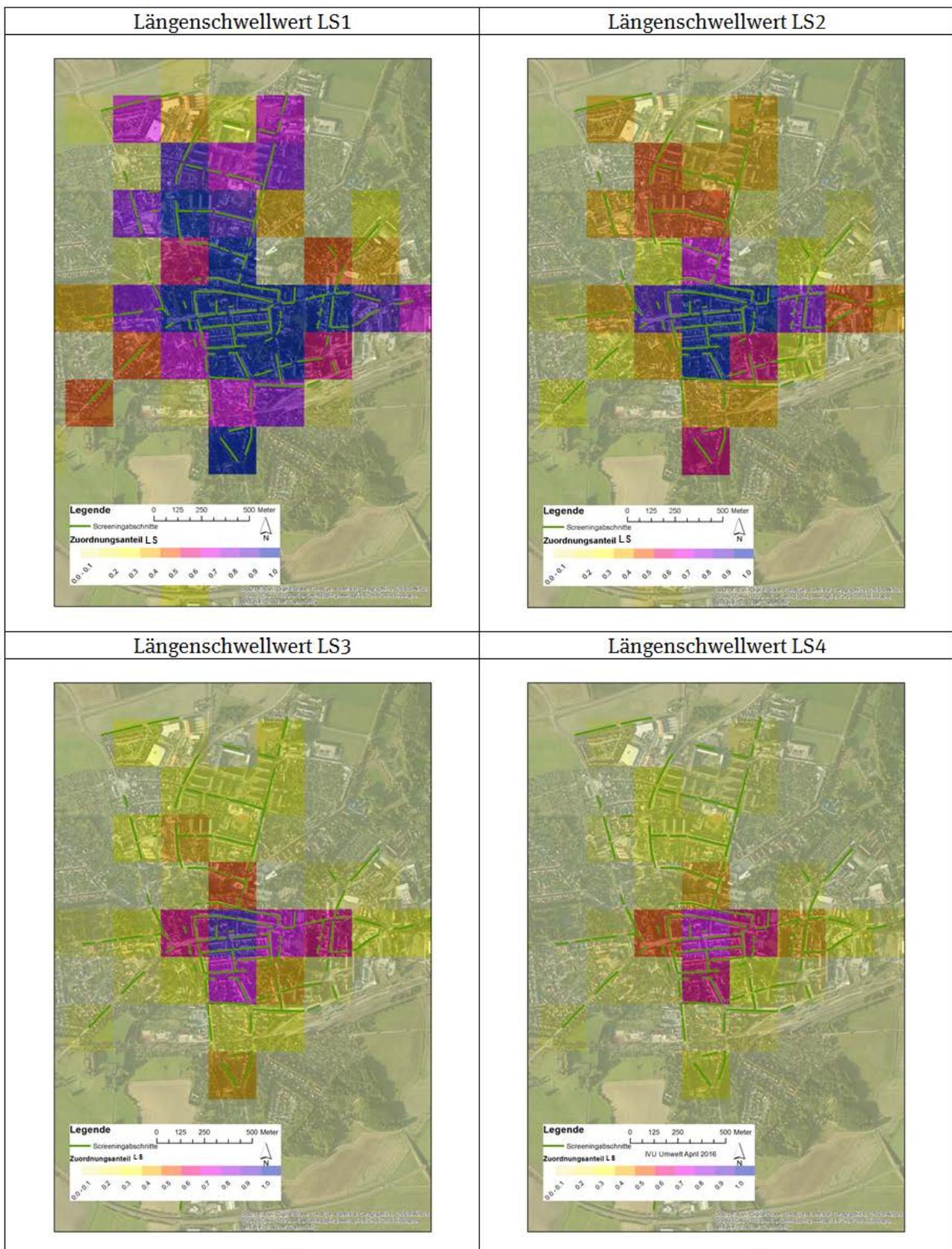
gerundet 354 m, verwendet. In den weiteren Varianten LS2 bis LS4 wurde jeweils die zwei-, drei- und vierfache Länge der Diagonale als Längenschwellwert gesetzt.

Die dem Segment S_n zugeordneten Einwohner EWS_n ergeben sich somit gemäß der folgenden Formel:

$$EWZ_{S_i} = L_i / \sum_i L_i * \begin{cases} EWZ_{R_j} \text{ wenn } \sum_i L_i > LS \\ \sum_i L_i / LS * EWZ_{R_j} \text{ wenn } \sum_i L_i \leq LS \end{cases}$$

Für ein Beispielgebiet sind in Abbildung 6 die errechneten Anteilswerte der Zuordnung der Einwohner auf die Segmente der Screeningabschnitte innerhalb der Zelle für die vier Varianten der Längenschwellwerte dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, wie mit höheren Schwellwerten der Anteil der den Segmenten zugeordneten Einwohnern abnimmt. Für die Festlegung wird in Abschnitt 5.1 untersucht, bei welchen Längenschwellwerten eine gute Übereinstimmung mit den Werten der Luftreinhalteplanung in Berlin und Brandenburg erzielt wird.

Abbildung 6: Anteile der Einwohner einer Rasterzelle in 250*250 m²-Auflösung, die den in der Zelle liegenden Segmenten der Screeningabschnitten zugeordnet werden, für vier verschiedene Längenschwellwerte (LS1 – LS4) an einem Beispiel



3.3.3 Schätzung aus der Lärmkartierung

In der Machbarkeitsstudie werden drei Wege aufgezeigt, mit denen man aus Informationen der Lärmkartierung die Expositionsschätzung in Hotspots verbessern kann.

Optimal wäre dabei die Bereitstellung der Eingangsdaten zur Lärmkartierung, die im Allgemeinen eine sehr gute Grundlage bieten, um Screeningberechnungen zur Luftschadstoffbelastung durchführen zu können. Mit lagegenauen Straßennetzen mit Verkehrsbelastungsdaten und 3D-Gebäudedaten entlang der Straßen sind sehr wichtige, und i. d. R. aufwendig zu erhebende, Grundlagen bereits vorhanden, die sich mit überschaubarem Aufwand mit den für das Screening zusätzlich erforderlichen Attributen ergänzen lassen. In den beiden Modellgebieten dieser Pilotstudie liegen der Lärmkartierung und der Modellierung im Rahmen der Luftreinhalteplanung dieselben Datengrundlagen zum Kfz-Verkehr und zur Gebäudegeometrie zu Grunde.

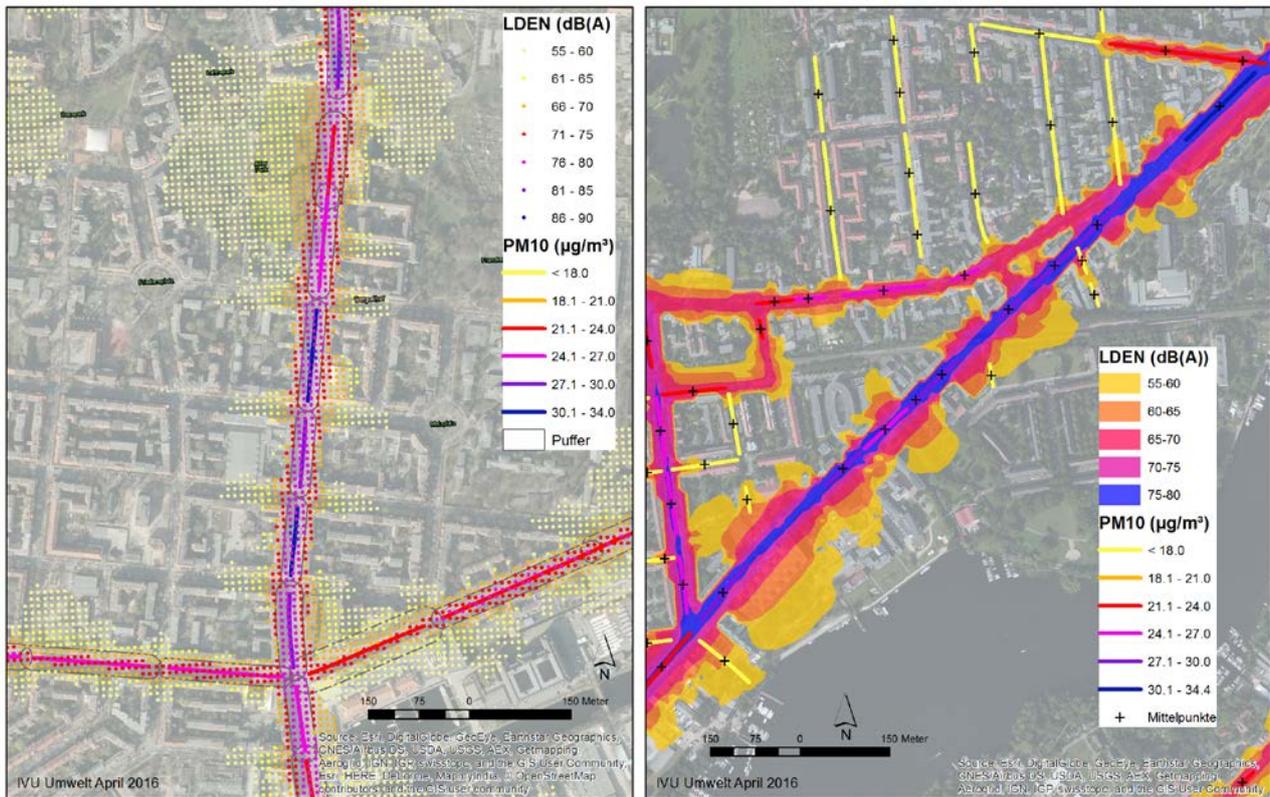
Die zwei weiteren Möglichkeiten bestehen darin, entweder aus den Ergebnissen der Lärmkartierungen Eingangsdaten für ein Screeningverfahren abzuleiten oder zu versuchen, einen direkten Zusammenhang zwischen der Lärmbelastung und der Luftschadstoffbelastung anzugeben.

Die Lärmkartierung gemäß der EU-Richtlinie 2002/49/EG (EU 2002) liefert als ein Ergebnis Isophonen des L_{DEN} in Belastungsklassen von 5 dB(A). Dabei muss berücksichtigt werden, dass eine Veränderung des L_{DEN} um 3 dB(A) mit einer Verdopplung bzw. Halbierung der Kfz-Verkehrsstärke verbunden ist, und damit innerhalb einer Lärmbelastungsklasse eine Variation von mehr als einem Faktor 2 der Verkehrsbelastung liegen kann, der sich auf die Luftschadstoffzusatzbelastung quasi linear auswirkt.

Für eine Ableitung von Eingangsdaten für Screeningberechnungen aus den Ergebnissen der Lärmkartierung müsste ein Verfahren zur Rückrechnung der verkehrlichen und geometrischen Eingangsdaten entwickelt werden. Die Entwicklung eines solchen Verfahrens stellt eine große Herausforderung dar, und dabei muss damit gerechnet werden, dass sich kein geeignetes Verfahren finden lässt. Selbst ein optimales Rückrechnungsverfahren ist aber gegenüber einer direkten Verwendung von Eingangsdaten immer mit einem Informationsverlust verbunden.

Um zu prüfen, ob ein Zusammenhang zwischen den Ergebnissen der Lärmkartierung und den abschnittsbezogenen PM_{10} -Belastungen besteht, wurden die Datensätze über eine räumliche Beziehung verbunden, wie es in Abbildung 7 beispielhaft für Berlin und Brandenburg gezeigt wird. Um eine möglichst hohe Genauigkeit zu erreichen, wurde in Berlin die, zusätzlich zu den Isophonen vorliegenden, Lärmbelastungswerte in einem Raster mit $10 \times 10 \text{ m}^2$ Auflösung in 1 dB(A)-Klassen verwendet und um jeden Screeningabschnitt ein Puffer mit dem Bebauungsabstand aus den Screeningverfahren gebildet und der Mittelwert aller Rasterwerte der Lärmbelastung innerhalb dieses Puffers dem Abschnitt zugeordnet. In Brandenburg wurde für jeden Screeningabschnitt bestimmt, in welcher Fläche zwischen den Isophonen der Mittelpunkt des Abschnitts liegt. Dem Abschnitt wurde dann die obere Belastungsgrenze des L_{DEN} -Wertes zugeordnet.

Abbildung 7: Beispiel für die Zuordnung der Lärmbelastungswerte zu den Screeningabschnitten (links für Berlin, rechts für Brandenburg)



Da die Lärmbelastung durch den Kfz-Verkehr vornehmlich durch den lokalen Straßenverkehr bestimmt wird, müssen die Lärmbelastungswerte mit der PM₁₀-Zusatzbelastung verglichen werden. Dieser Vergleich ist für Berlin in Abbildung 8 und für Brandenburg in Abbildung 9 dargestellt. Während mit der Zuordnung in Brandenburg die 5 dB(A)-Klassenbildung bei den Lärmindezes erhalten bleibt, wird durch die Mittelwertbildung über mehrere Rasterpunkte in Berlin die Klassifizierung der 1 dB(A)-Schritte aufgebrochen.

Aus den Vergleichen wird deutlich, dass kein einfacher direkter Zusammenhang zwischen Lärm und PM₁₀-Zusatzbelastung offenbar besteht und insbesondere sehr hohe Lärmbelastungen auch mit geringen PM₁₀-Zusatzbelastungen einhergehen können und umgekehrt. Als Gründe dafür kommen die unterschiedlichen Ausbreitungsmechanismen und Beurteilungsmaßstäbe in Betracht.

Bevor man weitere Möglichkeiten der Ableitung von PM₁₀-Belastungswerten aus den Ergebnissen der Lärmkartierung untersucht, sollte man klären, inwieweit die Eingangsdaten aus der Lärmkartierung aus allen Bundesländern in einem kompatiblen Datenformat zur Verfügung stehen oder zukünftig stehen könnten, um damit direkt Luftschadstoffscreenings durchzuführen.

Abbildung 8: Vergleich von Lärmbelastungsindizes mit der Zusatzbelastung von PM₁₀-Hotspotbelastungen für Berlin

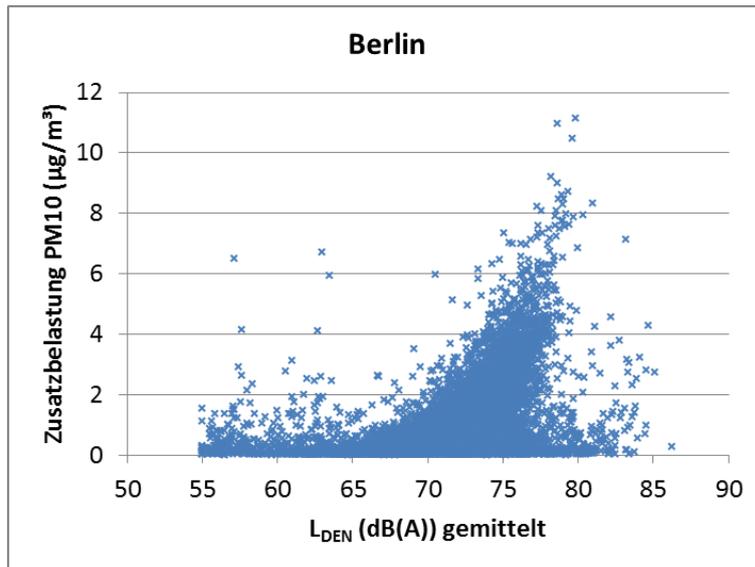
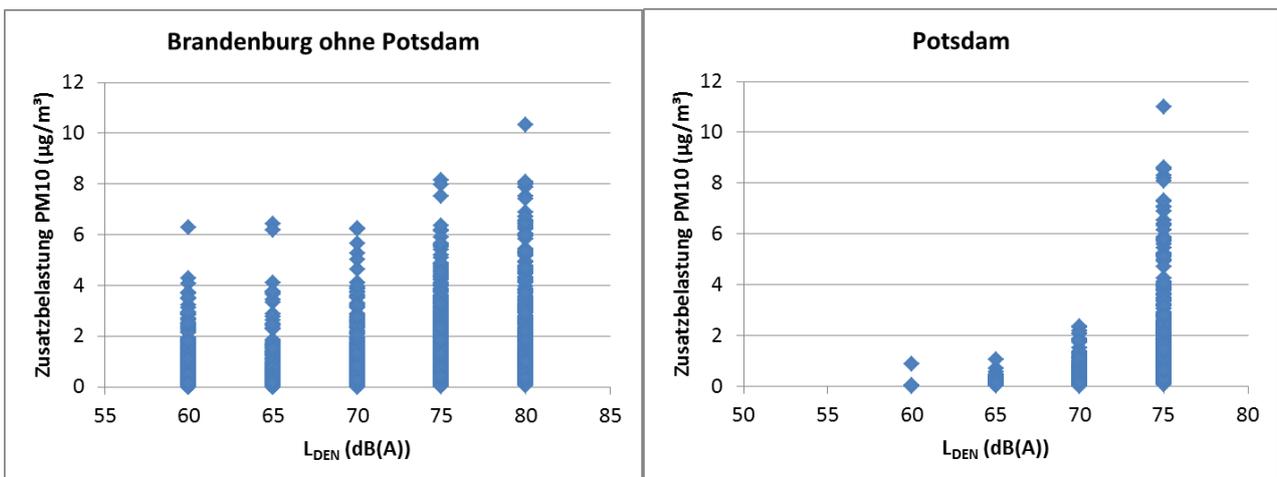


Abbildung 9: Vergleich von Lärmbelastungsindizes mit der Zusatzbelastung von PM₁₀-Hotspotbelastungen in Brandenburg



4 Ergebnisse der Verfeinerung des urbanen Hintergrunds

4.1 Übersicht

Wie in den vorhergehenden Abschnitten beschrieben, liegen vier verschiedene Varianten einer Bestimmung des urbanen Hintergrunds für die PM_{10} -Konzentrationsverteilung in Berlin und Brandenburg vor, die in Abbildung 10 dargestellt sind:

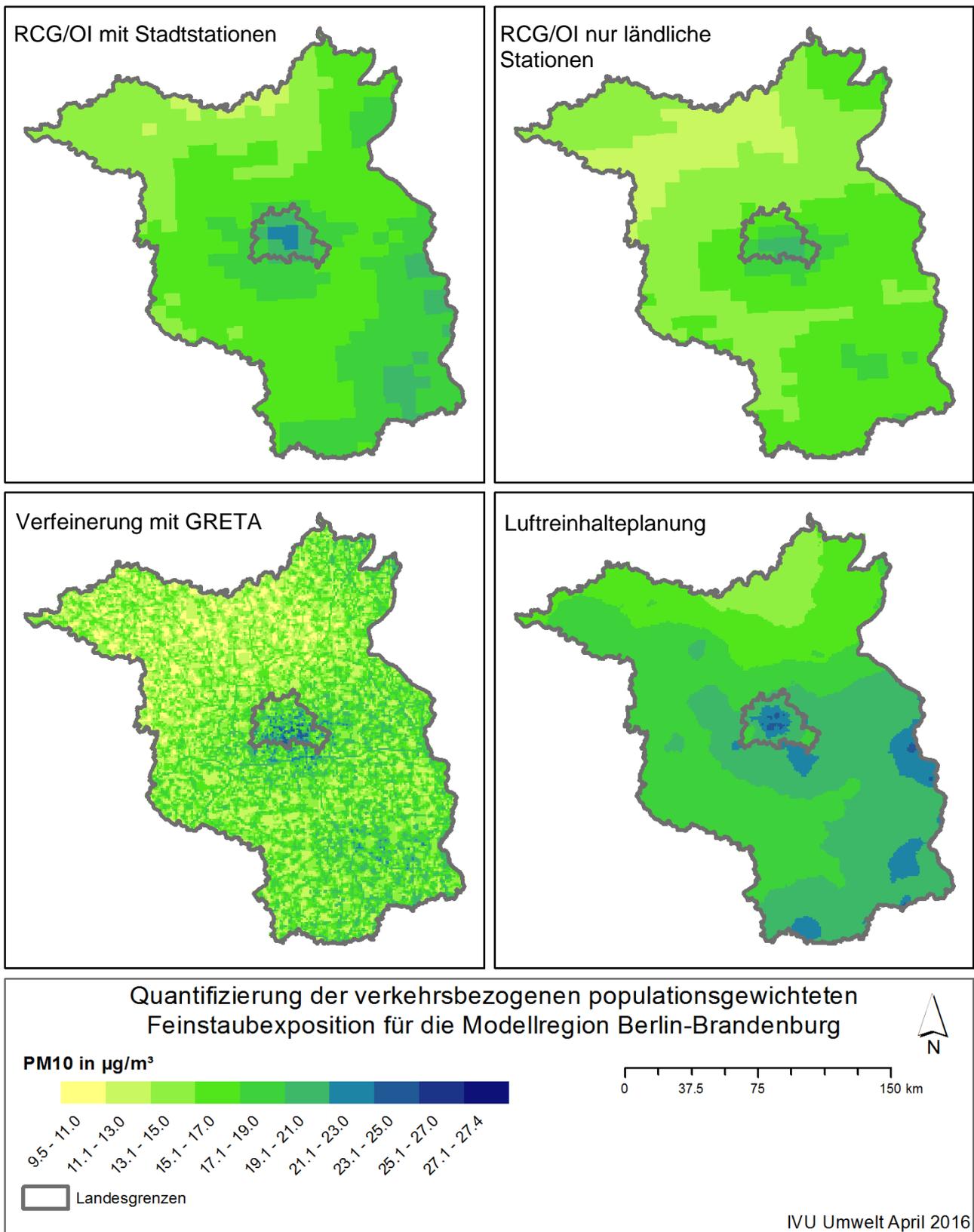
- a) RCG/OI unter Berücksichtigung aller Messstationen im ländlichen und städtischen Hintergrund in einer Auflösung von ca. $7 \times 8 \text{ km}^2$ (links oben)
- b) RCG/OI unter Berücksichtigung der Messstationen im ländlichen Hintergrund in einer Auflösung von ca. $7 \times 8 \text{ km}^2$ (rechts oben)
- c) Verfeinerung der RCG/OI-Ergebnisse aus b) mit einem Wichtungsansatz auf Basis des hochauflösenden Emissionskatasters GRETA in einer Auflösung von $1 \times 1 \text{ km}^2$ (links unten)
- d) Urbane Vorbelastung aus der Luftreinhalteplanung gemäß Abschnitt 2.4.1 für Berlin in einer Auflösung von $500 \times 500 \text{ m}^2$ und Abschnitt 2.4.2 für Brandenburg in einer Auflösung von ca. $1 \times 1 \text{ km}^2$ in einer Karte dargestellt (rechts unten)

In der Abbildung 10 sind in den oberen Karten die beiden RCG/OI-Verfahren dargestellt. Deutlich ist in der Karte oben links der Einfluss der städtischen Messstationen in der OI zu erkennen, welche in der OI-Auswertung der Karte oben rechts nicht berücksichtigt wurden.

Die Verfeinerung mit Hilfe der hochaufgelösten GRETA-Emissionsstruktur auf Basis der RCG/OI-Daten ohne städtische Hintergrundstationen (unten links) führt zu einer stark ausgebildeten Feinstruktur. In dieser Feinstruktur werden z. B. Siedlungsstrukturen und auch Verkehrswege deutlich sichtbar.

Die Konzentrationsverteilung der Referenzdaten aus der Luftreinhalteplanung (unten rechts) ist auf Grund der höheren Modellauflösung gegenüber den RCG/OI-Daten geglättet und gleichzeitig mit mehr Feinstruktur behaftet. Im Vergleich zur Verfeinerung mit den GRETA-Daten treten Feinstrukturen nicht so deutlich in den Vordergrund. Darin spiegelt sich die Verfrachtung (Transmission) der Emissionen durch die sich im Laufe eines Jahres stark variierenden, meteorologischen Bedingungen wider.

Abbildung 10: Vergleich der Methoden für den urbanen Hintergrund



4.2 Vergleich mit Referenzdaten

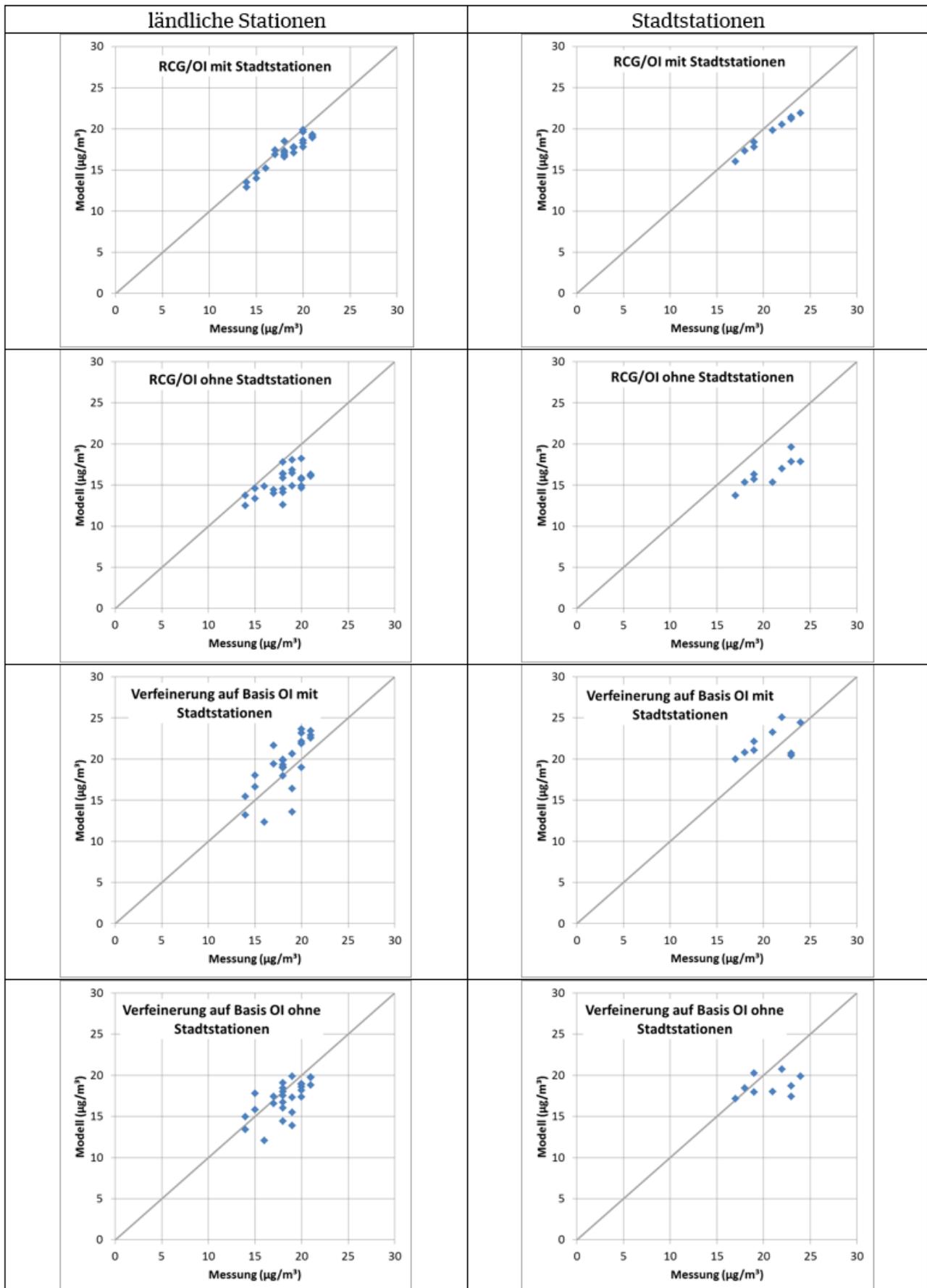
Ein Vergleich der Modelldaten für den urbanen Hintergrund mit Hintergrundmessdaten 2013 ist in Form von Scatterplots in Abbildung 11 dargestellt. Dabei ist in der linken Spalte der Vergleich mit den Messungen der ländlichen und rechts mit denen der städtischen Hintergrundstationen aufgeführt.

Wie erwartet, ist die Übereinstimmung zwischen Messungen und Modellrechnungen am besten, wenn alle Messstationen in der Assimilation mit der OI berücksichtigt werden, wie es in der ersten Zeile für die Modellvariation „RCG/OI mit Stadtstationen“ der Fall ist. Eine Nichtberücksichtigung der städtischen Hintergrundstationen in der OI („RCG/OI ohne Stadtstationen“, dargestellt in der 2. Zeile) führt sowohl bei den ländlichen wie auch bei den städtischen Hintergrundstationen zu einer tendenziellen Unterschätzung der Messungen durch das Verfahren.

Wendet man das Verfeinerungsverfahren auf Basis des hochauflösenden Emissionskatasters GRETA auf die beiden OI-Verfahren an (3. Zeile für „RCG/OI mit Stadtstationen“; 4. Zeile für „RCG/OI ohne Stadtstationen“), so liegen die Datenpunkte bei den nicht-städtischen Hintergrundstationen gestreut um die Winkelhalbierende. Wie zu erwarten, führt auch das Verfeinerungsverfahren zu höheren Modellwerten, wenn das Verfahren auf die OI-Ergebnissen mit allen Stationen angewendet wird.

Insbesondere führt aber das Verfeinerungsverfahren auf Basis der RCG/OI-Ergebnisse ohne Berücksichtigung der städtischen Hintergrundstationen in der OI (rechts unten) zu einer Verbesserung des modellierten Belastungsniveaus im Vergleich zu den entsprechenden OI-Ergebnissen (2. Zeile, rechte Spalte) an den städtischen Hintergrundstationen, allerdings bei zunehmender Streuung der Daten.

Abbildung 11: Vergleich der modellierten mit den gemessenen PM₁₀-Jahresmittelwerten



4.3 Vergleich der Expositionsschätzung

Im Folgenden wird untersucht, welchen Einfluss die verschiedenen Methoden zur Bestimmung der urbanen Vorbelastung auf die Expositionsschätzung haben. In Tabelle 1 und in

Abbildung 12 ist die Anzahl der Einwohner in den jeweiligen PM₁₀-Konzentrationsklassen in Schritten⁶ von 1 µg/m³ für Berlin und in Tabelle 2 und in

Abbildung 13 für Brandenburg dargestellt. In Tabelle 1 und in Tabelle 2 ist zwischen der PM₁₀-Klasse 20 µg/m³ und 21 µg/m³ eine schwarze Linie zur Kennzeichnung des WHO-Richtwerts und zusätzlich am Ende der bevölkerungsbezogene Belastungsindikator als Summe der Produkte aus PM₁₀-Klasse und Einwohner, normiert mit der Summe aller Einwohner, aufgeführt.

Die Nichtberücksichtigung der städtischen Hintergrundstationen bei der OI (RCG/OI NOURB) verschiebt die Einwohnerverteilung in Berlin um 2 µg/m³ zu niedrigeren PM₁₀-Werten gegenüber der OI mit allen Hintergrundstationen (RCG/OI GES). In den RCG/OI-Daten dominieren einzelne PM₁₀-Klassen, bei RCG/OI NOURB die Indexklasse 18 µg/m³ und bei RCG/OI GES die Indexklassen 20 µg/m³ und 21 µg/m³.

Die Verfeinerung mit den GRETA-Emissionsdaten weitet die Verteilung der Modellgrundlage RCG/OI NOURB auf Grund des verwendeten Verfahrens deutlich auf. So werden Konzentrationsniveaus unter dem Minimum der RCG/OI-Daten in Höhe von 15 µg/m³ und über dem Maximum der Vorbelastung aus der Luftreinhalteplanung (VB LRP Berlin) in Höhe von 25 µg/m³ mit Einwohnern belegt.

Die Vorbelastungsdaten aus der Luftreinhalteplanung (VB LRP Berlin) liefert im Vergleich zu den RCG/OI GES-Daten eine Verteilung mit höheren Konzentrationen. So werden über 1 Million Einwohner den PM₁₀-Indexklassen zugeordnet, die über dem Maximum der PM₁₀-Konzentration aus den RCG-Daten liegen. Auch wenn die Klasse 25 µg/m³ nicht belegt ist, so führen die Daten aus der Luftreinhalteplanung zu deutlich mehr Betroffenen in den hohen Belastungsklassen als in der Verfeinerung mit GRETA.

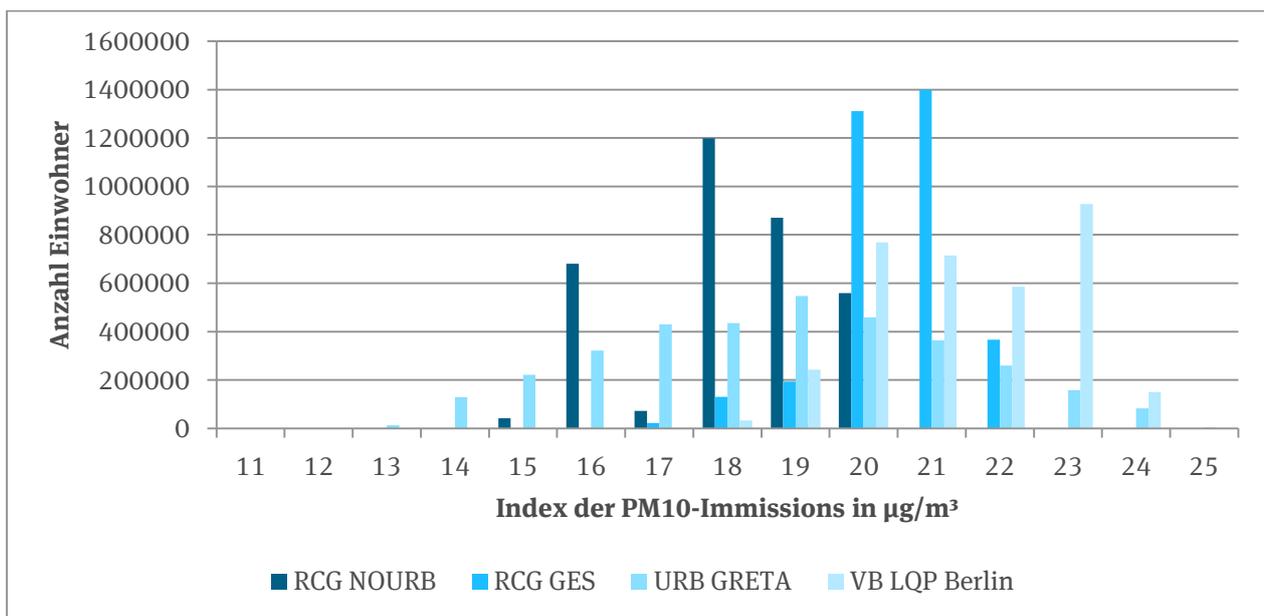
Vergleicht man den bevölkerungsbezogenen Belastungsindikator für die verschiedenen Verfahren, so liegt mit den Daten der Luftreinhalteplanung Berlin der Indikator mit 21.4 µg/m³ gegenüber den bisher verwendeten RCG/OI GES-Daten mit 20.5 µg/m³ um 0.9 µg/m³ höher. Die Verfeinerungsmethode mit GRETA erhöht zwar den Indikator der Ausgangsdaten RCG/OI NOURB von 18.1 µg/m³ um 0.7 µg/m³ auf 18.8 µg/m³, bleibt damit aber mit 2.6 µg/m³ deutlich unter dem Wert aus der Luftreinhalteplanung.

⁶ Die Klassen in 1 µg/m³-Schritten werden mittels einer Rundung der Konzentrationswerte aus den Modellen auf ganze Zahlen gebildet.

Tabelle 1: Anzahl der Einwohner in den Konzentrationsklassen der PM₁₀-Belastung und bevölkerungsbezogener Belastungsindikator für die verschiedenen Verfahren der Ermittlung des urbanen Hintergrunds in Berlin

PM ₁₀ -Klasse in µg/m ³	Anzahl betroffene Einwohner in Berlin			
	RCG/OI NOURB	RCG/OI GES	URB GRETA	VB LRP Berlin
11			36	
12			902	
13			12 607	
14			129 034	
15	41 250		220 941	
16	680 753		321 752	
17	71 771	21 639	430 131	
18	1 199 426	130 768	434 497	32 594
19	870 625	193 792	547 571	242 515
20 (WHO-Richtwert)	558 578	1 311 183	458 120	769 062
21		1 398 945	363 658	714 914
22		366 076	259 046	585 381
23			157 833	927 668
24			82 401	150 269
25			3 874	
Indikator	18.1	20.5	18.8	21.4

Abbildung 12: Histogramm der Einwohner für Berlin je PM₁₀-Indikator unter Berücksichtigung der Verfahren für den urbanen Hintergrund



Im Land Brandenburg liegt das Belastungsniveau im Mittel erwartungsgemäß niedriger als in Berlin. Eine Nichtberücksichtigung der städtischen Hintergrundstationen bei der OI (RCG/OI NOURB) verschiebt die Einwohnerverteilung in Brandenburg gegenüber der OI mit allen Hintergrundstationen (RCG/OI GES) weniger als in Berlin. Die in Berlin auftretende Dominanz einzelner PM₁₀-Klassen ist in Brandenburg nicht festzustellen.

Die Verfeinerung mit den GRETA-Emissionsdaten weitet die Verteilung der Modellgrundlage RCG/OI NOURB im Vergleich zu Berlin in geringerer Stärke auf und das Maximum aus der Luftreinhalteplanung Brandenburg (VB LRP BBG) wird nicht erreicht.

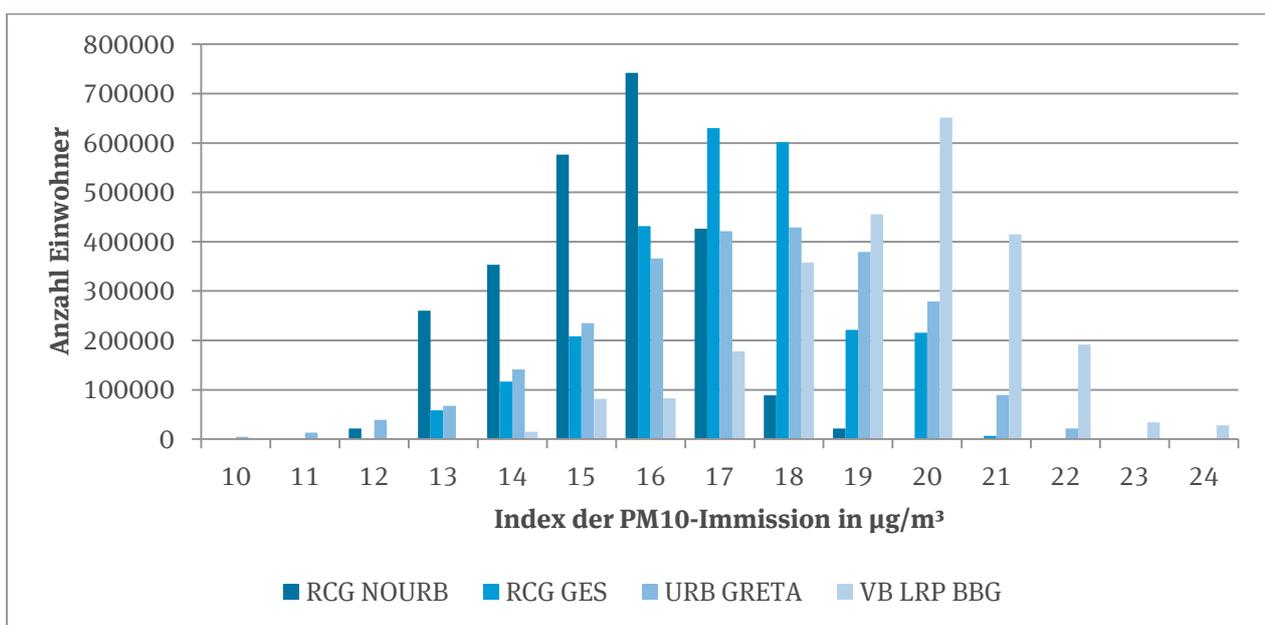
Die Vorbelastungsdaten aus der Luftreinhalteplanung Brandenburg (VB LRP BBG) liefern, wie in Berlin, eine Verteilung mit im Vergleich zu den RCG/OI GES-Daten höheren Konzentrationen. So werden über 250 000 Einwohner den PM₁₀-Indexklassen zugeordnet, die über dem Maximum der PM₁₀-Konzentration aus den bisher verwendeten RCG/OI-Daten liegen.

Vergleicht man den bevölkerungsbezogenen Belastungsindikator für die verschiedenen Verfahren, so wird mit den Daten aus der Luftreinhalteplanung Brandenburg eine im Vergleich zu Berlin deutliche Erhöhung des Indikators gegenüber den bisher verwendeten RCG/OI-GES Daten um 2.3 µg/m³ erreicht. Die Verfeinerungsmethode mit GRETA erhöht zwar den Indikator der Ausgangsdaten RCG/OI NOURB auch deutlich um 1.9 µg/m³, reicht damit aber ebenfalls mit einem um 2.3 µg/m³ niedrigeren Wert nicht an den Indikator aus der Luftreinhalteplanung Brandenburg heran.

Tabelle 2: Anzahl der Einwohner in den Konzentrationsklassen der PM₁₀-Belastung und bevölkerungsbezogener Belastungsindikator für die verschiedenen Verfahren der Ermittlung des urbanen Hintergrunds im Land Brandenburg

PM ₁₀ -Klasse in µg/m ³	Anzahl betroffene Einwohner im Land Brandenburg			
	RCG/OI NOURB	RCG/OI GES	URB GRETA	VB LRP BBG
10			4 880	
11			13 207	
12	21 454	331	38 789	
13	259 908	58 070	67 049	
14	353 123	116 589	140 760	14 785
15	576 481	208 592	234 639	81 852
16	742 287	431 271	366 249	82 561
17	426 507	630 065	421 130	178 031
18	88 752	601 481	428 958	357 839
19	21 551	221 598	379 006	455 410
20 (WHO-Richtwert)		215 403	278 744	651 532
21		6 663	89 236	414 895
22			21 242	191 672
23			314	33 542
24				27 944
Indikator	15.4	17.1	17.3	19.4

Abbildung 13: Histogramm der Einwohner für Brandenburg je PM₁₀-Indikator unter Berücksichtigung der Verfahren für den urbanen Hintergrund



5 Ergebnis der Schätzung unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags

5.1 Auswahl der Betroffenzuordnung für das SBE-Verfahren

Wie in Abschnitt 3.3 beschrieben, erfolgt die Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags in der Expositionsschätzung auf der Basis von abschnittsbezogenen Screeningergebnissen mit dem Verfahren der segmentbasierten Expositionsschätzung (SBE). Dazu muss gemäß Abschnitt 3.3.2 ein Längenschwellwert festgelegt werden, um eine Zuordnung von abschnittsbezogenen PM₁₀-Belastungen und betroffenen Einwohner herzustellen.

Dazu wurden die in Abschnitt 3.3.2 beschriebenen vier Varianten des Längenschwellwerts (L) hinsichtlich der erzielten Betroffenzahlen ausgewertet und mit vorliegenden Daten aus der Luftreinhalteplanung verglichen. Die entsprechende Auswertung ist in Tabelle 3 für Berlin und für Brandenburg in Tabelle 4 dargestellt.

In Berlin werden mit einem Schwellwert, der gleich der Länge der Rasterdiagonalen ist, erheblich mehr Betroffene ermittelt, als in den Varianten LS2 bis LS4. In Brandenburg ist die Abstufung von LS1 zu den anderen Varianten nicht so stark. Im Vergleich zu den Daten aus der Luftreinhalteplanung Berlin und Brandenburg liegen die Betroffenzahlen der Variante LS3 unter und der Variante LS4 über den Angaben der Bundesländer, mit Ausnahme der Gesamtzahl in Berlin, die auch mit der Variante LS4 übertroffen wird⁷. In Berlin besteht in der Klasse über 30 µg/m³ eine gute Übereinstimmung zwischen Variante LS3 und den Daten aus der Luftreinhalteplanung.

In Anbetracht der Tatsache, dass die Zuordnung der rasterbasierten Einwohnerzahlen zu den Screeningabschnitten mit einem pauschalen Verfahren und die Ermittlung der Betroffenzahlen für den Luftreinhalteplan Berlin und das Verkehrsgutachten Brandenburg abschnittsbezogen erfolgte, ist die Übereinstimmung mit den Längenschwellwerte LS3 und LS4 beachtlich gut. Um in der Expositionsschätzung möglichst konservativ zu sein, wird in den folgenden Auswertungen der Längenschwellwert LS3 verwendet.

Tabelle 3: Vergleich der Anzahl von Einwohnern in Berlin, die den Straßenabschnitten zugeordnet werden

Einwohner an Abschnitten	LS1	LS2	LS3	LS4	LRP Berlin
gesamt	1 604 968	764 409	510 768	383 330	366 331
PM ₁₀ > 20 µg/m ³	1 306 915	629 557	420 867	315 872	323 528
PM ₁₀ > 27 µg/m ³	46 813	21 066	14 046	10 540	12 288
PM ₁₀ > 30 µg/m ³	4 178	1 794	1 195	897	1 186

⁷ Für Brandenburg lagen nur Einwohnerzahlen für Abschnitte mit PM₁₀-Jahremittelwerten über 27 µg/m³ vor.

Tabelle 4: Vergleich der Anzahl von Einwohnern im Land Brandenburg, die den Straßenabschnitten zugeordnet werden

Einwohner an Abschnitten	LS1	LS2	LS3	LS4	LRP BBG
gesamt	626 524	348 030	233 301	175 077	- ⁷
PM ₁₀ > 20 µg/m ³	470 787	264 726	177 582	133 263	- ⁷
PM ₁₀ > 27 µg/m ³	6 073	4 028	2 705	2 030	1 838
PM ₁₀ > 30 µg/m ³	662	448	303	227	257

5.2 Vergleich der Expositionsschätzung

Im Folgenden wird dargestellt, welchen Einfluss die Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags als Ergänzung der verschiedenen Verfahren zur Bestimmung der urbanen Vorbelastung auf die Expositionsschätzung hat.

In Tabelle 5 und Abbildung 14 sind die Anzahl der Einwohner in den jeweiligen PM₁₀-Konzentrationsklassen in Schritten von 1 µg/m³ für Berlin und in Tabelle 6 und

Abbildung 15 für Brandenburg dargestellt.

In Tabelle 5 und Tabelle 6 findet sich zwischen der PM₁₀-Klasse 20 µg/m³ und 21 µg/m³ eine schwarze Linie zur Kennzeichnung des WHO-Richtwerts und am Ende der Tabelle ist zusätzlich der bevölkerungsbezogene Belastungsindikator als Summe der Produkte aus PM₁₀-Klasse und Einwohner, normiert mit der Summe aller Einwohner, aufgeführt.

Wie in Abschnitt 5.1 bereits ausgeführt, werden mit dem SBE-Verfahren in Berlin unter Anwendung des Längenschwellwerts L3 510 768 Einwohner als Betroffene mit lokalem Verkehrsbeitrag bestimmt, was bei einer Einwohnerzahl von 3,4 Millionen einem Bevölkerungsanteil von 15 % entspricht. In Brandenburg werden 233 301 Einwohner von insgesamt 2,5 Millionen Einwohnern und damit ein Bevölkerungsanteil von 9 % den Straßenabschnitten zugeordnet.

In Berlin wird für 278 242 Einwohner und in Brandenburg für 146 446 Einwohner eine PM₁₀-Belastung berechnet, die unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags über den Maximalwerten der bisher in der Expositionsschätzung benutzten RCG/OI-Modellierung für Berlin bzw. Brandenburg liegen. So liegt der Maximalwert der PM₁₀-Belastung in Berlin aus den RCG/OI-Berechnungen bei 22 µg/m³ und in Brandenburg bei 21 µg/m³ und unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags in Berlin und in Brandenburg bei je 34 µg/m³.

Oberhalb der Maxima aus der urbanen Vorbelastung, für Berlin in Tabelle 1 und für Brandenburg in Tabelle 2 dargestellt, sind die Werte der betroffenen Einwohner für alle drei Verfahren identisch, da über diesen Maximalwerten die Betroffenen nur aus dem jeweils gleichem SBE-Verfahren stammen.

Tabelle 5: Anzahl der Einwohner in den Konzentrationsklassen der PM₁₀-Belastung in Berlin für die verschiedenen Verfahren der Ermittlung des urbanen Hintergrunds unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags

PM ₁₀ -Klasse in µg/m ³	Anzahl betroffene Einwohner in Berlin		
	SBE+RCG/OI GES	SBE+URB GRETA	SBE+VB LRP Berlin
11		36	
12		901	
13		11 783	
14		109 580	
15		191 595	
16		271 866	
17	20 856	367 587	58
18	126 277	369 528	34 031
19	210 715	496 809	262 684
20 (WHO-Richtwert)	1 216 742	446 625	746 727
21	1 201 083	373 396	692 568
22	366 144	295 045	559 499
23	95 352	231 619	825 053
24	73 068	140 941	189 616
25	46 747	49 673	46 747
26	30 387	30 387	30 387
27	18 642	18 642	18 642
28	6 502	6 502	6 502
29	4 453	4 453	4 453
30	1 897	1 897	1 897
31	889	889	889
32	230	230	230
33	0	0	0
34	77	77	77
Indikator	20.8	19.4	21.6

Tabelle 6: Anzahl der Einwohner in den Konzentrationsklassen der PM₁₀-Belastung im Land Brandenburg für die verschiedenen Verfahren der Ermittlung des urbanen Hintergrunds unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags

PM ₁₀ -Klasse in µg/m ³	Anzahl betroffene Einwohner im Land Brandenburg		
	SBE+RCG/OI GES	SBE+URB GRETA	SBE+ VB LRP Brandenburg
12	327	36 917	
13	51 672	64 216	
14	102 861	127 521	13 217
15	186 055	207 004	73 910
16	385 881	324 502	76 225
17	543 806	360 990	153 732
18	514 781	366 325	325 396
19	204 000	327 520	414 039
20 (WHO-Richtwert)	194 600	259 605	585 273
21	37 537	105 824	388 448
22	44 089	61 453	196 505
23	34 647	34 906	55 508
24	25 418	25 418	43 422
25	15 562	15 562	15 562
26	18 510	18 510	18 510
27	5 513	5 513	5 513
28	1 282	1 282	1 282
29	724	724	724
30	396	396	396
31	143	143	143
32	106	106	106
33	0	0	0
34	54	54	54
Indikator	17.6	17.7	19.6

Abbildung 14: Histogramm der Einwohner in Berlin je PM₁₀-Indikator unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags

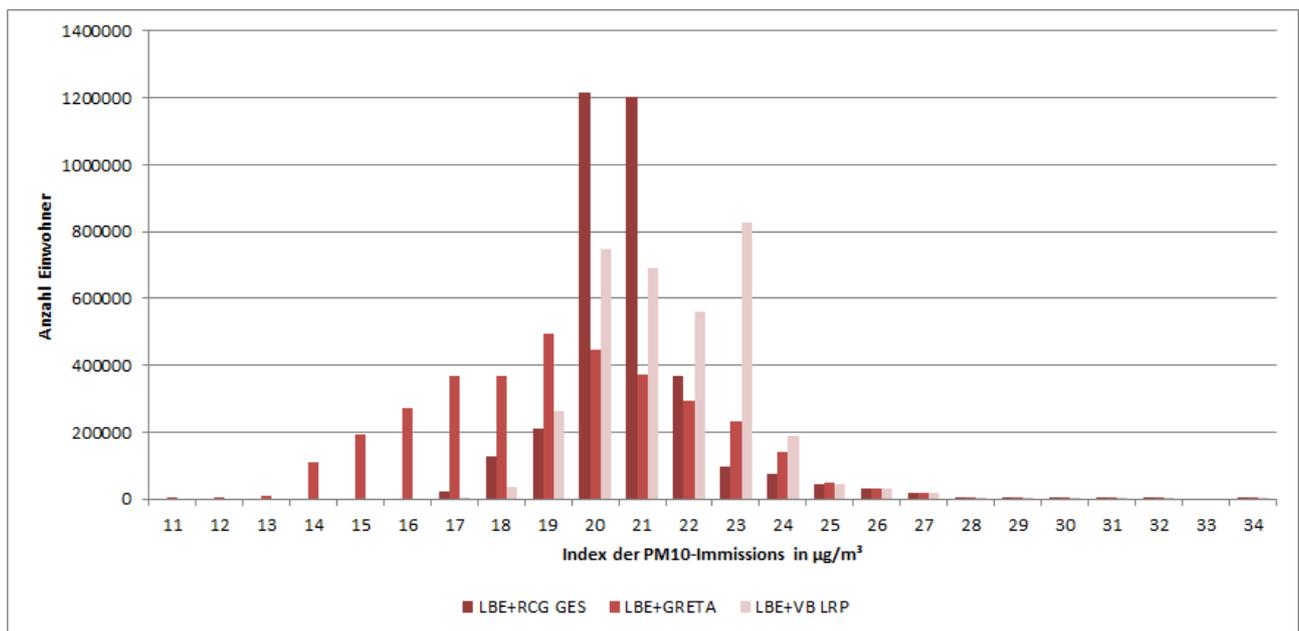
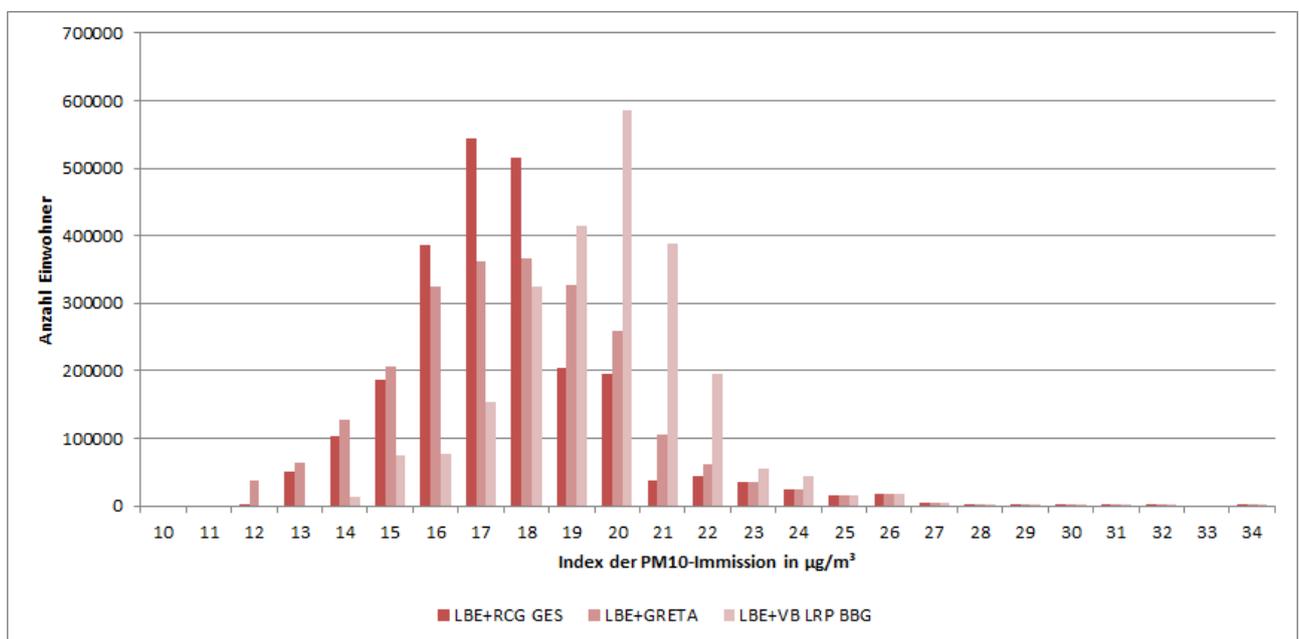


Abbildung 15: Histogramm der Einwohner für Brandenburg je PM₁₀-Indikator unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags



Die Indikatoren sind für alle untersuchten Verfahren für Berlin in Abbildung 16 und für Brandenburg in Abbildung 17 zusammenfassend dargestellt. In Tabelle 7 und in Tabelle 8 sind für ausgewählte Verfahren die Aufteilung der Einwohner in Konzentrationsklassen in 5 µg/m³-Schritten relativ zur Gesamteinwohnerzahl aufgeführt. Entsprechend der Auswirkungen auf den bevölkerungsbezogenen PM₁₀-Belastungsindikator wird nochmal deutlich, dass mit der Berücksichtigung der feineren urbanen Strukturen (VB LRP Berlin bzw. Brandenburg) eine deutliche Verschiebung von Einwohnern zu höheren Konzentrationsklassen einhergeht. Mit der zusätzlichen Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrag (SBE) steigt der Indikator jeweils leicht an und es wird ein Anteil von 1 % - 2 % der Einwohner identifiziert, der in PM₁₀-Belastungsklassen oberhalb von 25 µg/m³ liegt.

Abbildung 16: Bevölkerungbezogener PM₁₀-Belastungsindikator für Berlin bei Anwendung verschiedener Schätzmethode

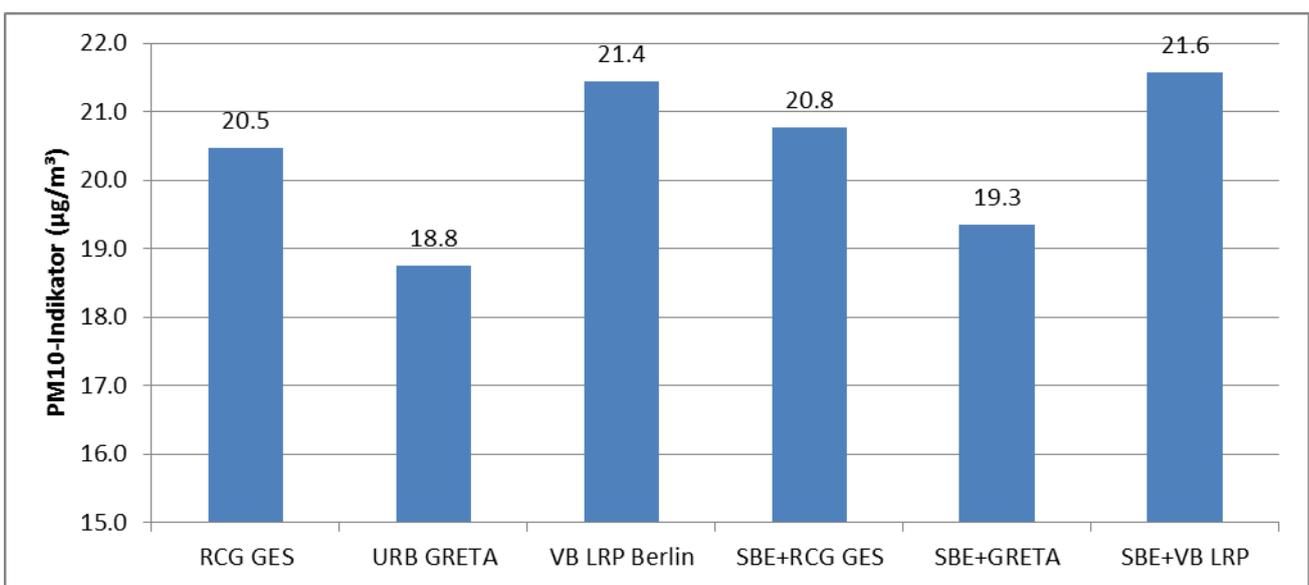


Abbildung 17: Bevölkerungbezogener PM₁₀-Belastungsindikator für Brandenburg bei Anwendung verschiedener Schätzmethode

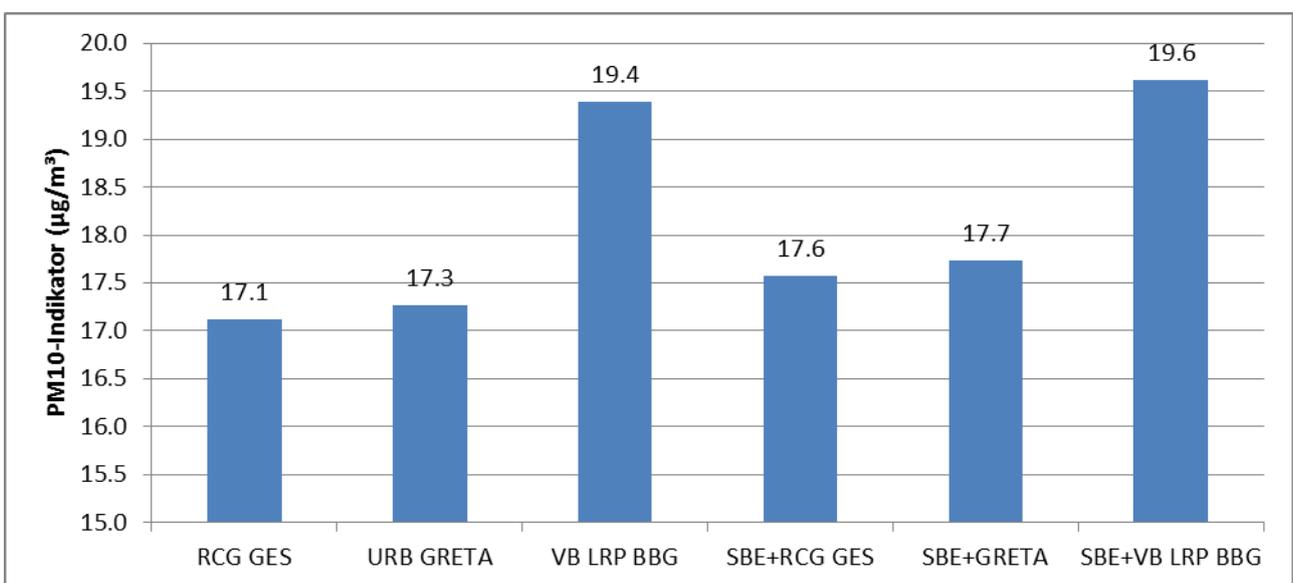


Tabelle 7: Anteil der Einwohner in den Konzentrationsklassen der PM₁₀-Belastung im Land Berlin für ausgewählte Verfahren

Obere Grenze PM10-Konzentration in µg/m ³	RCG GES	URB GRETA	VB LRP Berlin	SBE+VB LRP
≤15	0.0%	10.6%	0.0%	0.0%
≤20 (WHO-Richtwert)	48.4%	64.1%	30.5%	30.5%
≤25	51.6%	25.3%	69.5%	67.6%
≤30	0.0%	0.0%	0.0%	1.8%
≤35	0.000%	0.000%	0.000%	0.035%

Tabelle 8: Anteil der Einwohner in den Konzentrationsklassen der PM₁₀-Belastung im Land Brandenburg für ausgewählte Verfahren

Obere Grenze PM10-Konzentration in µg/m ³	RCG GES	URB GRETA	VB LRP Brandenburg	SBE+VB LRP
≤15	15.4%	20.1%	3.9%	3.7%
≤20 (WHO-Richtwert)	84.3%	75.4%	69.3%	65.7%
≤25	0.3%	4.5%	26.8%	29.5%
≤30	0.0%	0.0%	0.0%	1.1%
≤35	0.000%	0.000%	0.000%	0.013%

6 Verfahrensvorschlag

Das in diesem Pilotprojekt angewendete Verfahren zur Quantifizierung der verkehrsbezogenen populationsgewichteten Feinstaubexposition für die Modellregion Berlin-Brandenburg zeigt, dass sowohl eine höher aufgelöste urbane Feinstruktur als auch die Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags signifikante Veränderungen in der bevölkerungsgewichteten Expositionsverteilung bewirken. So steigt der bevölkerungsbezogene PM₁₀-Belastungsindikator gegenüber dem bisherigen Verfahren allein durch die urbane Feinstruktur in Berlin von 20.5 µg/m³ auf 21.4 µg/m³ bzw. um 4.4 % und in Brandenburg von 17.1 µg/m³ auf 19.4 µg/m³ bzw. um 13.5 %. Die Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags erhöht den Index nochmals auf insgesamt 21.6 µg/m³ bzw. um 5.4 % in Berlin und in Brandenburg auf insgesamt 19.6 µg/m³ bzw. um 14.6 % gegenüber dem bisherigen Verfahren.

Das in der Machbarkeitsstudie skizzierte Verfahren konnte in diesem Pilotprojekt mit den vorliegenden Daten aus Berlin und Brandenburg weiterentwickelt und geprüft werden. Damit kann dieses Verfahren grundsätzlich als Methode für eine bundesweite Abschätzung der Exposition dienen. Mit dem hier entwickelten Verfahren zur segmentbasierten Expositionsschätzung (SBE) existiert ein einfaches, aber robustes Verfahren zur gleichzeitigen Zuordnung von Einwohnern entweder zum urbanen PM₁₀-Niveau oder zur Hotspotbelastung ohne Doppelzählungen.

Im Einzelnen müssen dazu

- ▶ höher aufgelöste urbane Feinstrukturen der PM₁₀-Konzentration in einer Auflösung von ca. 500*500 m² bis 2*2 km² und
- ▶ möglichst umfangreiche Ergebnisse aus Screeningberechnungen von Hauptverkehrsstraßen mit Randbebauung verwendet

werden.

Bezüglich der urbanen Strukturen plant das Umweltbundesamt, zukünftig die RCG/OI-Karten in einer deutlich höheren Auflösung als bisher bereitzustellen. Die bereits in der Machbarkeitsstudie aufgezeigte theoretische Verfügbarkeit von höher aufgelösten urbanen Immissionsdaten und Screeningergebnissen, wie sie hier für Berlin und Brandenburg verwendet wurden, auch in anderen Gebieten in Deutschland, zeigt die mögliche räumliche Abdeckung einer nach diesem Verfahren durchgeführten bundesweiten Expositionsschätzung.

Es bleibt die Aufgabe, für Gebiete ohne eine solche Datengrundlage einen Übertragungsansatz der Expositionsschätzung für die Hotspot-Bereiche zu entwickeln, da selbst wenn alle zurzeit an verschiedenen Stellen vorhandenen Daten zentral verfügbar wären, entsprechende Daten nicht vollständig für ganz Deutschland vorliegen. Je größer dabei die Datengrundlage ist, umso kleiner wird der mögliche Fehler der Übertragungsansätze sein.

7 Zusammenfassung

Mit dem vorliegenden Pilotprojekt wurde für das Bezugsjahr 2013 mit verschiedenen Verfahren die PM₁₀-Exposition der Bevölkerung von Berlin und Brandenburg bestimmt.

Dabei wurden, neben dem bisher verwendeten RCG/OI-Verfahren in einer groben Auflösung von 7*8 km², zum einen ein Verfahren zur Verfeinerung dieser groben Modelldaten mit Hilfe eines hochauflösenden Emissionskatasters und zum anderen Modellrechnungen aus der Luftreinhalteplanung beider Länder verwendet und die Ergebnisse verglichen. Zusätzlich wurde ein Verfahren zur Berücksichtigung der lokal auftretenden verkehrsbezogenen Belastung (segmentbasierte Expositionsschätzung SBE) entwickelt und angewendet.

Für den Vergleich der verschiedenen Verfahren wurde die Verteilung von Einwohnerzahlen in unterschiedlichen Belastungsklassen herangezogen und ein bevölkerungsgewichteter Belastungsindikator gebildet.

Es wurde deutlich, dass eine höhere räumliche Auflösung der urbanen Konzentrationsverteilung zu einer deutlichen Verschiebung der Einwohnerzahlen zu höheren Belastungsniveaus und damit zu einem Anstieg des bevölkerungsgewichteten Belastungsindikators führt. Die Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags ermöglicht es, die Anteile der Bevölkerung anzugeben, die von entsprechend hohen Schadstoffbelastungen betroffen sind und die bei einer alleinigen Betrachtung der Hintergrundbelastung nicht auftreten.

Einfache Methoden zur Verfeinerung von gröberen Modellergebnissen unter Zuhilfenahme von hochauflösenden Emissionskatastern führen zwar zu „optischen“ Verbesserungen von Feinstrukturen von Schadstoffbelastungen. Explizite Ausbreitungsrechnungen, wie sie in der Luftreinhalteplanung für den urbanen Hintergrund angewendet werden, sind solchen „nachgeschalteten“ Verfeinerungsmethoden aber deutlich überlegen, weil sie die Transmission der Schadstoffe abbilden können.

Auch wenn die Berücksichtigung von lokalen Hotspot-Belastungen bei PM₁₀ auf Grund der geringeren Betroffenenzahlen nur einen geringen Effekt auf den bevölkerungsgewichteten Belastungsindikator hat, sollten diese Belastungsspitzen in die Expositionsschätzung eingehen, auch in Hinblick auf die in der Luftreinhalteplanung erforderlichen Angaben zu Betroffenen von Grenzwertüberschreitungen.

Die in der Luftreinhalteplanung weit verbreiteten Screeningverfahren bilden dabei eine sehr gute Grundlage, um in der großräumigen flächendeckenden Expositionsschätzung auch verkehrsbezogene höherer Belastungen zu berücksichtigen. Auf dieser Basis können dann auch die daraus resultierenden umweltbedingten Krankheitslasten umfassender als bisher bestimmt werden können. Mit der in diesem Pilotprojekt vorgeschlagenen Methode der segmentbasierten Expositionsschätzung (SBE) besteht auch eine einfach handhabbare Methode zur Bestimmung von Betroffenheit in Hotspots auf Grundlage der bundesweit vorhandenen rasterbasierten Bevölkerungszahlen.

Einfache Verfahren zur direkten Übertragbarkeit von Ergebnissen aus der Lärmkartierung in eine Luftschadstoffbetroffenheit an Hotspots sind nach den in diesem Projekt angestellten Untersuchungen nicht vorhanden. Hier sind Synergieeffekte vor allem dadurch erzielbar, dass die Eingangsdaten der Lärmkartierung zum Kfz-Verkehr und zur Bebauungsgeometrie auch in Verfahren zum Luftschadstoffscreening verwendet werden können. So wurde in den beiden untersuchten Bundesländern Berlin und Brandenburg die Modellrechnungen zur Luftreinhalteplanung und zur Lärmkartierung auf denselben Datengrundlagen erstellt.

Als Ergebnis des Pilotprojekts zeigt sich, dass sich die in Berlin und Brandenburg verwendeten Verfahren zur Beurteilung der Luftschadstoffbelastung im Rahmen der Luftreinhalteplanung sehr gut zur PM₁₀-Expositionsschätzung unter Berücksichtigung urbaner verkehrsbezogener Belastungsstrukturen eignen. Verallgemeinert lässt sich daraus ableiten, dass für eine Expositionsschätzung für die Betrachtung der urbanen Strukturen flächendeckend für Deutschland möglichst hohe Auflösungen bereits in der Modellierung der Vorbelastung angestrebt werden sollten. So sollte für das Bundesgebiet eine Auflösung von mindestens 2*2 km² möglichst in einem kartesischen Koordinatensystem angestrebt werden, die für ausgewählte Ballungsräume auf 1*1 km², besser sogar 500*500 m², erweitert werden sollte.

Die Berücksichtigung von lokal verkehrsbedingten hohen Belastungen sollte mittels Screeningverfahren erfolgen, die vielfach aus der Luftreinhalteplanung vorliegen. Bei einer Screeningbetrachtung können im Allgemeinen auch Eingangsdaten aus der Lärmkartierung verwendet werden. Inwieweit Ergebnisse aus der Lärmkartierung zur Hotspotbetrachtung verwendet werden können, müsste detaillierter untersucht werden. Nach einer ersten Einschätzung ist aber davon auszugehen, dass es

zielführender ist, die Eingangsdaten aus der Lärmkartierung für ein Screening zu nutzen, als aus den Ergebnissen der Lärmkartierungen Luftschadstoffbelastungen abzuschätzen.

Die Verfahren des Pilotprojekts können auch auf eine NO₂-Expositionsabschätzung übertragen werden. Dabei ist aber zu berücksichtigen, dass die lokale Hotspotbelastung bei NO₂ im Verhältnis zur Hintergrundbelastung deutlich höher liegt als bei PM₁₀ und damit das SBE-Verfahren bei NO₂ eine deutliche höhere Bedeutung in einer Expositionsschätzung erhält.

8 Quellenverzeichnis

- EU 2002: Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm. Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften Nr. L 189, S. 12. 2002.
- IVU GmbH 1997: Das Modellinstrumentarium IMMIS^{net/cpb} zur immissionsseitigen Bewertung von Kfz-Emissionen im Rahmen der 23. BImSchV. In: UBA; FGU (Hrsg.): Verkehrsbedingte Belastungen durch Benzol, Dieselruß und Stickoxide in städtischen Straßenräumen. 23. BImSchV seit 1. März in Kraft - was nun? 465. Seminar des Fortbildungszentrum Gesundheits- und Umweltschutz Berlin e.V. 1997.
- IVU Umwelt 2008: IMMIS^{em/luft/lärm} - Handbuch zur Version 4.0. IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2008.
- IVU Umwelt 2011: Fortschreibung des Verkehrsentwicklungsplans und Aktualisierung des Luftreinhalteplans für die Landeshauptstadt Potsdam. In Zusammenarbeit mit VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH. Auftraggeber: Stadtverwaltung Potsdam; Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV) des Landes Brandenburg. 2011.
- IVU Umwelt 2014a: Machbarkeitsstudie zur Kartierung und Quantifizierung des Feinstaubbelastungsanteils, der durch den Straßenverkehr hervorgerufen wird, als Beitrag zur räumlichen Darstellung von Gefährdungspotentialen der Umwelt und Gesundheit. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2014.
- IVU Umwelt 2014b: Modellrechnungen für die Gesamtbelastung an Stickstoffdioxid (NO₂) im Straßenraum zur Aktualisierung des Berliner Luftreinhalteplans 2011-2017 für die Jahre 2013-2020. Auftraggeber: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin. 2014.
- IVU Umwelt 2014c: IMMIS^{em/luft/lärm} - Handbuch zur Version 6. IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2014.
- IVU Umwelt 2015: Verkehrsgutachten 2013-2014. Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität und Lärmbelastung im Land Brandenburg. Unter Mitarbeit von VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH. Auftraggeber: Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Landwirtschaft des Landes Brandenburg (MLUL). Veröffentlichung durch den Auftraggeber. 2015.
- Janssen, S.; Dumont, G.; Fierens, F.; Mensink, C. 2008: Spatial interpolation of air pollution measurements using CORINE land cover data. Atmospheric Environment 42 Nr. 20, S. 4884-4903. 2008.
- Lenschow, P.; Abraham, H. J.; Kutzner, K.; Lutz, M.; Preuss, J. - D.; Reichenbacher, W. 2001: Some ideas about the sources of PM10. Atmospheric Environment 35 Nr. Supplement 1. 2001.
- LUGV 2012: Information der Öffentlichkeit über Lärmkarten nach 34. BImSchV. Landesamt für Umwelt Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg, Ref. T3 –Gebietsbezogener Immissionsschutz, Lärmschutz. Potsdam, September 2012.
- Senat Berlin 2013: Luftreinhalteplan 2011 bis 2017 für Berlin. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin. In Zusammenarbeit mit IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2013.
- Senat Berlin 2015: 07.05 Strategische Lärmkarten (Ausgabe 2013). Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin. http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/umweltatlas/e_text/ka705.pdf (Stand 30.04.2016), 2015.
- Stern, R. 2015: Kartographische Darstellung der flächenhaften Immissionsbelastung in Deutschland durch Kombination von Messung und Rechnung für die Jahre 1990, 1995 und 2014 und Qualitätssicherung der im Modell verwendeten Emissionsdaten. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2015.
- UBA 2014: Luftqualität 2020/2030: Weiterentwicklung von Prognosen für Luftschadstoffe unter Berücksichtigung von Klimastrategien. UBA-Texte 35/2014. Umweltbundesamt. 2014.
- UBA 2016: Luftqualität 2015. Vorläufige Auswertung. Umweltbundesamt. 2016.
- VBUS 2006: Vorläufige Berechnungsmethode für den Umgebungslärm an Straßen. Vom 22. Mai 2006. BAnz. Nr. 154a, S. 30. 2006.

9 Anlage Konzeptvorschlag aus der Machbarkeitsstudie

Auszug aus

IVU Umwelt 2014a: Machbarkeitsstudie zur Kartierung und Quantifizierung des Feinstaubbelastungsanteils, der durch den Straßenverkehr hervorgerufen wird, als Beitrag zur räumlichen Darstellung von Gefährdungspotentialen der Umwelt und Gesundheit. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2014. (Dort Abschnitt 4)

9.1 Übersicht

Auf Grundlage des vorliegenden Wissensstands zur Verfügbarkeit von Daten und Methoden wird folgendes Konzept zur Darstellung der verkehrsbedingten Feinstaubbelastung in Deutschland vorgeschlagen. Dabei wird ein Weg beschrieben, der bei einer optimalen Datenverfügbarkeit die verkehrsbedingte Feinstaubbelastung als Bottom-Up-Ansatz mit einem Screening-Verfahren flächendeckend für die besiedelten Bereiche in ganz Deutschland berechnet.

Je nach realer Verfügbarkeit von erforderlichen Eingangsdaten wird versucht, Alternativen aufzuzeigen, mit welchen weiteren, potenziell verfügbaren Daten das Verfahren ergänzt werden kann.

Das Konzept baut auf dem Schema des Lenschow-Diagramms auf. Demnach soll der PM10-Jahresmittelwert in einem dreistufigen Verfahren ermittelt werden.

- i. Der regionale Hintergrund wird, wie bisher beim UBA bereits praktiziert, auf der Basis von RCG-Rechnung und einer Assimilation an die Messdaten mit Hilfe einer OI berechnet.
- ii. Der urbane Hintergrund wird über Verfeinerung der Ergebnisse aus i. mit einem Landnutzungs-Regressions-Modell (Landnutzung z. B. Corine und/oder Emissionskataster verfeinert.
- iii. Die lokale verkehrsbedingte Zusatzbelastung wird mit einem Screening-Modell berechnet.

In den folgenden Abschnitten werden die drei Verfahrensschritte näher beschrieben.

9.2 Regionaler Hintergrund

Wie in der Einleitung beschrieben werden zurzeit vom UBA flächendeckende PM10-Jahresmittelwertkonzentrationen für die Expositionsabschätzung benutzt, die mit dem RCG-Modell berechnet und an Messwerte assimiliert werden. Ausgehend von der Auflösung des RCG-Modells kann dieses Ergebnis als Regionaler Hintergrund interpretiert werden. Dabei ist zu berücksichtigen, dass in den Modellrechnungen alle bekannten Quellen in einer Auflösung von ca. $2 * 2 \text{ km}^2$ eingehen. D. h. je nach Größe eines Ballungsraums ist in den Modellergebnissen des regionalen Hintergrunds mit einer Auflösung von ca. $7 * 8 \text{ km}^2$ der urbane Beitrag mehr oder weniger bereits enthalten.

Da diese räumliche Auflösung innerurbane Emissionsstrukturen nicht abbildet, könnte man in der Assimilation der RCG-Modellwerte mit Messdaten alternativ zum bisher verwendeten Verfahren anstatt aller Hintergrundstationen nur Stationen, die im Hintergrund außerhalb der Städte messen, verwenden. Damit könnten die Messstationen im urbanen Hintergrund ausschließlich für eine Verfeinerung der Modellergebnisse in der urbanen Skala verwendet werden (Abschnitt 9.3). Es muss dabei überprüft werden, ob die Stationsdichte von Hintergrundstationen außerhalb der Städte ausreichend für das Assimilationsverfahren ist.

Das Verfahren zur Ermittlung des regionalen Hintergrunds kann mit einer Kreuzvalidierung, entsprechend der VDI Richtlinie 4280 Blatt 5 „Ermittlung der Unsicherheit räumlicher Beurteilungen der Luftqualität“ (KRdL, 2009) hinsichtlich der Qualität getestet werden.

9.3 Urbaner Hintergrund

Zur Beschreibung der PM10-Belastung im urbanen Hintergrund gemäß können die Daten des Regionalen Hintergrunds verfeinert werden. Damit sollte eine räumliche Auflösung von $1 \times 1 \text{ km}^2$ oder $500 \times 500 \text{ m}^2$ erreicht werden können.

Die Verfeinerung kann über Zusatzinformationen, wie z. B. mit dem Landnutzungskataster oder mit einem hoch aufgelösten Emissionskataster erfolgen. Entsprechende Ansätze für eine Verfeinerung finden sich z. B. in Janssen et. al (2008).

Das in Janssen et. al (2008) beschriebene Verfahren ist für Belgien angewendet worden, wobei dabei nur die Landnutzung als Zusatzinformationen verwendet wurde. Eine Erweiterung z. B. auf ein hoch aufgelöstes Emissionskataster und eine Prüfung auf die Verhältnisse in Deutschland muss noch erfolgen.

Zur Prüfung bzw. Qualitätssicherung der Methodik können die Messstationen mit lokalem Charakter im städtischen Hintergrund herangezogen werden. Zusätzlich kann geprüft werden, ob mit dieser Methode auch eine Verbesserung beim regionalen Hintergrund erreicht wird.

9.4 Gesamtbelastung unter Berücksichtigung des lokalen Verkehrsbeitrags

Zur Bestimmung der Gesamtbelastung kann die mit einem Screeningverfahren bestimmte verkehrliche Zusatzbelastung mit der urbanen Vorbelastung aus Abschnitt 9.3 zusammengeführt werden.

Wie in IVU Umwelt 2014a beschrieben, benötigt das Screeningverfahren die folgenden Eingangsdaten:

- a. Regionalisierte repräsentative statistische Daten zur Meteorologie,
- b. Abschnittsbezogene Kfz-Emissionen bzw. verkehrliche Eingangsdaten zur Emissionsmodellierung sowie
- c. Abschnittsbezogene vereinfachte Bebauungsgeometrie (Bebauungshöhe und –abstand sowie Baulückenanteil).

Folgende Datenquellen können für eine bundesweite Anwendung eines Screeningverfahrens berücksichtigt werden:

Zu a.:

Daten zur Meteorologie können aus dem TRAMPER-System, welche als Eingangsdaten für die RCG-Modellierung bereitstehen, abgeleitet werden oder es können entsprechende Daten beim Deutschen Wetterdienst bezogen werden.

Zu b.:

Für den Kfz-Verkehr bzw. Kfz-Emissionen liegen mehrere mögliche Datenquellen bzw. Lösungsvarianten mit unterschiedlicher Datenqualität vor. Optimal sind dabei detaillierte Verkehrsdaten (Mengen, getrennt nach Kfz-Typen, und Typisierung der Verkehrssituation) mit einer lagegenauen Verortung, da mit diesen Daten Kfz-Emissionen unter Berücksichtigung entsprechender Flottenzusammensetzungen jahresspezifisch und räumlich lokalisiert berechnet werden könnten. Grundsätzlich muss

aber davon ausgegangen werden, dass die verwendbaren Verkehrsdaten i. Allg. nicht flächendeckend und auch nicht für die gewünschten Bezugsjahre vorliegen. Die folgende Liste stellt eine Übersicht derzeitig bekannter Quellen dar.

- ▶ Verkehrliche Eingangsdaten aus der Lärmkartierung. Diese Daten beinhalten i. Allg. sehr genaue Informationen zur Verkehrsmenge, insgesamt und Anteilen schweren Nfz, sowie zur zugelassenen Höchstgeschwindigkeit.
- ▶ Datenlieferungen durch Bundesländer und/oder Kommunen. Bei einigen Bundesländern liegen landesweite Emissionskataster für den Kfz-Verkehr linienbezogen als GIS-Datensätze vor. Der Umfang der vorgehaltenen Daten ist dabei aber recht unterschiedlich und muss separat abgefragt werden. In einer Vielzahl von Kommunen liegen sogenannte Verkehrsmengenkarten vor oder werden eigenständig Verkehrsmodelle betrieben. Teilweise liegen diese Daten aber bei externen Gutachtern, so dass ein Zugriff auf weiter verarbeitbare GIS-Daten selbst bei einer Bereitschaft der Stadt nicht gewährleistet ist.
- ▶ Rückrechnung aus digitalen (GIS) Ergebnisdaten der Lärmkartierung. Die Grundlage der Lärmkartierung bilden neben geometrischen Eingangsdaten die o. g. Verkehrsdaten. Mit einer entsprechenden Rückrechnung besteht die Möglichkeit diese Daten wieder abzuleiten. Ein solches Verfahren müsste neu entwickelt werden und könnte anhand vorliegender Eingangsdaten für einzelne Bundesländer (z. B. Brandenburg, Hessen) geprüft werden.
- ▶ Lieferung durch Datenanbieter z. B. durch DLR
- ▶ Rückrechnung aus Emissionskatastern. Für diese Art der Rückrechnung besteht im urbanen Bereich, die Einschränkung, dass die zu erwartende Qualität stark abhängig von der Auflösung des verwendeten Emissionskatasters ist.
- ▶ Vereinfachte Ansätze zum Verkehrsaufkommen. Im Rahmen von landesweiten Emissionskatastern werden teilweise Abschätzungen von Verkehrsbelastungen für Straßenabschnitte ohne entsprechende Zählkarten gemacht. Im Allgemeinen betrifft diese Methode aber Straßen im untergeordneten Netz mit geringeren Verkehrsbelastungen. Alternativ kann man ein Verfahren von parametrisierten Verkehrsbelastungen auf der Basis der Straßenkategorie und der räumlichen Zuordnung anwenden. Solche Parametrisierungen lassen sich an vorliegenden Daten prüfen, stellen aber i. Allg. immer ein sehr ungenaues Verfahren dar und sollten nur in Ausnahmefällen zur Vervollständigung von Datenlücken angewendet werden.
- ▶ Kombination aus mehreren Quellen und Ansätzen. Es ist davon auszugehen, dass Daten in unterschiedlicher Qualität jeweils für Teilgebiete vorliegen. Um zum einem Gesamtdatenbestand zu kommen können diese verschiedene Datenquellen zusammengeführt werden und vorhandenen Lücken mit Parametrisierungen gefüllt werden.

Zu c.:

Für Daten zur Bebauungsgeometrie liegen analog zu den Verkehrsdaten- bzw. -emissionen mehrere mögliche Datenquellen bzw. Lösungsvarianten mit unterschiedlicher Datenqualität vor. Optimal sind 3D-Gebäude-Daten, ein sogenanntes LoD1-Modell. Die für das Screeningverfahren vereinfachten Geometrieinformationen können aus solchen Gebäudedaten mit entsprechenden GIS-gestützten Verfahren mit einem überschaubaren Aufwand halbautomatisch abgeleitet werden.

- ▶ Z. Zt. können die Eingangsdaten zur Lärmkartierung für die Gebäude als der derzeitig umfassendste aktuelle Datenbestand angesehen werden. In Kombination mit den entsprechenden Verkehrsdaten ist auch gewährleistet, dass die Geometrien lagegenau zueinander sind.
- ▶ Geodaten des Bundes bzw. der Länder.
- ▶ Rückrechnung aus digitalen (GIS) Ergebnisdaten der Lärmkartierung analog zum Vorgehen bei den Verkehrsdaten (s. o.).

- ▶ Kombination aus mehreren Quellen und Ansätzen analog zum Vorgehen bei den Verkehrsdaten (s. o.).
- ▶ Aus bisher vorliegenden Erfahrungen bei der Aufbereitung von Bebauungsgeometrien aus entsprechenden Eingangsdaten kann nicht grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass die Straßendaten und die Gebäudedaten lagegenau zueinander sind. Erst nach Vorliegen der detaillierten Informationen zu den Datenverfügbarkeiten kann der Aufwand für notwendige Korrekturen oder mögliche Vereinfachungen abgeschätzt werden.
- ▶ In Fällen in denen keine explizite Bestimmung der Bebauungsgeometrie möglich ist, können aus Daten zur Bebauungs- und Bevölkerungsdichte mit entsprechenden räumlichen Bezügen klassifizierte Werte angesetzt werden, die dann für Gebiete mit entsprechender Datenverfügbarkeit geprüft werden könnten.

9.5 Durchführungsschema

Folgendes Schema kann als Grundlage für die Durchführung eines Projekts zur Kartierung und Quantifizierung des Feinstaubbelastungsanteils, der durch den Straßenverkehr hervorgerufen wird, beschrieben werden. Dabei ist das Verfahren zur Bestimmung des regionalen Hintergrunds (A) bereits beim UBA etabliert.

B Urbaner Hintergrund

- B i. Methodenentwicklung
- B ii. Beschaffung und Prüfung von Sekundärinformationen
- B iii. Anwendung verschiedener Methoden und Prüfung anhand von höher aufgelösten Berechnungen z.B. mit den Ergebnissen vorliegender RCG-Modellberechnungen für Brandenburg, Berlin, Hessen, Baden-Württemberg und ggf. Ergebnissen von EURAD für Nordrhein-Westfalen
- B iv. Prüfung der Methoden an Hand von Messdaten gemäß VDI-Richtlinie 4280 Blatt 5 (KRdL, 2009)
- B v. Festlegung des Verfahrens
- B vi. Anwendung je Bezugsjahr

C Lokaler Verkehrsbeitrag und Gesamtbelastung

- C i. Abfrage der Datenverfügbarkeiten aus der Lärmkartierung, zum Verkehr und zu Geometrien (kann als separates Arbeitspaket im Vorfeld erfolgen z. B. auch durch das UBA)
- C ii. Akquisition der verfügbaren Eingangsdaten und Prüfung auf Verwendbarkeit
- C iii. Entwicklung einer Methode in Form eines Stufenkonzepts für Regionen mit unterschiedlicher Datenverfügbarkeit
- C iv. Prüfen der einzelnen Stufen der Methodik zur Aufbereitung der Geometriedaten anhand von vorliegenden regionalen Screeningdaten für die Gebiete Berlin, Brandenburg, Ruhrgebiet, München, Düsseldorf, Dortmund, und eventuell weiterer Städte
- C v. Prüfen der einzelnen Stufen der Methodik zur Aufbereitung der Verkehrsdaten anhand von vorliegenden regionalen Verkehrsdaten aus Berlin, Brandenburg, Hessen, München, Ruhrgebiet und eventuell weiterer Regionen.

- C vi. Festlegung des abgestuften Verfahrens für die entsprechenden Regionen
- C vii. Anwendung je Bezugsjahr
- C viii. Validierung anhand von Messungen in Hotspots