

## **Forschungsvorhaben des Umweltbundesamt**

# **Datenvalidierung/Methodenentwicklung zur verbesserten Erfassung und Darstellung der Emissionssituation im PRTR**

### **Endbericht**

Förderkennzeichen: FKZ 37 10 91 244

Laufzeit des Vorhabens: 01.02.2011 – 30.11.2013

### **Forschungsnehmer**

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)  
Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse (ITAS)

Projektleitung: Sibylle Wursthorn, Witold-Roger Pogonietz

**Karlsruhe, November 2013**

## Autoren

Sibylle Wursthorn, Witold-Roger Poganietz	Institut für Technikfolgenabschätzung und Systemanalyse, Karlsruher Institut für Technologie	Wissenschaftliche Projektleitung
Ralph Bodle, Gesa Homann	Ecologic GmbH	Rechtliche Gutachten
Frank Heidmann, Andreas Thom, Simon Wimmer, Christoph Steinlehner	Interaction Design Lab, Fachhochschule Potsdam	Konzeption zur Visualisierung von Informationen und Daten
Frank Dünnebeil, Wolfram Knörr	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg (ifeu)	Verkehrsbedingte Emissionen
Balendra Thiruchittampalam	Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER), Universität Stuttgart	Regionalisierung der Emissionen in die Luft
Michael Struschka, Philipp Möck, J. Brodbeck	Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK), Universität Stuttgart	Emissionen der Haushalte
Stephan Fuchs, Snezhina Dimitrova, Steffen Kittlaus, Ramona Wander	Institut für Wasser und Gewässerentwicklung (IWG) – Bereich Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütewirtschaft, Karlsruher Institut für Technologie	Stoffeinträge in Gewässer einschließlich Regionalisierung
Claus Rösemann	Thünen-Institut für Agrarklimaschutz	Emissionen aus der Landwirtschaft

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	4
Tabellenverzeichnis.....	6
Abkürzungsverzeichnis.....	7
1 Einleitung.....	10
2 Der methodische Rahmen.....	11
2.1 Zielgruppe bzw. Nutzergruppen.....	11
2.2 Diffuse Quellen.....	11
2.3 Direkte Emissionen vs. Stoffeinträge.....	11
2.4 Schadstoffe.....	12
2.5 Bezugsjahr und Aktualisierung.....	14
3 Methodisches Vorgehen.....	14
3.1 Datengenerierung.....	14
3.1.1 Gewählter Ansatz.....	14
3.1.2 Datenquellen.....	15
3.1.3 Direkte Emissionen in Luft und Schadstoffeinträge in Gewässer.....	16
3.1.4 Regionalisierung.....	17
3.1.5 Validierung.....	17
3.1.6 Aktualisierung.....	17
3.2 Informationsbereitstellung.....	18
4 Regionalisierung von Emissionen in die Luft.....	19
4.1 Grundsätzliches Vorgehen.....	19
4.2 Technische Umsetzung der räumlichen Auflösung.....	21
5 Emissionen in die Luft.....	23
5.1 Verkehrsbedingte Emissionen.....	23
5.1.1 Auswahl der Schadstoffe.....	23
5.1.2 Ermittlung aktueller Emissionsfaktoren und Emissionen.....	24
5.1.3 Regionalisierung.....	27
5.1.4 Aktualisierung.....	34
5.2 Emissionen aus der Landwirtschaft.....	34
5.2.1 Auswahl der Schadstoffe.....	34
5.2.2 Ermittlung aktueller Emissionsfaktoren und Emissionen.....	35

5.2.3	Regionalisierung .....	36
5.2.4	Aktualisierung .....	38
5.3	Emissionen der Haushalte .....	38
5.3.1	Auswahl der Schadstoffe .....	38
5.3.2	Ermittlung aktueller Emissionsfaktoren und Emissionen .....	38
5.3.3	Regionalisierung .....	41
5.3.4	Aktualisierung .....	44
6	Stoffeinträge in Gewässer .....	44
6.1	Auswahl der Schadstoffe .....	44
6.2	Ermittlung aktueller Emissionsfaktoren und Schadstoffeinträge .....	45
6.3	Regionalisierung .....	49
6.4	Plausibilisierung .....	49
6.5	Aktualisierung .....	50
7	Validierung der Daten .....	51
7.1	UBA-Fachworkshop .....	51
7.2	Länderkonsultation .....	52
8	Visualisierung der zu bereitstellenden Informationen .....	53
8.1	Styleguide .....	53
8.1.1	Startseite .....	53
8.1.2	Aufbau der Seiten der Kartenanwendungen .....	54
8.1.3	Kartendarstellungen .....	56
8.2	Usability Test .....	59
8.2.1	Vorgehensweise .....	59
8.2.2	Experten- und Bürgerevaluation zum Klickprototyp „Diffuse Quellen“ .....	61
8.3	Nutzerkommunikation .....	64
8.3.1	Nutzerkommunikation zu wichtigen Begrifflichkeiten: Begriff „diffuse Quellen“ .....	64
8.3.2	Nutzerkommunikation zu gewählten Systemgrenzen der dargestellten Emissionen .....	65
8.3.3	Nutzerkommunikation zur Einordnung der Höhe der dargestellten Emissionsmengen, Interpretationshilfen .....	66
8.3.4	Infoboxen .....	66
9	Abschließende Bemerkungen .....	68
9.1	Verwertung der generierten Informationen und Daten .....	68

9.2	Technische Umsetzung der Aktualisierung der regionalisierten Emissionsdaten .....	68
9.3	Potenzielle Erweiterungen hinsichtlich der erfassten Emittenten .....	69
9.3.1	Verkehr: Berücksichtigung von mobilen Arbeitsmaschinen und weiterer Flughäfen .....	69
9.3.2	Landwirtschaft: Erweiterte Berücksichtigung von Pflanzenschutzmitteln .....	70
9.3.3	Haushalte: Berücksichtigung von Phthalaten .....	70
	Gesetzliche Grundlagen .....	71
	Literatur .....	71
	Anhang .....	78

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schematische Darstellung der räumlichen Auflösung von Emissionen in die Luft .....	20
Abbildung 2: Datenmodell der räumlichen Auflösung von Emissionen auf das Zielgitter von 3km x 3km .....	22
Abbildung 3: Modellierungsgebiet und Zielgitter.....	22
Abbildung 4: Berechnungsschema „Straßenverkehr“ in TREMOD.....	26
Abbildung 5: Methodik der räumlichen Verteilung des Straßenverkehrs.....	28
Abbildung 6: Georeferenzierung des Straßenverkehrs mittels Verkehrszählraten von BAST (Fitschen und Nordmann 2010, Thiruchittampalam et al. 2010).....	29
Abbildung 7: Räumliche Verteilung der NO <sub>x</sub> - und NMVOC-Emissionen aus dem Straßenverkehr .....	29
Abbildung 8: LTO-bedingten Emissionen aus dem Flugverkehr am Beispiel von NO <sub>x</sub> - und CO <sub>2</sub> -Emissionen .....	30
Abbildung 9: Identifizierung des Nicht-DB AG-Anteils des Schienenverkehrs und Vervollständigung des Schienennetzes in Deutschland.....	31
Abbildung 10: Räumliche Verteilung der NO <sub>x</sub> - und PM <sub>10</sub> -Emissionen des Schienenverkehrs .....	32
Abbildung 11: Güterverkehrsstatistik des Statistischen Bundesamtes.....	33
Abbildung 12: Räumliche Verteilung von CO <sub>2</sub> - und NO <sub>x</sub> -Emissionen des Binnenschiffsverkehrs .....	33
Abbildung 13: Räumliche Verteilung der landwirtschaftlichen Emissionen am Beispiel der NH <sub>3</sub> - und N <sub>2</sub> O-Emissionen .....	37
Abbildung 14: Ermittlung der Emissionsfaktoren im Bereich Haushalte .....	39
Abbildung 15: Räumliche Verteilung des Waldscheitholzverbrauchs in Deutschland (links) und Verteilung der PM <sub>10</sub> -Emissionen aus Kleinf Feuerungen in Privathaushalten – Brennstoff Holz – aus PAREST (rechts).....	43
Abbildung 16: Verteilparameter für die Gitterverteilung der Emissionen aus Haushalten (Einwohner/km <sup>2</sup> ) (Gallego 2010) .....	43
Abbildung 17: Räumliche Verteilung von PM <sub>10</sub> - und CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Haushalten.....	44
Abbildung 18: Stoffquellen und Eintragspfade für Gewässerverschmutzung (Fuchs et al. 2010).....	46
Abbildung 19: Schematische Darstellung der Zuordnung der Stoffeinträge in Gewässer .....	47
Abbildung 20: Zink-Einträge in die Oberflächengewässer Deutschlands für das Jahr .....	49
Abbildung 21: Startseite und Weiche zwischen Emissionen in Luft und Stoffeinträge in Wasser.....	53
Abbildung 22: Struktur und Hierarchie der Anwendung.....	54
Abbildung 23: Struktur der Anwendung.....	55
Abbildung 24: Aufbau der Seiten mit den Kartenanwendungen in Klickprototypen zu Emissionen aus diffusen Quellen .....	55

Abbildung 25: Beispiel für eine Kartendarstellung Zellenansicht.....	56
Abbildung 26: Detailinformationen zu Belastungen in den einzelnen Zellen .....	57
Abbildung 27: Einbindung von Satellitenbildern in den Styleguide .....	58
Abbildung 28: Farbkonzept der Karten .....	59
Abbildung 29: Blickbewegungsregistrierung (Eye Tracking) .....	60
Abbildung 30: Probandenstruktur: Soziodemografische Daten.....	61
Abbildung 31: Aufgabenlösungsrate (Leistung) der Nutzertests.....	61
Abbildung 32: Scanpfad für Startseite (15 Sekunden).....	62
Abbildung 33: Gesamtbeurteilung der Nutzer des Klickprototypen zu diffuse Quellen.....	64
Abbildung 34: Vergleich der deutschlandweiten NOx- und Abgaspartikelemissionen des Verkehrs und mobiler Maschinen (NRMM) für das Jahr 2010 .....	70

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Schadstoffe, die für diffuse Quellen im PRTR berücksichtigt werden sollen .....	13
Tabelle 2:	Übersicht über die im Summenparameter PAK enthaltenen Einzelstoffe bei Emissionen in Luft (Haushalte) und Stoffeinträge in Gewässer .....	14
Tabelle 3:	Übersicht über Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren und relevante Kenngrößen .....	27
Tabelle 4:	Landwirtschaftliche Landnutzungsklassen in Deutschland (Keil et al. 2010).....	37
Tabelle 5:	Zuordnung der Eintragspfade zu den Bereichen.....	47
Tabelle 6:	Wichtige allgemeine und stoffspezifische Eingangsdaten für die regionale Stoffeintragsmodellierung mit MoRE.....	48
Tabelle 7:	Korrelationsmatrix der Emissionen mit den Aktivitätsraten. Angegeben ist der Rangkorrelationsfaktor $\rho$ nach Spearman. Alle Korrelationen sind hoch signifikant ( $p < 0,01$ ).....	51

## Abkürzungsverzeichnis

Abs.	Absatz
AGEB	AG Energiebilanzen
AGPL	Affero General Public License
Anm.	Anmerkung
Art.	Artikel
BAFA	Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
BAST	Bundesanstalt für Straßenwesen
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetz
bspw.	beispielsweise
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
Cd	Cadmium
CH <sub>4</sub>	Methan
CLC	Corine Land Cover
CO	Kohlenmonoxid
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
Cr	Chrom
CRF	Common Reporting Format
Cu	Kupfer
d.h.	das heißt
DB AG	Deutsche Bahn AG
DEHP	Di-(2-ethylhexyl)phthalat
DEPV	Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V.
dt.	deutsch
EL	extra leicht
EG	Europäische Gemeinschaft
etc.	et cetera
EU	Europäische Union
e.V.	eingetragener Verein
FDL	Free Documentation License
FFH-Richtlinie	Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie
FM	Festmeter
GAS-EM	Gaseous Emissions
gem.	gemäß
ggf.	gegebenenfalls
GV	Güterverkehr
h	Stunde
ha	Hektar
HBEFA	Handbook Emission Factors for Road Transport; dt.: Handbuch Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr
Hg	Quecksilber
HKI	Industrieverband Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V.
i.A.	im Allgemeinen

ifeu	Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IWO	Instituts für wirtschaftliche Ölheizung
KBA	Kraftfahrt-Bundesamt
KFZ	Kraftfahrzeug
kg	Kilogramm
km	Kilometer
km <sup>2</sup>	Quadratkilometer
kW	Kilowatt
kt	Kilotonnen
LKW	Lastkraftwagen
LTO	Landing and Take Off; dt.: Lande- und Startphase
m <sup>3</sup>	Kubikmeter
mg	Milligramm
MJ	Megajoule
MoRE	Modeling of Regionalized Emissions
MW	Megawatt
N	Stickstoff
N <sub>2</sub> O	Dstickstoffoxid (Lachgas)
NEC-Richtlinie	Directive on National Emission Ceilings (Richtlinie 2001/81/EG)
NFR	New Format for Reporting
NH <sub>3</sub>	Ammoniak
Ni	Nickel
NMVOC	flüchtige organische Verbindungen ohne Methan
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid
NO <sub>x</sub>	Stickoxide
Nr.	Nummer
NUTS-3	Nomenclature des unités territoriales statistiques; dt.: Systematik zur Klassifizierung der räumlichen Bezugseinheiten der Amtlichen Statistik in der EU
o.a.	oder andere
ODL	Open Database License
P	Phosphor
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
PCDD	Dioxine
PCDF	Furane
PJ	Petajoule
PKW	Personenkraftwagen
PM <sub>10</sub>	Feinstaub
PRTR	Pollutant Release and Transfer Register; dt.: Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister
PRTR-VO	Verordnung zum Pollutant Release and Transfer Register (VO 166/2006)
PV	Personenverkehr
s.	siehe

s.a.	siehe auch
SchadRegProtAG	Gesetz zur Ausführung des Protokolls über Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister vom 21. Mai 2003 sowie zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 166/2006
SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid
SO <sub>x</sub>	Schwefeloxide
TAN	total ammonia nitrogen
TBT	Tributylzinn
th	thermisch
TREMOD	Transport Emission Model
u.a.	unter anderem
UBA	Umweltbundesamt
US-EPA	US Environmental Protection Agency
v.a.	vor allem
vgl.	vergleiche
VO	Verordnung
vs.	versus
z.B.	zum Beispiel
ZIV	Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks-Zentralinnungsverband
Zn	Zink
ZSE	Zentrales System Emissionen
µg	Mikrometer

## 1 Einleitung

Mit der Ratifizierung des PRTR-Protokolls im August 2007 und dem in Kraft treten des Protokolls im Oktober 2009 hat sich die Bundesrepublik Deutschland dazu verpflichtet, ein nationales Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister (PRTR) aufzubauen, in das neben einzelbetrieblichen Daten auch Emissionen aus diffusen Quellen aufgenommen werden müssen. Deutschland berichtet bislang unter [www.thru.de](http://www.thru.de) die Daten von einzelnen Anlagen. Unter diffusen Quellen werden hierbei „die vielen kleinen oder verteilten Quellen [verstanden], aus denen Schadstoffe in Boden, Luft oder Wasser freigesetzt werden können, deren kombinierte Wirkung auf diese Medien erheblich sein kann und bei denen es praktische Schwierigkeiten bereitet, Meldungen von jeder einzelnen Quelle einzuholen“ (Art. 2 Nr. 9 PRTR-Protokoll).

Im Rahmen des FE-Vorhabens „Datenvalidierung/Methodenentwicklung zur verbesserten Erfassung und Darstellung der Emissionssituation im PRTR“ wurde eine Vorgehensweise zur Erstellung eines Datenmodells entwickelt, auf deren Basis der allgemeinen Öffentlichkeit in geeigneter und verständlicher Form Emissionsdaten dieser diffusen Quellen regionalisiert bereitgestellt werden können. Im Rahmen des Datenmodells wurde ebenfalls ein Verfahren implementiert, das eine jährliche Aktualisierung der Emissionsdaten zulässt, wobei das Jahr 2008 als Bezugsjahr festgelegt wurde. Als Emissionsquellen wurden im Rahmen des Projektes Verkehr, Landwirtschaft und private Haushalte berücksichtigt.

Ein weiteres Ziel war die Entwicklung eines Konzeptes zur Visualisierung der generierten Informationen. Dabei sollte eine geeignete und verständliche Form gefunden werden, die Ergebnisse des Projektes der Allgemeinheit zur Verfügung zu stellen.

Nach Umsetzung der im Projekt entwickelten Vorgehensweise des Datenmodells sowie des im Projekt entwickelten Konzeptes zur Bereitstellung der generierten Informationen werden die Informationen in das bestehende PRTR-System eingebunden und damit der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden (s. [www.thru.de](http://www.thru.de)). Die Umsetzung und damit verbunden die Veröffentlichung der Informationen über die Internet-Plattform sind nicht Bestandteil des Projektes.

Im folgenden Bericht werden die Ergebnisse des Projektes vorgestellt: Zunächst wird der methodische Rahmen der Untersuchung beschrieben und zentrale Begriffe festgelegt (Kapitel 2). In Kapitel 3 wird das gewählte methodische Vorgehen bei der Datengenerierung, sowie die Darstellung der generierten Informationen und Daten erläutert. Aufgrund unterschiedlicher Systemgrenzen erfolgt eine getrennte Darstellung von Emissionen in Luft und Schadstoffeinträgen in Gewässer. In Kapitel 4 wird daher zunächst auf die gewählte Vorgehensweise zur Regionalisierung der Daten in Bezug auf die Emissionen in Luft eingegangen. Daran schließt sich die Erläuterung der spezifischen Vorgehensweisen bei der Herleitung der regionalisierten Emissionen in Luft der einzelnen Emissionsquellen Verkehr (Kapitel 5.1), Landwirtschaft (Kapitel 5.2) und Haushalte (Kapitel 5.3) an. Kapitel 6 beschäftigt sich mit den Stoffeinträgen in Gewässer. Die Vorgehensweise bei der Validierung der Daten wird in Kapitel 7 dargestellt. Das im Projekt entwickelte Konzept zur Visualisierung der generierten Informationen wird in Kapitel 8 beschrieben. In Kapitel 9 steht zum einen die zukünftige Nutzung der im Projekt generierten Daten und Informationen im Vordergrund. Zum anderen wird ein Überblick über eine Weiterentwicklung der vorgestellten Vorgehensweise zur Ermittlung von regionalisierten Emissionswerten gegeben.

Die im Rahmen des Projektes erstellten Projektberichte sind im Anhang zu finden.

## 2 Der methodische Rahmen

Grundsätzlich zielt das Projekt auf die Entwicklung einer Vorgehensweise zur Ermittlung von Datenmodellen für die Abbildung von diffusen Quellen in Deutschland im PRTR, um für die allgemeine Öffentlichkeit geeignete und verständliche Emissionsdaten bereitstellen zu können.

Neben der methodischen Vorgehensweise bei der Datengenerierung (s. Kapitel 3.1) und der Bereitstellung der generierten Informationen (Kapitel 3.2) wurde zunächst der Rahmen definiert, in den das Projekt eingebunden ist. Hierzu gehören

- die Festlegung der Zielgruppe bzw. der Nutzergruppen,
- die Definition des Begriffs „diffuse Quellen“,
- die Unterscheidung zwischen Freisetzung und direkten Emissionen,
- die Festlegung der berücksichtigten Kompartimente und Schadstoffe, sowie des
- Bezugsjahrs und des Aktualisierungsschemas.

### 2.1 Zielgruppe bzw. Nutzergruppen

In Anlehnung an das bisher bestehende System der Ausweisung von Punktquellen im Rahmen des PRTR wurde die Bereitstellung von Informationen für den informierten Bürger als primäres Ziel festgelegt. Der im Rahmen des Projektes zu entwickelnde Prototyp zur Darstellung der Emissionsdaten wurde daher als Web-Portal für die Öffentlichkeit entwickelt und wird in das neue PRTR-Portal des UBA, Thru.de ([www.thru.de](http://www.thru.de)), integriert (s.a. Kapitel 8.1).

Durch die Festlegung der Zielgruppe ergibt sich eine spezifische Anforderung an die Bereitstellung der im Projekt generierten Informationen. Neben den auch in der Wissenschaft geforderten Anforderungen, wie konsistente Systematik der Informationen und Transparenz hinsichtlich Vorgehensweise und entsprechende Dokumentationen, müssen die Informationen aktueursgerecht zur Verfügung gestellt werden (s. hierzu Kapitel 8.1).

Die im Projekt generierten Informationen und Daten sollen zusätzlich anderen Akteuren (beispielsweise der Wissenschaft oder Behörden) angeboten werden.

### 2.2 Diffuse Quellen

Das Projekt zielt auf die Abbildung von Emissionen aus diffusen Quellen. Gemäß Art. 2 Nr. 9 PRTR-Protokoll sind unter diffusen Quellen „die vielen kleinen oder verteilten Quellen [zu verstehen], aus denen Schadstoffe in Boden, Luft oder Wasser freigesetzt werden können, deren kombinierte Wirkung auf diese Medien erheblich sein kann und bei denen es praktische Schwierigkeiten bereitet, Meldungen von jeder einzelnen Quelle einzuholen“. Diese sind nach § 2 Abs. 2 Nr. 5 SchadRegProtAG vom Umweltbundesamt in das Register einzustellen.

Gemäß dieser Definition werden in diesem Projekt Emissionen aus den Bereichen Haushalte, Landwirtschaft und Verkehr erfasst, die gemäß PRTR-Protokoll nicht als Punktquellen zu verstehen sind. Eine Ausnahme bildet aufgrund der vorliegenden methodischen Rahmenbedingungen der Bereich Landwirtschaft (s. Kapitel 5.2).

### 2.3 Direkte Emissionen vs. Stoffeinträge

Das Schadstoff- und -verbringungsregister (PRTR) zielt auf die Abbildung von anthropogen verursachten Emissionen in die Kompartimente Luft, Boden und Wasser ab. Dies impliziert für das Projekt nur solche Emissionen zu erfassen, die man prinzipiell einer Quelle zuordnen könnte und die durch eine

Quelle verursacht wird, deren Einzelerfassung entweder nicht möglich oder nicht praktikabel ist. Das hieße im Projekt werden nur die durch Landwirtschaft, Haushalte und Verkehr direkt verursachten Emissionen – im Folgenden auch direkte Emissionen genannt – berücksichtigt.

Die Einschränkung auf direkte Emissionen aus diffusen Quellen würde ein unzureichendes Bild über die Schadstoffbelastung in Gewässern geben. Die im Rahmen des Projektes erarbeiteten Daten und Informationen sind als Teil einer umfassenden Darstellung der Schadstoffbelastung der Umwelt zu sehen, die in einer Gesamtdarstellung der Emissionsquellen bzw. Umweltbelastungen im Rahmen von PRTR münden soll. Daher werden im Projekt, neben den direkten Emissionen in Luft auch Schadstoffeinträge in Gewässer in das deutsche PRTR eingestellt. Damit werden zusätzlich zu den direkten Emissionen in das Kompartiment Wasser gelangende Schadstoffe abgebildet, die über Einträge wie Deposition etc. über die Kompartimente Boden und Luft ins Gewässer gelangen.

Diese Erweiterung der ursprünglichen Systemgrenze wird nach Einschätzung von Ecologic GmbH (s. Anhang 2) durch die PRTR-VO gedeckt. Die Abgabe von Emissionen ist eine Unterkategorie von Freisetzungen gem. der Definition in Art. 2 Nr. 10 PRTR-VO wonach „Freisetzung jedes Einbringen von Schadstoffen in die Umwelt infolge menschlicher Tätigkeiten, ob absichtlich oder versehentlich, regelmäßig oder nicht regelmäßig, einschließlich Verschütten, Emittieren, Einleiten, Verpressen, Beseitigen oder Verkippen, oder das Einbringen über Kanalisationssysteme ohne endgültige Abwasserbehandlung“ ist.

Weiterhin ist zu beachten, dass das SchadRegProtAG die Aufnahme von solchen Informationen über Freisetzungen aus diffusen Quellen vorschreibt, die in „angemessener räumlicher Detaillierung bei den zuständigen Bundes- und Landesbehörden vorhanden sind“ (§ 2 Abs. 2 Nr. 5 SchadRegProtAG). Das SchadRegProtAG definiert nicht den Begriff Freisetzung.

Gemäß Art. 1 Nr. 12 PRTR-VO sollen Emissionen aus diffusen Quellen in die Kompartimente Luft, Wasser und Boden abgebildet werden. Hinsichtlich der Abbildung der Schadstoffe (s. Kapitel 2.4), werden nur Emissionen in die Luft und Schadstoffeinträge in Gewässer berichtet. Emissionen in den Boden werden nicht separat erfasst, da die Datengrundlage entweder nicht hinreichend verlässlich ist oder mögliche Eintragspfade nicht relevant sind. Emissionen in den Boden werden insofern berücksichtigt, dass Einträge, die über den Boden ins Gewässer gelangen bei den Stoffeinträgen in Gewässer dargestellt werden (s. Abbildung 19).

## 2.4 Schadstoffe

Aufgrund der umfangreichen Liste der Schadstoffe des PRTR-Protokolls (Anhang II PRTR-Protokoll) können nicht zu allen Stoffen Daten und Informationen bereitgestellt werden. Bei der Auswahl der Stoffe wurden gemäß des PRTR-Protokolls die Stoffe berücksichtigt, deren Auswirkungen von diffusen Quellen „erheblich“ sind. Aus dem Wortlaut des PRTR-Protokolls (Art. 2 Nr. 9) geht hervor, dass diese durch deren kombinierte Wirkung auf diese Medien erheblich sein können. Im Rahmen des Projektes wurde diese Definition so interpretiert, dass die kombinierte Wirkung die Summenwirkungen einer Vielzahl von diffusen Quellen meint. Im Rahmen des Projektes wird „erheblich“ mit „sinnvolle Information für den Nutzer“ gleichgesetzt, d.h. unter anderem:

- Relevanz von diffusen Quellen bei einzelnen Schadstoffen im Vergleich zu Punktquellen;
- Relevanz der einzelnen Schadstoffe in Bezug auf die Menge der Freisetzung;
- Relevanz der einzelnen Schadstoffe in Bezug auf die Umweltrelevanz des Stoffes.

Weitere Kriterien bei der Auswahl der zu berichtenden Schadstoffe sind vorliegende Regulierungen sowie Qualität und Umfang der Datengrundlage.

Die zu berücksichtigenden Schadstoffe wurden im Rahmen des Projektes jeweils für Haushalte, Landwirtschaft und Verkehr und jeweils für Emissionen in Luft und Stoffeinträge in Gewässer definiert. Es wurde keine einheitliche Liste für alle Quellen und alle Kompartimente festgelegt, da die Datenlage und die Relevanz einzelner Schadstoffe zwischen den Quellen und Kompartimenten unterschiedlich sind und damit eine einheitliche Liste für alle Quellen und alle Kompartimente nicht sinnvoll wäre.

Tabelle 1 gibt einen Überblick über die für die einzelnen Bereiche ausgewählten Schadstoffe. Die Details zur Auswahl der Schadstoffe sind in den jeweiligen Kapiteln zu Emissionen in Luft und Stoffeinträge in Gewässer beschrieben (s. Kapitel 5 und 6).

**Tabelle 1: Schadstoffe, die für diffuse Quellen im PRTR berücksichtigt werden sollen**

Schadstoffe	Luft			Wasser
	Haushalte	Landwirtschaft	Verkehr	
Methan (CH <sub>4</sub> )		X		
Kohlenmonoxid (CO)	X		X	
Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	X		X	
Distickstoffoxid (N <sub>2</sub> O)		X		
Ammoniak (NH <sub>3</sub> )		X		
flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC)	X		X	
Stickoxide (NO <sub>x</sub> / NO <sub>2</sub> )	X		X	
Schwefeloxide (SO <sub>x</sub> / SO <sub>2</sub> )	X			
Gesamtstickstoff (als N)				X
Gesamtphosphor (als P)				X
Cadmium und Verbindungen (als Cd)				X
Chrom und Verbindungen (als Cr)				X
Kupfer und Verbindungen (als Cu)				X
Quecksilber und Verbindungen (als Hg)				X
Nickel und Verbindungen (als Ni)				X
Blei und Verbindungen (als Pb)				X
Zink und Verbindungen (als Zn)				X
Dioxine und Furane (PCDD und PCDF; als Teq)	X			
Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)				X
Polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) <sup>1</sup>	X			X
Feinstaub (PM <sub>10</sub> )	X		X	
Diuron				X
Isoproturon				X

Anm.: 1 Nach dem PRTR-Protokoll sind PAKs als Benzo[a]pyren (50-32-8), Benzo[b]fluoranthren (205-99-2), Benzo[k]fluoranthren (207-08-9), Indeno[1,2,3-cd]pyren (193-39-5) zu messen.

**Tabelle 2: Übersicht über die im Summenparameter PAK enthaltenen Einzelstoffe bei Emissionen in Luft (Haushalte) und Stoffeinträge in Gewässer**

	Emissionen in Luft: Haushalte	Stoffeinträge in Gewässer
Anthracen	X	X
Chrysen	X	X
Triphenylen	X	
Benzo[a]pyren	X	X
Dibenz[a,h]anthracen	X	X
Benz[a]anthracen	X	X
Benzo[j]fluoranthen	X	
Indeno[1,2,3-cd]pyren	X	X
Benzo[g,h,i]perylen	X	X
Acenaphthen		X
Acenaphthylen		X
Benzo[b]fluoranthen	X	X
Fluoranthen	X	X
Fluoren		X
Naphthalin		X
Phenanthren		X
Pyren		X

## 2.5 Bezugsjahr und Aktualisierung

Die vorliegenden Informationen und Emissionsdaten beziehen sich auf das Jahr 2008. Für die nachfolgenden Jahre waren keine Daten vorhanden, die gleichermaßen für alle Emittenten und ausgewählten Schadstoffe Daten verfügbar sind. Weiterhin waren die Jahre 2009 bis 2011 durch eine hohe Volatilität der wirtschaftlichen Aktivitäten infolge der globalen Wirtschaftskrise geprägt.

Aufgrund des gewählten Vorgehens bei der Ermittlung der regionalisierten Daten wird aber eine kontinuierliche Aktualisierung der Emissionswerte bzw. der Schadstoffeinträge in den nächsten Jahren möglich sein (s. Kapitel 3.1.6).

## 3 Methodisches Vorgehen

Bei dem methodischen Vorgehen wird zwischen der Generierung der Daten und Informationen (Kapitel 3.1) und der Bereitstellung der Informationen für die Öffentlichkeit (Kapitel 3.2) unterschieden.

### 3.1 Datengenerierung

#### 3.1.1 Gewählter Ansatz

Für die Ermittlung regionalisierter Emissionsdaten und Schadstoffeinträge kann zwischen der unterschiedlichen räumlichen Disaggregation der Eingangsdaten differenziert werden:

- Bottom-up-Ansatz: Emissionen und Schadstoffeinträge werden auf einer geographisch/ administrativ kleinen Einheit mit ggf. unterschiedlichen Methoden erhoben und dann auf das gewünschte Aggregationsniveau aggregiert;

- Top-down-Ansatz: Emissionen und Schadstoffeinträge werden auf einer geographisch/ administrativ höheren Einheit, bspw. Deutschland, erhoben und dann auf das gewünschte Aggregationsniveau disaggregiert.

Als wesentliche Vorteile von Bottom-up Ansätzen werden häufig eine bessere Abbildung der Situation vor Ort gesehen sowie die i.A. methodisch einfache Aggregation der Vorort erhobenen Daten. Die Disaggregation von Daten bei Top-down-Ansätzen bedarf i.A. zusätzlicher Annahmen, die im Detail dazu führen können, dass die Emissionssituation vor Ort nicht hinreichend genau abgebildet wird.

Wenn aber flächendeckend keine Daten vorliegen, die mit einheitlichen Erhebungsmethoden ermittelt wurden, so können sich die erfassten Daten unterscheiden. Der Vorteil einer hinreichend genauen Abbildung der Vorortsituation kann dann nicht realisiert werden. Diese Situation kann für Deutschland festgestellt werden (s.a. Kapitel 3.1.2). Der Nachteil vermeiden die Top-down-Ansätze, in dem hinsichtlich Art, Umfang und Qualität der Daten einheitliche Vorgehensweisen festgelegt und umgesetzt werden.

Für Emissionen in die Luft wurde für das Projekt ein Top-down-Ansatz gewählt. Das heißt, es wurden für Gesamtdeutschland vorliegende Daten zu Emissionen aus diffusen Quellen als Ausgangspunkt für die Ermittlung genutzt und diese dann mithilfe von spezifischen Annahmen regionalisiert. Für die Landwirtschaft bilden Landkreisdaten den Ausgangspunkt (s. Kapitel 3.1.4 bzw. 4). Für die Schadstoffeinträge in Gewässer wurde ein Top-down-Ansatz mit einem Bottom-up-Ansatz verbunden (s. Kapitel 6.3). Da eine flächendeckende Bereitstellung von regionalisierten Emissionsdaten als zentral für das Projekt angesehen wird, wurde der Top-down-Ansatz gewählt.

### 3.1.2 Datenquellen

Die fachliche Prüfung eines geeigneten Vorgehens zur Ermittlung der Emissionsdaten wurde durch eine rechtliche Prüfung der Möglichkeiten bei der Auswahl der relevanten Datenquellen im Rahmen des Projekts ergänzt. Sowohl auf Bundes- als auch Landesebene werden Daten zu Emissionen aus diffusen Quellen gesammelt und aufbereitet. Dabei sind Art, Umfang und Qualität der Daten, die dazu bei den Bundes- und Landesbehörden vorhanden sind, nicht einheitlich. Manche, jedoch nicht alle Bundesländer haben Emissionskataster mit relevanten Daten. Darüber hinaus werden von den Bundesbehörden, wie dem Umweltbundesamt, weitere Daten auf Bundesebene erfasst und aufbereitet.

Der Gesetzestext des SchadRegProtAG gibt nur wenige Vorgaben dazu, wie Informationen zur Freisetzung von Schadstoffen aus diffusen Quellen in das PRTR aufzunehmen und darzustellen sind. Nach § 2 Abs. 2 Nr. 5 SchadRegProtAG hat das Umweltbundesamt in das Register Informationen über diffusen Quellen einzustellen, die in angemessener räumlicher Detaillierung bei den zuständigen Bundes- und Landesbehörden vorhanden sind und deren Aufnahme in das Register praktikabel ist. Der Wortlaut des § 2 Abs. 2 Nr. 5 SchadRegProtAG schreibt ausdrücklich vor, dass grundsätzlich neben Daten der Landesbehörden auch Informationen der Bundesbehörden in das Register einzustellen sind.

Nach Einschätzung von Ecologic GmbH<sup>1</sup> (Bodle 2013, ergänzend s.a. Bodle und Homann 2013) regelt das SchadRegProtAG ausdrücklich, dass Daten der Bundesbehörden zu diffusen Quellen in das Register einzustellen sind, auch wenn daneben Daten von einzelnen Landesbehörden vorhanden sind. Es genügt nach dieser Einschätzung nicht den Anforderungen des PRTR-Protokolls und des SchadReg-

---

<sup>1</sup> Die folgenden Ausführungen basieren auf Bodle (2013).

ProtAG, wenn das deutsche Register lediglich Links auf Daten enthält, die bei einigen Bundesländern öffentlich zugänglich sind.

Die Pflicht zur Einstellung in das Register besteht unter zwei Voraussetzungen: Das UBA muss Informationen einstellen, die (1) bereits in angemessener räumlicher Detaillierung bei den zuständigen Bundes- und Landesbehörden vorhanden sind und (2) deren Aufnahme in das Register praktikabel ist.

Die vom Umweltbundesamt in das PRTR eingestellten Informationen können bspw. aus anderen Berichterstattungen oder als Ergebnisse von Forschungsprojekten vorhanden sein. Der Ausdruck „vorhanden sind“ (§ 2 Abs. 2 Nr. 5 SchadRegProtAG) schließt nicht aus, dass die Bundesbehörden Daten erfassen und so aufbereiten, dass sie für die Darstellung im Register zu diffusen Quellen geeignet und aussagekräftig sind. Anderenfalls würde die Qualität des Registers davon abhängen, ob die vorhandenen Daten bereits von der ersten Berichtsperiode an in entsprechender Qualität vorhanden waren oder in Zukunft mehr oder weniger zufällig vorhanden sein werden.

Die Verpflichtung Deutschlands, gemäß des PRTR-Protokolls, ein deutsches PRTR-Register einzurichten, impliziert, dass das UBA, als beauftragte Bundesbehörde (gemäß § 2 Abs. 1 SchadRegProtAG), Einfluss auf die im Register aufgenommenen Daten nehmen kann. Eine Verlinkung der Daten, die die einzelnen Bundesländer zur Verfügung stellen, reicht hierbei nicht aus. Die Bundesländer könnten den Zugang zu diesen Informationen auch wieder verwehren oder die unter dem Link zu findenden Informationen ändern oder löschen.

### 3.1.3 Direkte Emissionen in Luft und Schadstoffeinträge in Gewässer

Die Erfassung von Schadstoffeinträgen in Gewässer (s. hierzu Kapitel 2.3) erfordert eine Trennung der Ermittlung von direkten Emissionen in Luft von der Ermittlung von Schadstoffeinträgen in Gewässer. Aus methodischer Sicht gibt es derzeit keine Möglichkeit identische Systemgrenzen für alle Kompartimente anzuwenden. So erfolgt der Transport von Schadstoffeinträgen in das Wasser von der Emissionsquelle zum Wasser auch über das Kompartiment Luft. Bei nicht fachkundiger Nutzung der bereitgestellten Daten kann es zu Doppelzählungen kommen, so dass die Umweltbelastung vom Nutzer höher interpretiert werden könnten als sie tatsächlich ist. Dem soll durch entsprechende Dokumentation und Information begegnet werden.

Es muss beachtet werden, dass bei den dargestellten Schadstoffeinträgen keine Emissionen außerhalb Deutschlands erfasst werden. Dies wird durch entsprechende Anpassungen in den Modellberechnungen berücksichtigt. Weiterhin muss beachtet werden, dass bei den Schadstoffeinträgen in Gewässer auch Punktquellen miterfasst sind.

Dabei ist besonders zu berücksichtigen, dass aufgrund unterschiedlicher Systemgrenzen (und damit potenzieller Doppelzählung)

- die Emissionen in Luft aus diffusen Quellen und die Stoffeinträge in Gewässer,
- im Bereich der Landwirtschaft die Emissionen aus den im PRTR berichteten Punktquellen und aus den diffusen Quellen, sowie
- die Stoffeinträge in Gewässer und die im PRTR berichteten Emissionen aus Punktquellen in Gewässer

nicht verglichen bzw. aufsummiert werden sollten.

### 3.1.4 Regionalisierung

Das PRTR zielt auf eine regionalisierte Darstellung der Emissionsquellen ab, analog zu dem Vorgehen bei den Punktquellen. Während bei den Punktquellen die Regionalisierung durch den Standort der Punktquelle vorgegeben ist, stehen bei diffusen Quellen verschiedene Möglichkeiten zur Regionalisierung von Daten zur Verfügung. Neben der Regionalisierung entlang administrativen Grenzen (ein Verfahren das bei landwirtschaftlich bedingten Emissionen eher üblich ist) oder einer Regionalisierung entlang von hydrologischen Teileinzugsgebieten (bei Schadstoffeinträgen in Gewässer üblich) besteht die Möglichkeit der Rasterung (z.B. bei der Regionalisierung von hochaggregierten Daten).

Um den Nutzer eine einfache regionale Identifizierung und damit auch einen Vergleich der Relevanz von Emissionsquellen zu ermöglichen, wird in diesem Projekt das Konzept der Rasterung verwendet. Das heißt, Deutschland wird in 3km x 3km Gitterzellen eingeteilt und alle Emissionen diesen Zellen zugeordnet (s. Kapitel 4). Dieses Verfahren wird bei Schadstoffeinträgen in Gewässer mit hydrologischen Teileinzugsgebieten kombiniert (s. hierzu Kapitel 6.3).

### 3.1.5 Validierung

Die Bereitstellung von Daten für die Öffentlichkeit, mit dem Ziel, den Bürger sachgerecht zu informieren und die Möglichkeit Fehlinformationen zu minimieren, erfordert eine hinreichend präzise Validierung der generierten Daten.

Die im Projekt erarbeiteten Datensätze wurden auf ihre Plausibilität und hinsichtlich ihrer Qualität validiert. Hierzu wurden öffentliche Daten aus Berichtspflichten sowie aus anderen öffentlich zugänglichen Quellen genutzt und Experten des Umweltbundesamts sowie der Länder konsultiert und deren Expertise und Datenquellen in die Validierung einbezogen (s. hierzu Kapitel 7).

### 3.1.6 Aktualisierung

Im Grundsatz sollen die bereitzustellenden regionalisierten Emissionsdaten eine regelmäßige, d.h. jährliche, Aktualisierung erfahren. Eine flächendeckende jährliche Aktualisierung wäre aber mit einem entsprechenden hohen administrativen und finanziellen Aufwand verbunden. Aus diesem Grund wurde ein Verfahren entwickelt, das weitgehend vorhandene Erhebungen von Daten nutzt und diese für die Aktualisierung der Daten nutzt.

Die Ermittlung der Emissionen eines Schadstoffes durch eine Quellgruppe bzw. der Schadstoffeinträge in Gewässer erfolgt zweistufig (s. Kapitel 6). In der ersten Stufe werden die Emissionen für eine geographisch/ administrativ hoch aggregierte Region ermittelt. Die hochaggregierte Region kann Deutschland, ein Landkreis (bei der Landwirtschaft) oder ein Flusseinzugsgebiet (bei Schadstoffeinträgen in Gewässer) sein. Hierbei werden die Emissionsfaktoren mit einer Aktivitätsrate verknüpft. Ein Emissionsfaktor gibt die Emission eines Stoffs je Aktivität an, bspw. in kg CO<sub>2</sub> je gefahrene Kilometer. Die Aktivitätsrate wiederum beschreibt die Aktivität der Wirtschaftssubjekte; dies kann bspw. die Nachfrage nach Energie durch einen Haushalt in Joule oder auch die Verkehrsleistung in gefahrene Kilometer sein. Die aggregierten Emissionen eines Schadstoffes, verursacht durch eine Quellgruppe, werden dann mit Hilfe eines Verteilparameters auf die Regionen bzw. in diesem Projekt auf die Zellen verteilt:

$$(1) \quad E_{s,z,t} = EF_{s,t} * AR_t * VP_{s,z,t},$$

wobei:

$E_{s,z,t}$  = Emission eines Schadstoffes  $s$  in der Zelle  $z$  im Jahr  $t$ ,

$EF_{s,t}$  = Emissionsfaktor eines Schadstoffs  $s$  im Jahr  $t$ ,

$AR_t$  = Aktivitätsrate im Jahr  $t$ ,

$VP_{s,z,t}$  = Verteilparameter für den Schadstoff  $s$  für die Zelle  $z$  im Jahr  $t$ .

Die Aktualisierung des regionalisierten Emissionswertes erfolgt durch eine jährliche Anpassung der Aktivitätsrate. Die Aktivitätsrate wird hierbei so gewählt, dass auf Basis beim UBA oder öffentlich verfügbarer Informationen diese ohne großen Aufwand ermittelt werden kann.

Dieses Vorgehen bedeutet aber auch, dass die Emissionsfaktoren sowie die regionalen Verteilparameter nicht in jährlichen Zeitabständen aktualisiert werden. Dem Vorteil des gewählten Vorgehens in Form einer relativ zeitnahen Aktualisierung der regionalisierten Emissionswerte und Stoffeinträge steht der Nachteil gegenüber, dass sich im Zeitablauf entstehende Ungenauigkeiten beim Ausweis der aktualisierten regionalisierten Werte kumulieren könnten. Im Rahmen eines Experten-Workshops beim Umweltbundesamt (s. Kapitel 7.1) wurde hierzu die Einschätzung vertreten, dass sich i.A. Emissionen aus diffusen Quellen bzw. Emissionsfaktoren und regionale Verteilparameter langsamer verändern als Emissionen aus Punktquellen. Eine jährliche Aktualisierung der Emissionsfaktoren und Verteilparameter wurde daher als nicht notwendig angesehen; eine Aktualisierung der Werte in größeren Zeitabständen, bspw. alle fünf Jahre, wurde als hinreichend angesehen.

## 3.2 Informationsbereitstellung

Die im Rahmen des Projektes generierten Ergebnisse sind öffentlich und werden der Öffentlichkeit frei verfügbar zugänglich gemacht. Dieses Vorgehen entspricht dem Grundprinzip des PRTRs (s. Art. 1 PRTR-Protokoll). Aus diesem Grund werden alle Informationen unter Nutzung von Open Source Anwendungen der Öffentlichkeit bereitgestellt. Für die Darstellung der Informationen im Rahmen von Karten werden Karten aus einer Open Source Anwendung genutzt. Entsprechend dem Open-Source-Ansatz des PRTR werden alle Ergebnisse des Projektes entsprechend ihrem Charakter unter Affero General Public License (AGPL), Open Database License (ODL) oder Free Documentation License (FDL) gestellt und werden auf open street map o.a. open layer veröffentlicht.

Die im Projekt ermittelten regionalisierten Daten und das Visualisierungskonzept werden in das Portal des PRTR integriert. Dementsprechend wurden die Anforderungen aus dem Styleguide von Thru.de berücksichtigt, d.h. Thru.de bildete den Referenz- und Ausgangspunkt für das entwickelte Web-Portal für diffuse Quellen (s. Kapitel 8.1). Die Integration der Projektergebnisse und des Visualisierungskonzeptes in Thru.de ist jedoch nicht Teil des Projektes.

Die bereitgestellten Informationen sollen hinsichtlich der verwendeten Systematik vergleichbar und konsistent sein, um für den Nutzer verständlich und nützlich zu sein. Wird davon abgewichen, muss dies explizit in der Dokumentation bzw. in der Erläuterung dem Nutzer verständlich gemacht werden. Die Bereitstellung der Informationen soll dabei wissenschaftliche Standards erfüllen (u.a. Transparenz und Konsistenz).

Aufgrund der unterschiedlichen Systemgrenzen zwischen Emissionen in Luft und Stoffeinträgen in Gewässer werden diese getrennt voneinander dargestellt bzw. sind über eine Weiche nur getrennt zugänglich. Hierbei sind die fachlichen Spezifika der jeweiligen Umweltmedien zu berücksichtigen und angemessen zu erläutern.

Die regionalisierten Emissionsdaten und Daten zu Schadstoffeinträgen werden um Informationen zu

- Datenquelle/ Datenlieferant,
- Erhebungsmethodik/ Messverfahren,

- Beschreibung der Systemgrenzen (räumlich, zeitlich, technisch),
- Jahr,
- Fortschreibung,
- klassifizierte Beschreibung der Emissionsquelle,
- freie Verfügbarkeit der Daten, Veröffentlichung im Internet (FDL, ODL)

ergänzt. Das im Projekt entwickelte Visualisierungskonzept wird in Kapitel 8 erläutert.

Die im Projekt ermittelten regionalisierten Daten werden in das PRTR-Portal Thru.de integriert.

## 4 Regionalisierung von Emissionen in die Luft

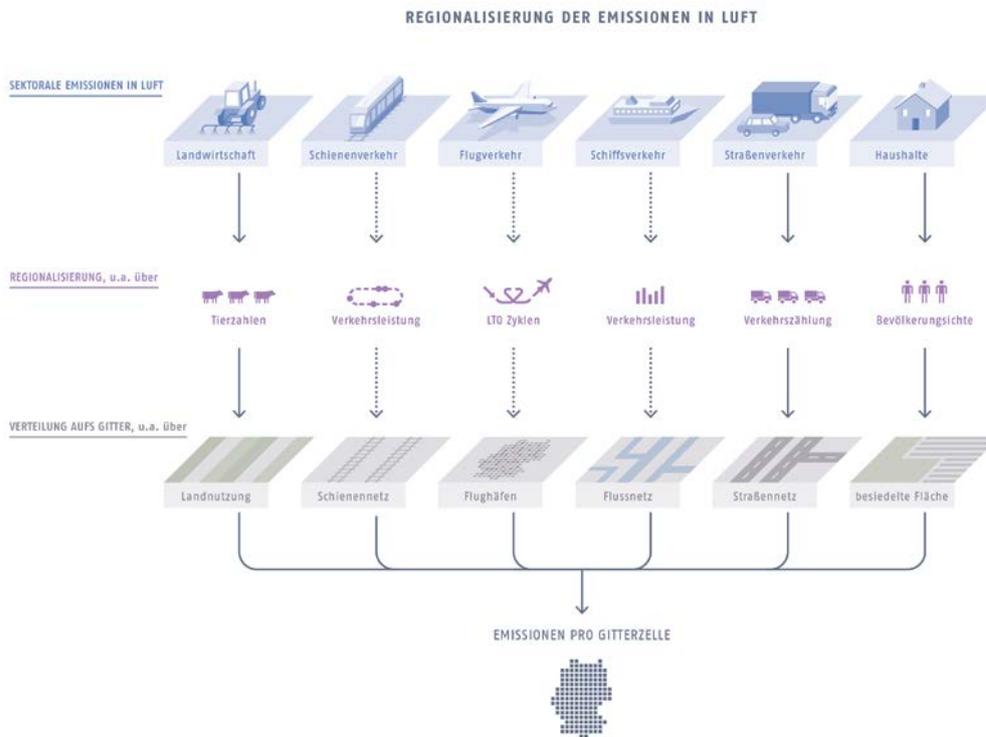
Im PRTR sollen, analog zu dem Vorgehen bei Punktquellen, die Emissionen aus diffusen Quellen regionalisiert dargestellt werden. Im Gegensatz zur Regionalisierung von Punktquellen ist bei diffusen Quellen eine punktgenaue Zuordnung nicht möglich. Grundsätzlich sind diffuse Quellen dadurch charakterisiert, dass eine Erfassung der Emissionen am Ort der Emissionen nicht erfolgt oder nur mit erheblichem Aufwand erfolgen kann. Methodisch ist anzumerken, dass diffuse Quelle teilweise nicht stationär sind (Verkehr) oder über eine Fläche (Landwirtschaft oder auch Haushalte) erfolgen.

Grundsätzlich bestehen mehrere Möglichkeiten Emissionen zu regionalisieren. Es können Top-down-Ansätze, Bottom-up-Ansätze oder eine Kombination beider Methoden genutzt werden (s. Kapitel 3.1.1). Für die Regionalisierung von Emissionen in die Luft wird in diesem Projekt der Top-down-Ansatz gewählt (s. Kapitel 3.1.1). Das heißt, ausgehend von national oder regional verfügbaren Emissionswerten werden mit Hilfe eines im Kapitel 4.1 beschriebenen Verfahrens diese 3km x 3km Gitterzellen zugeordnet. Die Zuordnung der Emissionswerte auf 3km x 3km-Gitterzellen erlaubt eine gegenüber administrativen Einheiten geographisch recht kleinteilige Ausweisung von Emissionswerten (s.a. Kapitel 3.1.4). Dem Nutzer ermöglicht dies eine einfache ortsnahe Identifizierung der Schadstoffbelastung aus diffusen Quellen.

### 4.1 Grundsätzliches Vorgehen

Den Ausgangspunkt für die räumliche Verteilung der Emissionen auf die Gitterzellen bilden regional ermittelte Emissionswerte. Im Fall des Verkehrs und der Haushalte sind es Emissionswerte für Gesamtdeutschland (Kapitel 5.1 und 5.3); im Fall der Landwirtschaft liegen die relevanten Ausgangsdaten auf der Ebene der Landkreise (Kapitel 5.2) vor.

Die räumliche Verteilung der nationalen oder landkreisbezogenen Daten findet im Wesentlichen in zwei Schritten statt. Im ersten Schritt werden die aggregierten Daten auf die Ebene von administrativen oder kleineren räumlichen Einheiten räumlich verteilt. Hierbei werden sektorspezifische Indikatoren auf der regionalen Ebene zu Hilfe genommen. Im zweiten Schritt werden die regionalisierten sektoralen Emissionen innerhalb der administrativen oder kleineren räumlichen Einheit mit georeferenzierten Parametern (z.B. Verkehrszählraten) auf die Gitterzellen aufgelöst. Abbildung 1 zeigt schematisch das quellgruppenbezogene Vorgehen für den Top-down-Ansatz beginnend mit nationalen bzw. landkreisbezogenen Emissionswerten.



**Abbildung 1: Schematische Darstellung der räumlichen Auflösung von Emissionen in die Luft**

Die Regionalisierung der Emissionen auf die Ebene der administrativen oder kleineren räumlichen Einheiten kann entweder auf Kreis- oder Gemeindeebene durchgeführt werden. Der Schritt der Regionalisierung auf administrative Ebenen ergibt sich aus der Notwendigkeit, dass manche Indikatoren, insbesondere sozioökonomische Statistiken, nur für administrative Einheiten vorhanden sind (bspw. Beschäftigtenzahlen auf der Kreisebene).

Die quellgruppenbezogene Kombination der Regionalisierung und der Gitterverteilung des Emissionsmodells kann allgemein anhand folgender Gleichung beschrieben werden (s.a. Thiruchittampalam 2013):

$$(2) \quad E_{s,z} = \sum_{f=1}^n \sum_{u=1}^n E_{s,u,f} \frac{x_{s,u,f,k} y_{s,z,u,k}}{\sum_{k=1}^n x_{s,u,f,k} \sum_{i=1}^n y_{s,z,u,k}}$$

wobei:

$E_{s,z}$  = Emissionen des Schadstoffs  $s$  in Zelle  $z$ ,

$E_{s,u,f}$  = Emissionen des Schadstoffs  $s$  im Subsektor  $u$ ,  
bedingt durch den Energieträger  $f$ ,

$x_{s,u,f,k}$  = kreisbezogener Verteilparameter für den Schadstoff  $s$ ,

$y_{s,z,u,k}$  = zellenbezogener Verteilparameter für den Schadstoff  $s$ .

Für den Fall, dass die Emissionen nicht durch den Einsatz eines Energieträgers bedingt sind, erfolgt eine entsprechende Anpassung der obigen Formel (2).

Die geographische Einteilung der Land- und Stadtkreise folgt der Systematik von Eurostat (2012), d.h. die Grundlage bildet die NUTS-3 Ebene.

Die Gleichung (2) beschreibt die räumliche Verteilung der Emissionen mit den zugehörigen Modellierungsparametern für Deutschland. Die Regionalisierung findet auf der Grundlage von subsektor-, energieträger- und schadstoffspezifischen Anteilen der jeweiligen Verteilparameter auf der administrativen Ebene (Kreis- oder Gemeinde) statt. Als Verteilparameter werden Indikatoren herangezogen, welche die quellgruppenabhängige Aktivität wiedergeben (z.B. Bevölkerungsdichte je Kreis). Der zweite Teil der Gleichung beschreibt die Verteilung der regionalisierten Daten auf das Gitter innerhalb der jeweiligen administrativen Einheit. Je nach Quellgruppe, Subsektor, Energieträger – falls relevant – und Schadstoff unterscheiden sich die Parameter der Gitterverteilung.

## 4.2 Technische Umsetzung der räumlichen Auflösung

Die räumliche Verteilung der nationalen Emissionen wurde technisch mit einem SQL-Server Datenbanksystem (MS-SQL Server2008/2012) umgesetzt. Die Notwendigkeit zur Umsetzung der räumlichen Verteilung in einem SQL-Server System ergibt sich aus der großen Menge an georeferenzierten Daten, welche für die räumliche Verteilung benötigt werden. Wesentliche Vorteile dieses Vorgehens, neben den guten Performanceeigenschaften, sind insbesondere die Modularisierbarkeit der verwendeten Berechnungsroutinen, die Möglichkeit zur Verwendung von Transact-SQL zur Erstellung von gespeicherten Prozeduren (Stored Procedures) und die Möglichkeit zur Nutzung von räumlichen Datentypen (geometry-Datentyp und der geography-Datentyp) zur Haltung und Bearbeitung von georeferenzierten Daten.

Ein wichtiger Schritt zur technischen Umsetzung der räumlichen Verteilung in einem Datenbanksystem ist die Datenmodellierung. Bei der Datenmodellierung werden alle für die räumliche Verteilung benötigten Daten spezifiziert und zueinander in Bezug gesetzt. Solch ein relationales Datenmodell ist die Grundlage für die Datenhaltung und Verarbeitung. Das relationale Datenmodell der räumlichen Verteilung für die Regionalisierung der diffusen Emissionen in PRTR ist in Abbildung 2 zu sehen.

Das Modellierungsgebiet umfasst Deutschland ohne internationales Gewässer oder die Küstenbereiche, wobei Binnenwasserstraßen explizit berücksichtigt werden.

Bei der Modellierung wurden 429 NUTS-3 Einheiten berücksichtigt, wie auch in Abbildung 3 zu sehen ist.

Auf der Gitterebene ist ein Gitter mit einer 1km x 1km Auflösung die Grundlage des Modells, d.h. alle Verteilparameter auf der Gitterebene werden 1km x 1km-Zellen zugeordnet und anschließend, wie auch in Abbildung 3 links zu sehen ist, auf 3km x 3km aggregiert. Insgesamt werden für 40.910 Gitterzellen mit einer Fläche von je 9km<sup>2</sup> Emissionswerte ausgewiesen (s.a. Anhang 5).

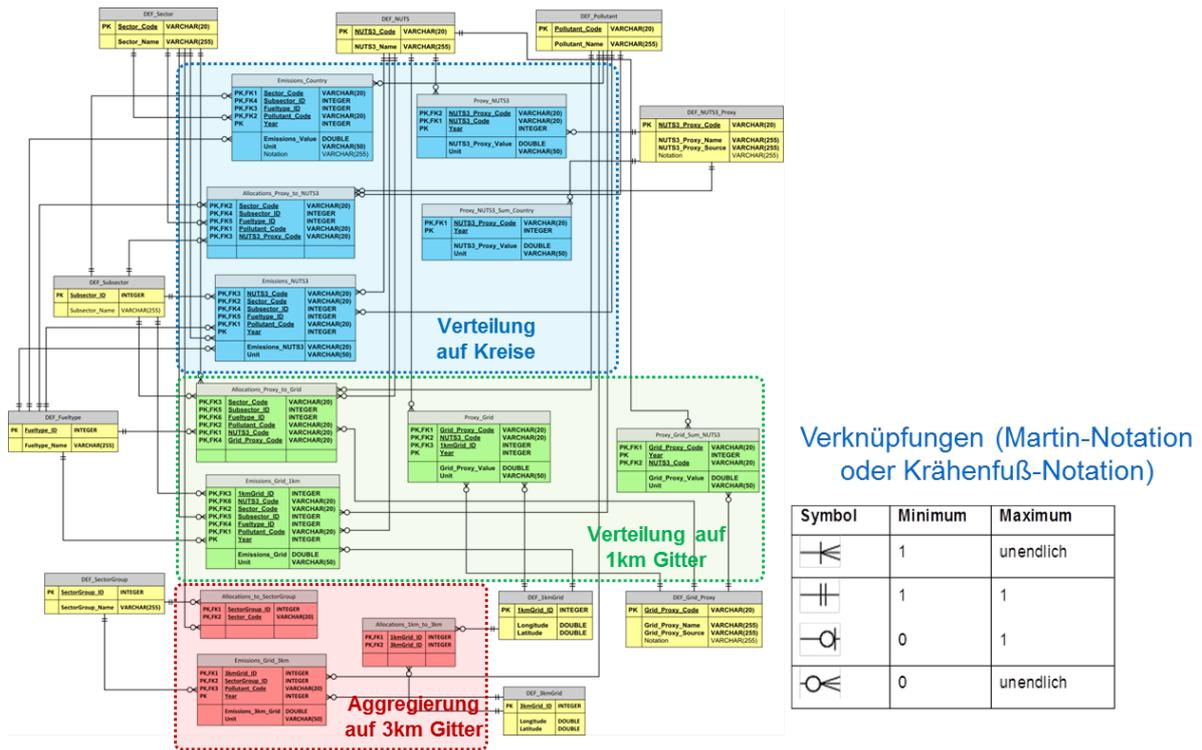


Abbildung 2: Datenmodell der räumlichen Auflösung von Emissionen auf das Zielgitter von 3km x 3km

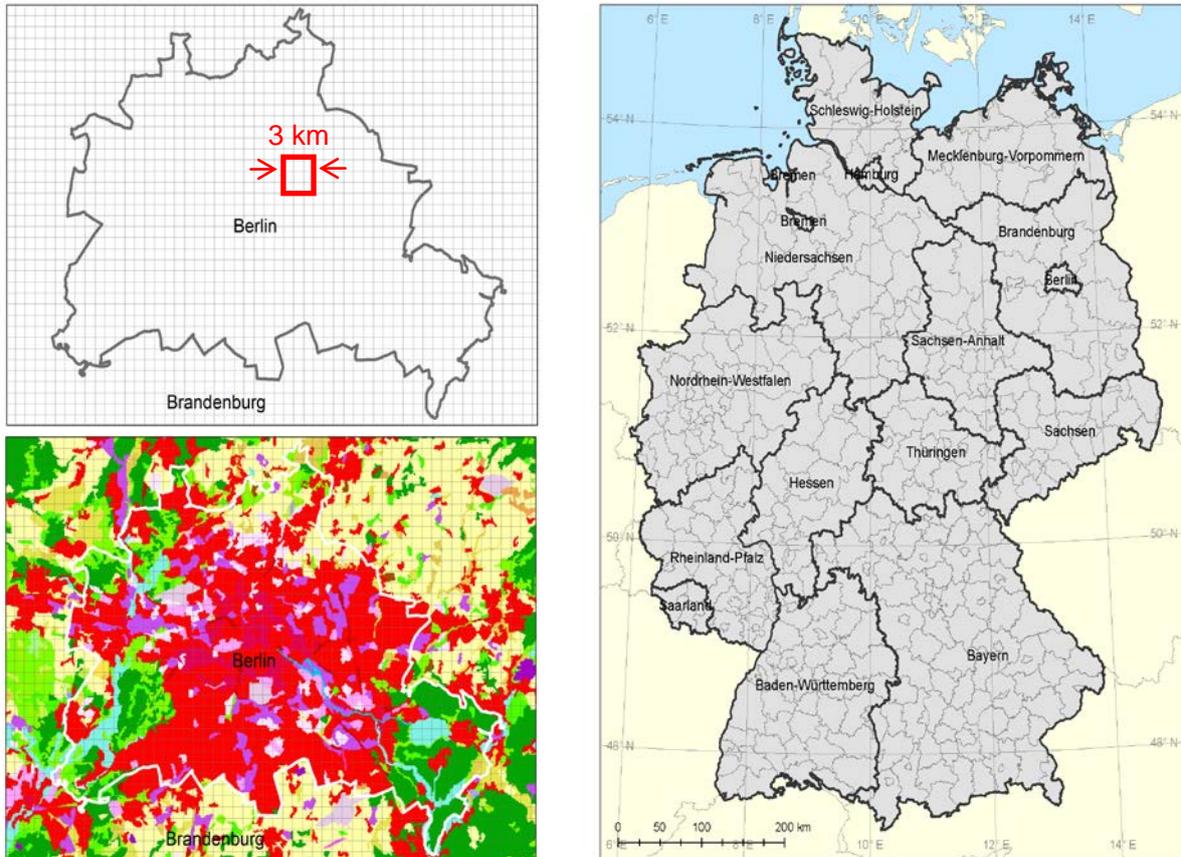


Abbildung 3: Modellierungsgebiet und Zielgitter

## 5 Emissionen in die Luft

Als Emissionen in die Luft werden die direkten Emissionen in die Luft der diffusen Quellen Verkehr, Haushalte und Landwirtschaft im PRTR dargestellt. Die im Projekt erfassten Schadstoffe unterscheiden sich in den drei Bereichen aufgrund unterschiedlicher Relevanz und Datenverfügbarkeit der einzelnen Schadstoffe in den Bereichen Verkehr (Kapitel 5.1), Haushalte (Kapitel 5.3) und Landwirtschaft (Kapitel 5.2).

### 5.1 Verkehrsbedingte Emissionen

Direkte Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen werden von allen Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor verursacht. Hinzu kommen Abriebemissionen, die auch bei Fahrzeugen mit Elektromotoren entstehen. Deshalb werden für das PRTR alle Verkehrsträger, d.h. Straße, Schiene, Wasser (Binnenschifffahrt) und Luft einbezogen.

#### 5.1.1 Auswahl der Schadstoffe

Die Auswahl der zu berichtenden Schadstoffe orientierte sich prinzipiell an der Umweltrelevanz sowie an der Verfügbarkeit verlässlicher belastbarer Emissionsdaten.

Folgende Schadstoffe wurden für den Verkehrsbereich ausgewählt (Daten basieren auf Umweltbundesamt 2012a, b):

- Kohlendioxid: Der Verkehrssektor trägt aktuell ca. 20 % zu den direkten energiebedingten Kohlendioxidemissionen in Deutschland bei und spielt damit eine relevante Rolle zum Erreichen der nationalen Klimaziele.
- Kohlenmonoxid: Der Anteil des Verkehrs an den Gesamtemissionen in Deutschland im Jahr 2010 betrug 31 %. Der für Kohlenmonoxid europaweit geltende Luftqualitätsgrenzwert ( $10 \text{ mg/m}^3$  gleitender 8h-Maximalwert) wird in Deutschland sicher eingehalten. Allerdings ist Kohlenmonoxid weiterhin als Vorläufer der Bildung von bodennahem Ozon von Bedeutung. Die Ozonzielwerte in Deutschland (8h-Tagesmaximum von  $120 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ ) werden insbesondere an ländlichen Hintergrundstationen noch häufig überschritten.
- Stickoxide: Trotz eines Rückgangs dieser Emissionen seit 1990 um 60 % hat der Verkehrssektor immer noch einen Anteil von 45 % an den Gesamtemissionen in Deutschland. Stickoxidemissionen aus dem Straßenverkehr sind Hauptverursacher für die Überschreitung europäischer  $\text{NO}_2$ -Luftqualitätsgrenzwerte an zahlreichen verkehrsnahen Messstandorten in Deutschland; sie sind zudem Vorläufersubstanzen von bodennahem Ozon. Die Höhe der Stickoxidemissionen aus dem Verkehr ist auch relevant für das Erreichen der nationalen Emissionshöchstmengen der europäischen NEC-Richtlinie (Richtlinie 2001/81/EG).
- Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ): Auch Feinstaubemissionen aus Abgasen und Abrieb sind seit 1990 nennenswert um 46 % gesunken. Der Beitrag des Verkehrs zu den nationalen Feinstaubemissionen beträgt noch 18 %. Da der Verkehr ein wichtiger Mitverursacher hoher Feinstaubmesswerte und damit auch für das Überschreiten der Grenzwerte ist, werden die verkehrsbedingten Feinstaubemissionen berücksichtigt.
- NMVOC: Bei den NMVOC ist zwischen 1990 und 2010 eine starke Verminderung der Emissionen um 89 % festzustellen. Der Verkehrssektor hat aber immer noch einen nennenswerten Anteil von 12 % an den Gesamtemissionen in Deutschland. Es gibt zwar keine Luftqualitäts-

grenzwerte für die Summe aller NMVOC<sup>2</sup>; sie sind jedoch relevante Vorläufer sekundärer Luftverunreinigungen (v.a. Ozon). Für NMVOC ist auch das fortwährende Einhalten des seit dem Jahr 2010 geltenden NEC-Ziels in den Folgejahren unsicher. Daher ist der Emissionsbeitrag des Verkehrssektors weiterhin als relevant anzusehen.

Die Treibhausgase Methan und Distickstoffoxid werden aufgrund geringer Relevanz aus dem Verkehr nicht weiter berücksichtigt. Gemessen in CO<sub>2</sub>-Äquivalenten liegt der Anteil für jeden der beiden Treibhausgase bei weniger als 1 % an den Gesamttreibhausgasemissionen des Verkehrssektors, wobei der Anteil des Verkehrssektors mit 0,3 % (Methan) und 2,4 % (Distickstoffoxid) an den Gesamtemissionen ebenfalls gering ist.

Bei den Luftschadstoffen werden Benzol, Ammoniak, Schwefeloxide, PAK und Dioxine ist der Beitrag des Verkehrssektors zu den nationalen Gesamtemissionen gering. Daher werden diese Schadstoffe für den Bereich Verkehr im PRTR nicht dargestellt. Bei Benzol wird das aktuelle Umweltziel sicher erreicht. Bei Ammoniakemissionen kann der Verkehr aufgrund der geringen Emissionsbeiträge zur Erreichung der NEC-Ziele nicht signifikant beitragen. Es ist aber nicht auszuschließen, dass in unmittelbarer Straßennähe in einzelnen Situationen in Summe die Stickoxidemissionen Critical Loads für Nährstoffeinträge der FFH-Richtlinie überschreiten. Verkehrsbedingte Emissionen von Schwefeloxiden, PAK und Dioxinen sind in Summe von geringerer Bedeutung: bei Schwefeldioxid beträgt der Anteil 0,3 %, bei PAKs weniger als 1 % und bei Dioxinen etwa 5 % an den Gesamtemissionen in Deutschland.

Schwermetallemissionen (Arsen, Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei, Zink) aus dem Verkehr sollen im PRTR vorerst nicht weiter berücksichtigt werden. Aufgrund der erheblichen Unsicherheiten bei der Höhe der Schwermetallemissionen aus dem Verkehr kann deren Umweltrelevanz nicht sicher beurteilt werden und es können keine belastbaren Emissionsdaten für das PRTR bereitgestellt werden (s.a. Anhang 3).

Für die nicht-regionalisiert dargestellten Schadstoffe werden dem Nutzer Informationen zur Verfügung gestellt über die Bedeutung dieser Schadstoffe für den Verkehr. Damit soll verdeutlicht werden, warum für diese Schadstoffe die Emissionen aus dem Verkehr nicht regionalisiert dargestellt werden.

### **5.1.2 Ermittlung aktueller Emissionsfaktoren und Emissionen**

Das Modell TREMOD bildet die Grundlage für die Ermittlung der Emissionsfaktoren und der Emissionen des Verkehrssektors auf nationaler Ebene. Hierbei differenziert TREMOD zwischen den einzelnen Verkehrsträgern Straßenverkehr, Schienenverkehr, Binnenschifffahrt und Luftverkehr. TREMOD wurde vom ifeu im Auftrag des Umweltbundesamtes entwickelt und wird fortwährend aktualisiert. Die wichtigsten aktuellen Einsatzbereiche von TREMOD sind die Erfüllung der nationalen und internationalen Berichtspflichten, die Überprüfung von Minderungszielen, sowie Nutzung als Datenbasis für Umweltkennzahlen des Verkehrs.

Für den Straßenverkehr können Abgasemissionen für alle Fahrzeugkategorien (Motorisierte Zweiräder, PKW, Leichte Nutzfahrzeuge, LKW > 3,5t, Busse) direkt über TREMOD bereitgestellt werden. Die nationalen Emissionssummen pro Fahrzeugkategorie werden als Basis für die Regionalisierung der Emissionen zusätzlich nach Straßentypen (Autobahnen, Bundes-, Landes-, Kreis-, Gemeindestraßen, Innerortsstraßen) differenziert. Abriebemissionen sind in TREMOD nicht enthalten. Sie werden auf

---

<sup>2</sup> NMHC wird hier synonym mit NMVOC verwendet.

Basis der Fahrleistungsdaten von TREMOD mit beim Umweltbundesamt verwendeten Emissionsfaktoren aus anderen Quellen berechnet.

TREMOD verfügt über ein erweitertes Modul für den Flugverkehr. In diesem Modul werden Abgasemissionen der Start-/ Landephase (LTO) aller nationalen und internationalen Flugbewegungen für 27 größere Verkehrsflughäfen in Deutschland direkt bereitgestellt. TREMOD berechnet auch Emissionen des von Deutschland abgehenden Flugverkehrs während der Reiseflugphase. Diese Emissionen erfolgen jedoch in großer Höhe (> 914 m) und zum überwiegenden Teil außerhalb Deutschlands. Sie spielen keine Rolle für bodennahe Umweltwirkungen in Deutschland und sind deshalb für das PRTR ohne Bedeutung.

Abgasemissionen des Schienenverkehrs werden im PRTR nur für Fahrten mit Dieseltraktion benötigt, da bei Elektrotraktion keine lokalen Emissionen entstehen. Entsprechende Abgasemissionen werden direkt über TREMOD bereitgestellt. Bei den Abriebemissionen muss der komplette Schienenverkehr mit Elektro- und Dieseltraktion berücksichtigt werden. Abriebemissionen werden in TREMOD nicht berechnet, die Berechnung erfolgt separat mit von der Deutschen Bahn AG ermittelten Emissionsfaktoren.

In TREMOD werden Emissionssummen für alle Binnenschifffahrten in Deutschland bereitgestellt, nicht jedoch für Küsten- und Hochseeschiffahrt. Im PRTR wird die Seeschiffahrt nicht enthalten sein.

Grundlagen der Emissionsberechnungen für alle Verkehrsträger in TREMOD sind umfangreiche nationale und internationale Datenquellen zu den Aktivitätsdaten (Fahrzeugbestände, Fahr- und Verkehrsleistungen, Kraftstoffabsatz) und spezifische Verbrauchs- und Emissionsfaktoren. TREMOD ist eng verknüpft mit dem "Handbuch Emissionsfaktoren für den Straßenverkehr" (HBEFA, INFRAS 2010), welches die europaweite Datenbasis der KFZ-Emissionsmessungen aufbereitet und repräsentative Emissionsfaktoren für alle Fahrzeugkategorien in hoher Auflösung für relevante Fahrzeugschichten und Verkehrssituationen sowie aggregiert (z.B. mittlerer Emissionsfaktor für PKW in Deutschland im Jahr 2010) bereitstellt. Die Berechnungen der Emissionen des Schienenverkehrs beruhen im Wesentlichen auf Betriebsdaten der Deutschen Bahn AG und motorspezifischen Emissionsfaktoren der DB AG. Bei der Binnenschiffahrt wird bisher auf ältere Emissionsfaktoren zurückgegriffen, eine Aktualisierung wird Ende 2013 vorliegen (s.a. Knörr und Borken 2003).

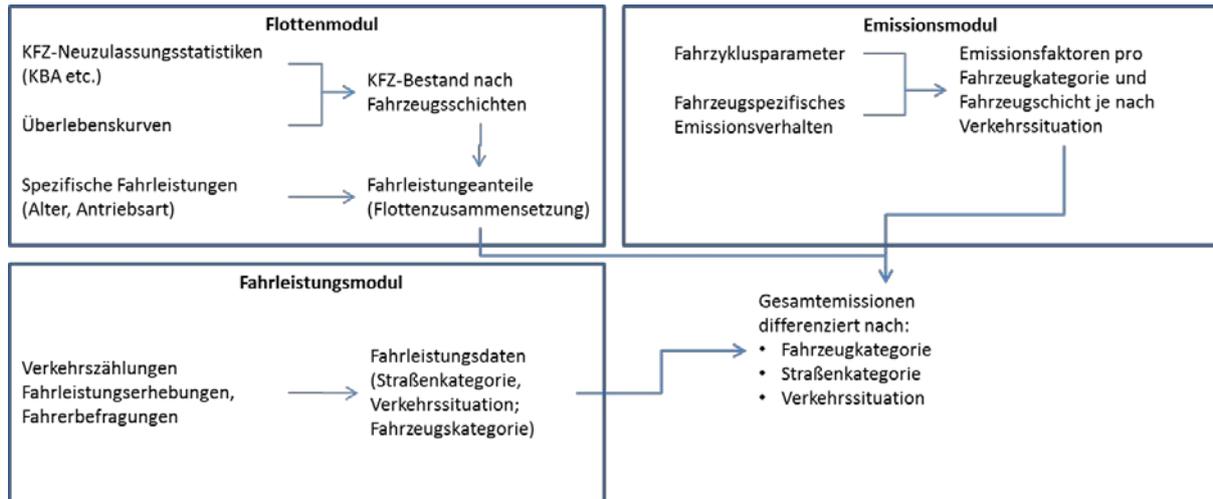
Die Berechnung der Emissionen unterscheidet sich im Differenzierungsgrad und der grundsätzlichen Methodik zwischen den Verkehrsträgern. Während beim Straßenverkehr differenzierte und auf umfangreichen Untersuchungen beruhende Emissionsfaktoren, bezogen auf die Verkehrsaktivität, verwendet werden, sind es beim Schienenverkehr und der Binnenschiffahrt kraftstoffbezogene Emissionsfaktoren, die aus Emissionsmessungen der Motoren abgeleitet werden.

Beispielhaft ist in der folgenden Abbildung 4 der Berechnungsablauf für den Straßenverkehr dargestellt. Sie besteht aus folgenden Elementen:

- Flottenmodul: Der differenzierte Fahrzeugbestand aus der KBA-Statistik (Realbestand) oder der mittels eines Umschichtungsmodells aus Neuzulassungen und Überlebenskurven berechnete Bestand (Szenarien) wird mit Kennzahlen zur mittleren Fahrleistung der verschiedenen Fahrzeugschichten verknüpft. Man erhält so eine differenzierte jährliche Fahrleistungsverteilung der Fahrzeugflotte für jede Fahrzeugkategorie.
- Fahrleistungsmodul: Die jährlichen Gesamtfahrleistungen je Fahrzeugkategorie werden mit geeigneten empirischen Informationen oder Annahmen auf die Straßenkategorien herunter-

gebrochen und innerhalb jeder Straßenkategorie weiter auf die Verkehrssituationen, für die die Emissionsfaktoren vorliegen.

- Emissionsmodul: Im Emissionsmodul werden die Emissionsfaktoren aus dem HBEFA so aufbereitet, dass sie mit den differenzierten Fahrleistungen aus dem Fahrleistungsmodul und Fahrleistungsanteilen der Flotte aus dem Flottenmodul verknüpft werden können. Durch Verknüpfung aller Informationen ergeben sich die jährlichen Gesamtemissionen sowohl aggregiert als auch in hoher Differenzierung.



**Abbildung 4: Berechnungsschema „Straßenverkehr“ in TREMOD**

Für das PRTR werden die Emissionen des Verkehrssektors grundsätzlich nach dem Inlandsprinzip berechnet. Das heißt, die Emissionen basieren auf den im Inland erbrachten Fahr- und Verkehrsleistungen. Diese Vorgehensweise korrespondiert in geeigneter Form mit dem Ziel einer regionalisierten Darstellung der Emissionen innerhalb Deutschlands, unabhängig davon, woher der Verursacher kommt bzw., bspw. im Straßenverkehr, in welchem Land der Kraftstoff getankt wurde.

Damit unterscheidet sich diese Vorgehensweise von dem in der nationalen Emissionsberichterstattung genutztem Energiebilanzprinzip. In der nationalen Emissionsberichterstattung werden Abgasemissionen aus dem Verkehr auf Basis des inländischen Kraftstoffabsatzes bzw. Stromverbrauchs ermittelt. Abriebemissionen werden sowohl für das PRTR als auch in der nationalen Emissionsberichterstattung auf Basis der inländischen Fahrleistungen ermittelt.

Damit unterscheidet sich der Ansatz im PRTR von dem im ZSE. Das ZSE ist die zentrale Datenbank des Umweltbundesamtes zur Emissionsberechnung und -berichterstattung und wird für die Emissionsberechnung der Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll verwendet. Im ZSE wird ein Abgleich mit der nationalen Energiebilanz vorgenommen, auch wenn die Datenbasis des ZSE ebenfalls nach dem Bottom-up Prinzip ermittelt wird. Dadurch sind im ZSE internationale Transfertransportleistungen sowie „Tanktourismus“ nicht enthalten, jedoch „Off-Road“-Verkehr wie z.B. Baumaschinen oder landwirtschaftlicher Verkehr. Im PRTR ist es genau umgekehrt. Beim Schienenverkehr wiederum enthält das PRTR auch den Abrieb aus Oberleitungen, der im ZSE noch nicht enthalten ist.

Anzumerken bleibt, dass im Rahmen des Projektes, analog zur nationalen Emissionsberichterstattung, im Bereich des Straßenverkehrs für PM<sub>10</sub> sowohl Abrieb (Reifen, Bremsen) als auch die Abgase berücksichtigt werden.

Die folgende Tabelle 3 gibt einen Überblick über Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren und die für die weitere Differenzierung benötigten Kennzahlen (s.a. Anhang 3).

**Tabelle 3: Übersicht über Aktivitätsraten, Emissionsfaktoren und relevante Kenngrößen**

Sektor/ Parameter	Verkehr im Inland
<b>Straßenverkehr</b>	
Aktivitätsrate	Gesamtfahrleistungen pro Bezugsjahr
Emissionsfaktor	Masse der Abgasemission je Kilometer
Weitere Kennzahlen	Bestandsverteilung nach emissionsrelevanten Fahrzeugschichten; spezifische Fahrzeugleistungen der Fahrzeugschichten; Abstellvorgänge; Fahrtweitenverteilungen; Aufteilung der Fahrleistungen nach Straßenkategorien und Verkehrssituation; spezifischer Energieverbrauch je Fahrzeugkilometer; u.a.
<b>Schienerverkehr</b>	
Aktivitätsrate	Kraftstoffverbrauch der Eisenbahnunternehmen
Emissionsfaktor	Masse der Abgasemission je MJ Kraftstoff
Weitere Kennzahlen	Anteil der Dieseltraktion an der Betriebsleistung; spezifischer Energieverbrauch je Betriebsleistungskilometer; u.a.
<b>Binnenschifffahrt</b>	
Aktivitätsrate	Verkehrsleistung (Tonnenkilometer)
Emissionsfaktor	Masse der Abgasemission je MJ Kraftstoff
Weitere Kennzahlen	Spezifischer Energieverbrauch je Tonnenkilometer
<b>Flugverkehr</b>	
Aktivitätsrate	Anzahl Starts; Flugentfernung
Emissionsfaktor	Masse der Abgasemission je MJ Kraftstoff (differenziert)
Weitere Kennzahlen	Spezifischer Energieverbrauch je Start-/ Landezyklus (LTO) und je Flugzeugkilometer (Reiseflug)

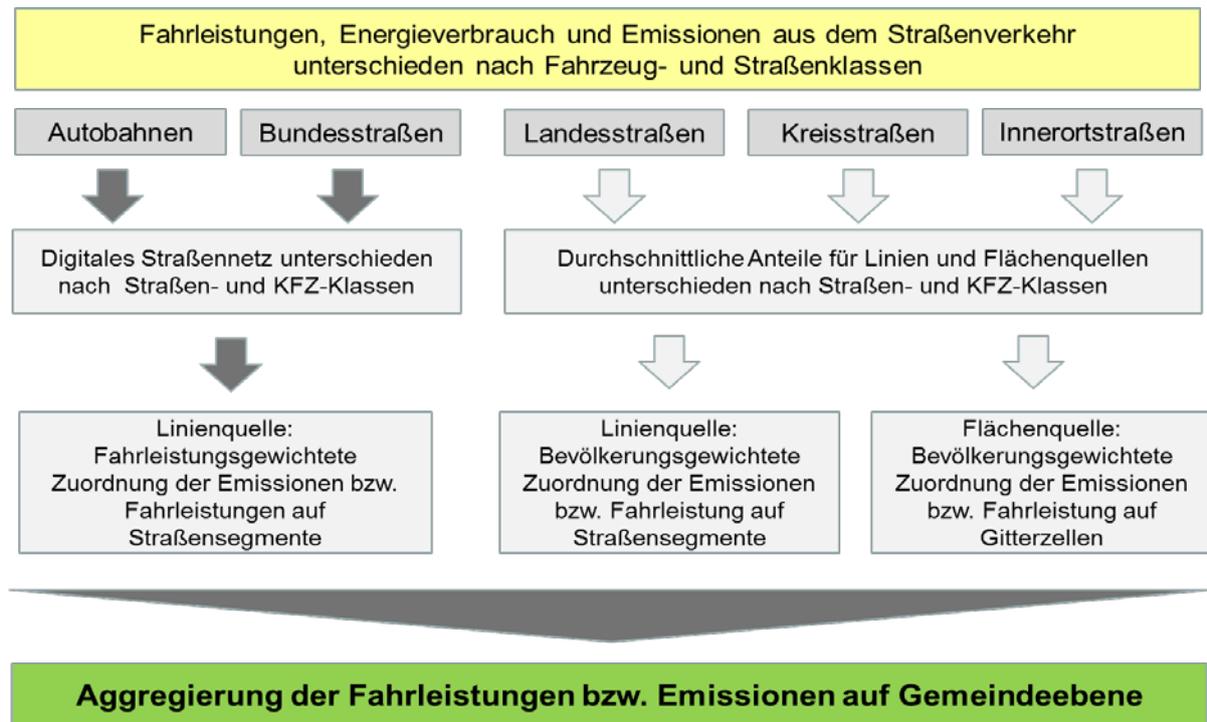
### 5.1.3 Regionalisierung

#### 5.1.3.1 Straßenverkehr

Die Grundlage für die Regionalisierung der Emissionen im Straßenverkehr bilden die nationalen Emissionen, die nach Straßen- und Fahrzeugkategorien differenziert sind. Während die Fahrzeugkategorie als Quellgruppe analog der NFR-Nomenklatur verwendet wird, geht die Straßenklasse als Subsektor in die Berechnung der Emissionen auf der Gitterebene ein. Im Rahmen dieses Vorhabens wurden die nationalen Emissionen zur räumlichen Verteilung zur Verfügung gestellt.

Zur räumlichen Auflösung des Straßenverkehrs ist es notwendig Linien- und Flächenquellen zu kategorisieren. Als Linienquellen werden alle Quellgruppen betrachtet, welche aufgrund der Geometrie als eine Linie dargestellt werden können, wie bspw. Autobahnen. Flächenquellen werden aufgrund der Quellgeometrie als Polygone abgebildet, wie bspw. Innerortsstraßen. Die Kategorisierung der Unterkategorien der Quellgruppen ist aber letztendlich von der Datenverfügbarkeit; die Datenlage

wiederum ist von der Straßenklasse abhängig. Damit entscheidet die Straßenklasse über die Zuweisung der Emissionen zu den Gittern.

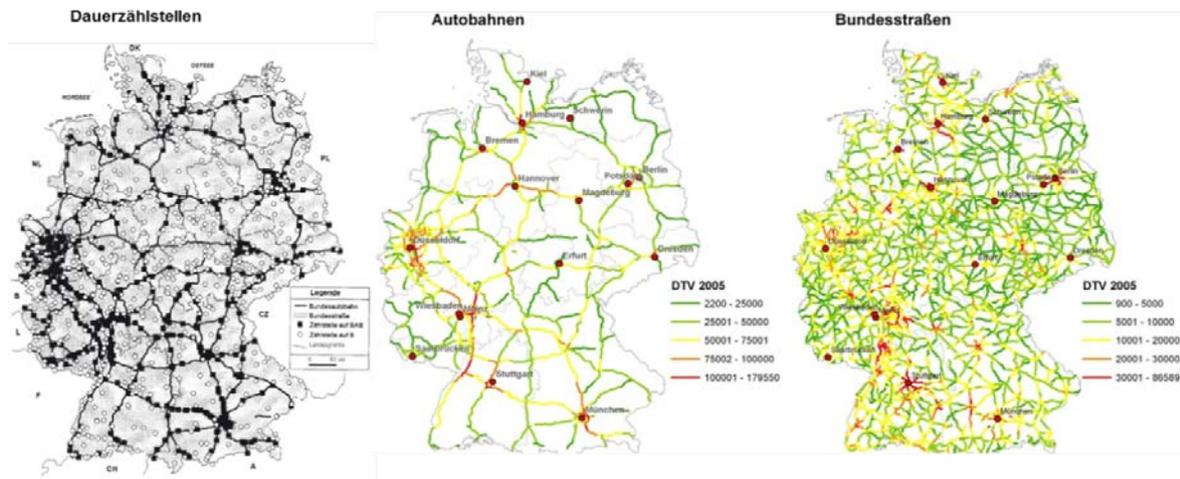


**Abbildung 5: Methodik der räumlichen Verteilung des Straßenverkehrs**

Abbildung 5 zeigt das Gesamtkonzept der räumlichen Verteilung des Straßenverkehrs. Autobahnen und Bundesstraßen werden aufgrund der sehr guten Datenverfügbarkeit ausschließlich als Linienquelle verortet. Die übrigen Straßenklassen wie Landes-, Kreis-, Gemeinde- und Innerortsstraßen werden aufgrund der fehlenden Informationen als eine Kombination aus Linien- und Flächenquelle bevölkerungsgewichtet auf das Gitter verteilt.

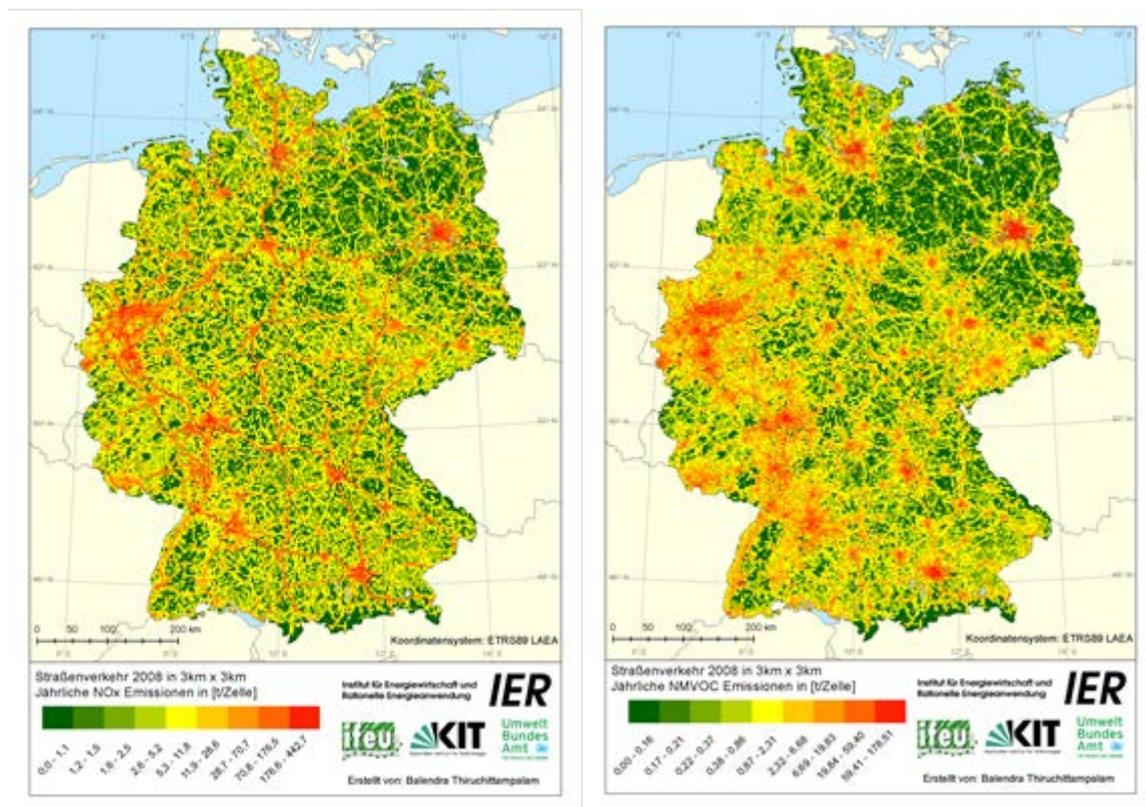
Die Georeferenzierung der Verkehrszählraten aus Fitschen und Nordmann (2010) wird anhand der Standorte der automatischen Verkehrszählstellen und des digitalen Straßennetzes (GISCO 2010) durchgeführt. Fitschen und Nordmann (2010) stellen Informationen zur Fahrzeugklasse und Straßenkategorie (Autobahn oder Bundesstraße) zur Verfügung. Aus GISCO (2010) wurde das Straßennetz unterteilt nach Straßenklasse entnommen. Die Zuordnung der Verkehrszählraten aus Fitschen und Nordmann (2010) zu den Straßensegmenten ist in Abbildung 6 veranschaulicht.

Bei den übrigen Straßenklassen wird angenommen, dass diese nicht ausnahmslos durch ein digitales Straßennetz abgebildet werden können und manche, speziell kleinere städtische Straßen, aufgrund der hohen Straßendichte als Flächenquelle erfasst werden müssen. Darüber hinaus werden Verkehrszählraten nicht vollständig für Deutschland für die Landes-, Kreis-, Gemeinde- und Innerortsstraßen erhoben. Zur räumlichen Verteilung der Emissionen aus dem Straßenverkehr auf die Straßenklassen ohne automatische Verkehrsflusserfassung wurden deshalb Annahmen zur weiteren Einteilung der Emissionen in Linien- und Flächen aus Theloke et al. (2011) verwendet. Zur Auflösung der Emissionen des Straßenverkehrs der Landes-, Kreis-, Gemeinde- und Innerortsstraßen werden auch die Bevölkerungsinformationen aus Regionalstatistik (2012) und Gallego (2010) herangezogen (s.a. Thiruchittampalam et al. 2010, Theloke et al. 2011 und Thiruchittampalam 2013).



**Abbildung 6: Georeferenzierung des Straßenverkehrs mittels Verkehrszähldaten von BAST (Fitschen und Nordmann 2010, Thiruchittampalam et al. 2010)**

Die räumliche Verteilung der Emissionen des Straßenverkehrs ist am Beispiel für Stickoxid- und NMVOC-Emissionen in Abbildung 7 visualisiert.



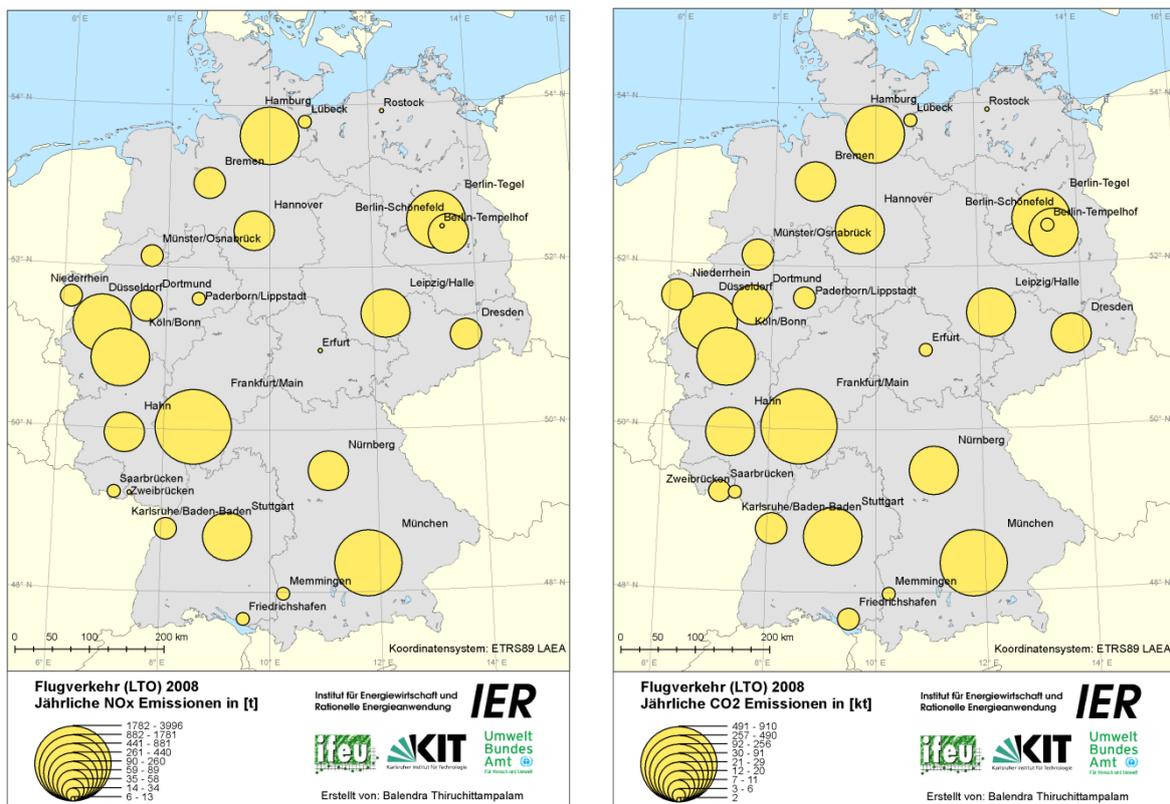
**Abbildung 7: Räumliche Verteilung der NO<sub>x</sub>- und NMVOC-Emissionen aus dem Straßenverkehr**

### 5.1.3.2 Flugverkehr

Die räumliche Verteilung des Flugverkehrs beschränkt sich auf die Verteilung der Emissionen aus Start und Landungen (LTO). Emissionen aus dem Reiseflugverkehr wurden nicht betrachtet. Definitivgemäß werden nur Emissionen bis zu einer Höhe von 914m berücksichtigt (s.a. EEA 2011b).

Die räumliche Verteilung der LTO-bedingten Emissionen beinhaltet in der Regel auch die Gewichtung der national verfügbaren Emissionen mit der Anzahl der Starts und Landungen der betrachteten Flughäfen. Allerdings wurden im Rahmen dieses Vorhabens die LTO-bedingten Emissionen bereits nach Flughäfen differenziert geliefert, so dass eine Verteilung auf die Flughäfen in Deutschland nicht notwendig war. Die Aufgabe der räumlichen Verteilung beim Flugverkehr bestand in der Verortung der Emissionen, so dass diese auf der Gitterebene verarbeitet werden können. Die räumliche Auflösung der Emissionen aus dem Flugverkehr anhand von Koordinaten aus GISCO (2010) wurde für 27 Flughäfen durchgeführt (vgl. Abbildung 8).

Abbildung 8 zeigt die räumliche Verteilung der LTO-bedingten Emissionen für die größten deutschen Flughäfen am Beispiel von Stickoxid- und Kohlendioxidemissionen.



**Abbildung 8: LTO-bedingten Emissionen aus dem Flugverkehr am Beispiel von NO<sub>x</sub>- und CO<sub>2</sub>-Emissionen**

### 5.1.3.3 Schienenverkehr

Emissionen aus dem Schienenverkehr werden in diesem Projekt ausschließlich als Linienquelle behandelt. Prinzipiell ist es möglich Emissionen auch Bahnhöfen als Punktquellen abzubilden. Da allerdings die notwendige Datenbasis dazu fehlt, werden bspw. die Emissionen aus dem Rangiervorgang gleichmäßig über die Gesamtlänge verteilt.

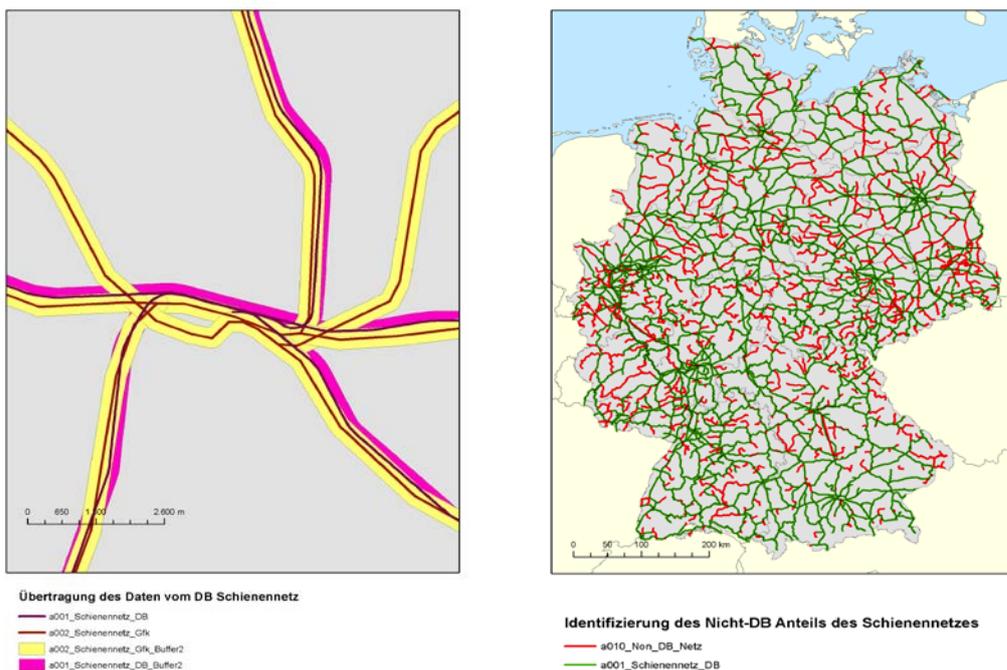
Aufgrund der schlechten Datenlage bezogen auf die regionale Aktivität von dieselbetriebenen Schienenfahrzeugen war es notwendig einen entsprechenden Datensatz von der Deutschen Bahn AG zu erwerben. Laut Löchter (2012) handelt es sich bei den gelieferten Daten um die von der DB AG (ohne Dritte sowie ohne Differenzierung nach Güter- und Personenverkehr) verursachten direkten ver-

brennungsbedingten Luftschadstoffemissionen der Dieseltraktion (Stickoxide, NMVOC, Kohlenmonoxid, Kohlendioxid, Schwefeldioxid und Dieselpartikel) inklusive dem Rangieren (gleichmäßig verteilt über alle Güterverkehrszüge). Bei dem Datensatz der Deutschen Bahn handelt es sich somit um Emissionsdaten nur für die DB AG gemäß Fahrplan 2008. Demzufolge beinhaltet der Datensatz nicht die Emissionen von dritten Bahnbetreibern und musste daher mittels Annahmen abgeschätzt werden.

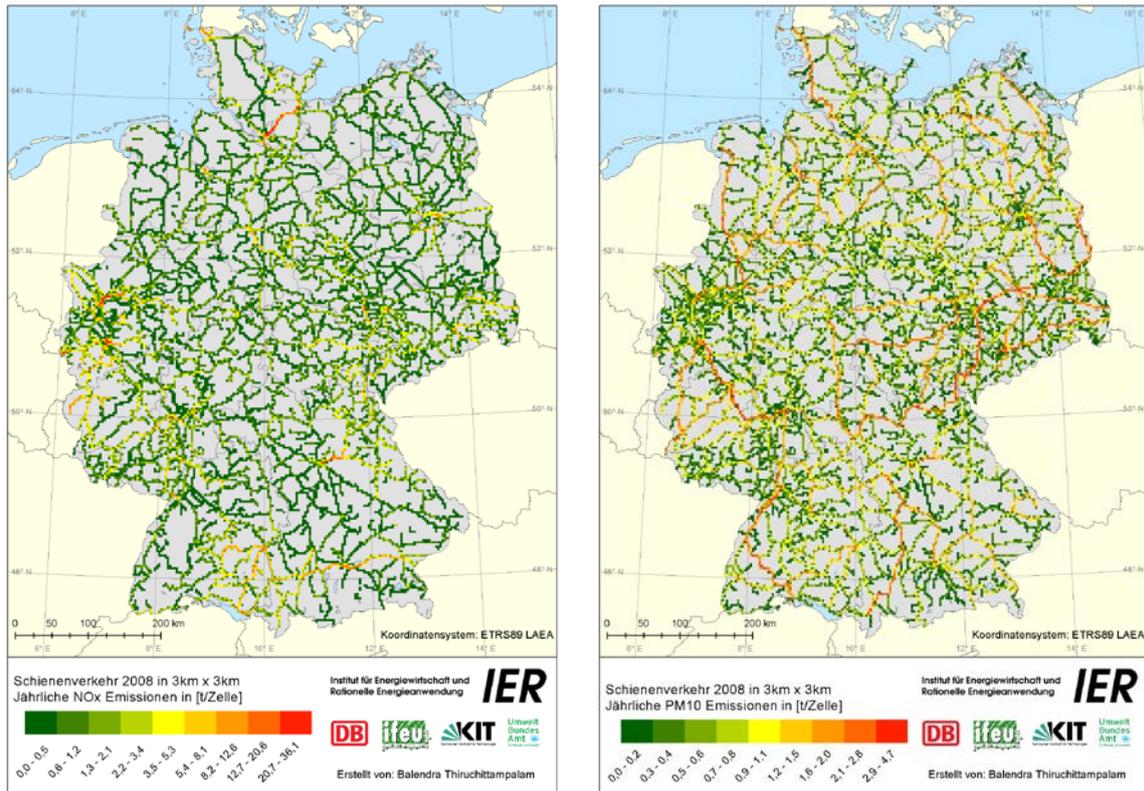
Die nationalen Emissionen aus dem Schienenverkehr wurde im Rahmen dieses Vorhaben nach Betreibern unterschieden. Die Aktivitäten auf den Streckenabschnitten die nicht der DB AG gehören, wurden entweder mittels der Aktivität der DB AG-Schienenabschnitte in den entsprechenden Kreisen oder bei Fehlen sonstiger Informationen durch die Länge des Schienennetzes bestimmt.

Die räumliche Verteilung der Emissionen des Schienenverkehrs beinhaltet auch die Identifizierung der Teile des Schienennetzes die nicht der DB AG gehören unter der Nutzung von GfK (2007) und Löchter (2012). Die Vorgehensweise sowie das Ergebnis der Vervollständigung des Schienennetzes ist in Abbildung 9 zu sehen. Abbildung 9 zeigt zum einen links die Übertragung der Informationen von Löchter (2012) auf GfK (2007) mittels sogenannter Pufferpolygone mit der Breite von 300m. Die Übertragung der Informationen von Löchter (2012) mittels der Puffermethode war notwendig. Die Verläufe des Schienennetzes von GfK (2007) und Löchter (2012) weichen voneinander ab. In Abbildung 9 rechts ist das Ergebnis der Vervollständigung zu sehen.

Die räumliche Verteilung aller Emissionen aus dem Schienenverkehr ist exemplarisch für die Schadstoffe Stickoxide und PM<sub>10</sub> in Abbildung 10 aufgezeigt.



**Abbildung 9: Identifizierung des Nicht-DB AG-Anteils des Schienenverkehrs und Vervollständigung des Schienennetzes in Deutschland**



**Abbildung 10: Räumliche Verteilung der NO<sub>x</sub>- und PM<sub>10</sub>-Emissionen des Schienenverkehrs**

### 5.1.3.4 Binnenschifffahrt

Grundsätzlich kann die Binnenschifffahrt in Personen- und Güterverkehr aufgeteilt werden. Definitionsgemäß sind beim Binnenschiffsverkehr alle befahrbaren Binnengewässer zu berücksichtigen; Schifffahrtsverkehr in der Nord- und Ostsee innerhalb der deutschen Hoheitsgebiete wird daher nicht erfasst. Die Datenverfügbarkeit zu den Aktivitäten des Binnenschiffsverkehrs beschränkt sich auf die Güterverkehrsstatistik auf Binnenwasserstraßen in Deutschland. Aufgrund fehlender Informationen und der Annahme, dass der Güterverkehr auf Binnenwasserstraßen für den größten Teil der Emissionen verantwortlich ist, werden die Emissionen aus der Binnenschifffahrt im Zuge dieser Vorhabens nur auf die Flüsse räumlich aufgelöst.

Im Rahmen des Projektes wurden die nationalen Emissionen zur Verfügung gestellt.

Für die räumliche Verteilung des Binnenschiffsverkehrs als Linienquelle sind im Wesentlichen nur die Informationen zu der Lage der Flüsse und der Schiffsaktivität auf Flussabschnitten notwendig. Die Lage des Flussnetzes wird von GfK (2007) bezogen. Die Daten für die Verkehrsflüsse auf den Flussabschnitten stammen aus der Fachserie für Güterverkehrsstatistik der Binnenschifffahrt des Statistischen Bundesamtes für das Jahr 2008 (Statistisches Bundesamt 2009c). Abbildung 11 veranschaulicht die georeferenzierten tonnenkilometrische Leistung des Güterbinnenschiffsverkehrs. Abbildung 12 zeigt die räumliche Verteilung der Emissionen aus dem Binnenschiffsverkehr in Deutschland am Beispiel von Kohlendioxid- und Stickoxidemissionen.

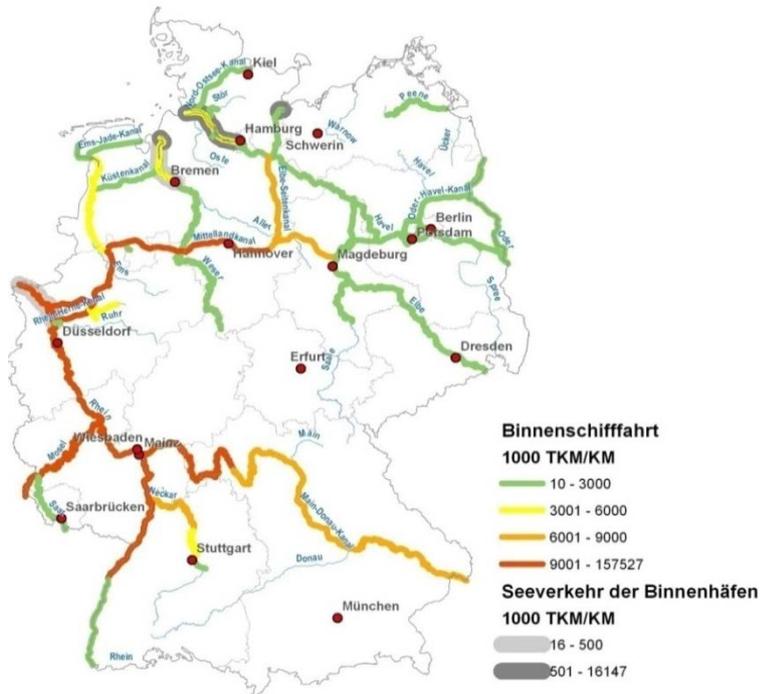


Abbildung 11: Güterverkehrsstatistik des Statistischen Bundesamtes

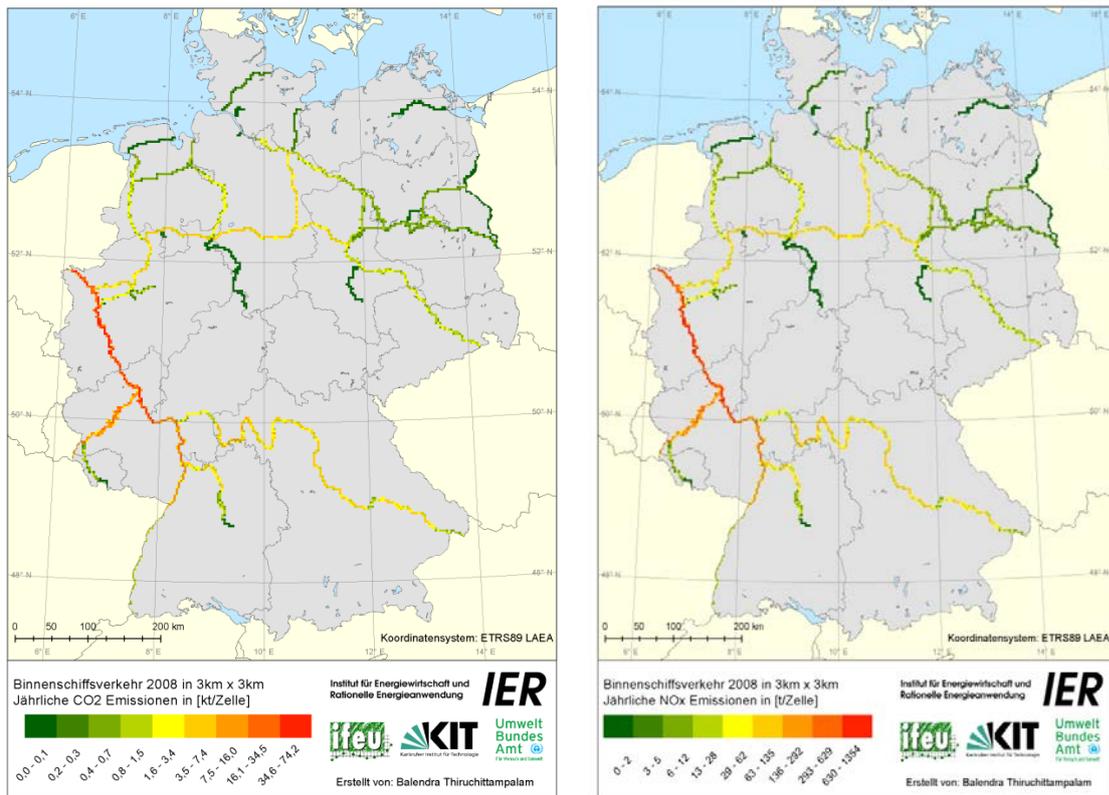


Abbildung 12: Räumliche Verteilung von CO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Emissionen des Binnenschiffsverkehrs

## 5.1.4 Aktualisierung

Der Emissionswert eines Schadstoffs  $s$  durch einen Verkehrsträger  $v$  in einer bestimmten Zelle  $z$  wird wie folgt berechnet:

$$(3) \quad E_{v,s,z,t} = E_{v,s,t} * VP_{v,s,z,t},$$

wobei:

$E_{v,s,z,t}$  = Emissionen des Schadstoffs  $s$  in der Zelle  $z$  verursacht durch den Verkehrsträger  $v$  im Jahr  $t$ ,

$E_{v,s,t}$  = nationale Emissionen des Schadstoffs  $s$  verursacht durch den Verkehrsträger  $v$  im Jahr  $t$ ,

$VP_{v,s,z,t}$  = Verteilparameter für den Schadstoff  $s$  für die Zelle  $z$  verursacht durch den Verkehrsträger  $v$  im Jahr  $t$ .

In Gleichung (3) werden folgende Verkehrsträger unterschieden: Straßenverkehr, Schienenverkehr, Luftfahrt und Binnenschifffahrt.

Die Aktualisierung erfolgt durch eine jährliche Anpassung des Emissionswertes  $E_{v,s,t}$ . Die Aktualisierung erfolgt mit Hilfe von TREMOD, das dem Umweltbundesamt zur Verfügung steht.

Die Aktualisierung der Verteilparameter erfolgt in größeren Zeitabständen.

## 5.2 Emissionen aus der Landwirtschaft

### 5.2.1 Auswahl der Schadstoffe

Im Bereich der Landwirtschaft werden für das PRTR die von der Landwirtschaft verursachten Emissionen der Schadstoffe Methan ( $\text{CH}_4$ ), Distickstoffoxid ( $\text{N}_2\text{O}$ ) und Ammoniak ( $\text{NH}_3$ ) berichtet:

- Methan: Im Jahr 2011 stammten 52,6 % der gesamtdeutschen Methanemissionen aus der Landwirtschaft (Umweltbundesamt 2013a). Methanemissionen entstehen im Wesentlichen durch tierische Verdauung und in geringerem Ausmaß im Wirtschaftsdüngerlager.
- Distickstoffoxid (Lachgas): Der Anteil an Lachgasemissionen aus der Landwirtschaft an den gesamtdeutschen Emissionen betrug 2011 78,2 % (Umweltbundesamt 2013a). Distickstoffoxidemissionen entstehen bei der Tierhaltung im Wirtschaftsdüngerlager und bei der Wirtschaftsdüngerausbringung. Weitere Quellen sind Mineraldüngerausbringung, organische Böden, andere direkte Bodenemissionen (durch Weidegang, Ernterückstände, Leguminosen) sowie indirekte Bodenemissionen.
- Ammoniak: Ammoniak wird in Deutschland mit einem Anteil von etwa 95 % von der Landwirtschaft emittiert. Nach den internationalen Luftreinhalte-Verpflichtungen (UN/ECE CLRTAP; Richtlinie 2001/81/EG) darf Deutschland seit 2010 nicht mehr als 550.000t Ammoniak jährlich emittieren. Diese Grenze wird aktuell noch überschritten bzw. nicht sicher eingehalten (Umweltbundesamt 2013b). Ammoniakemissionen entstehen beim Wirtschaftsdüngermanagement (Stall, Lager, Ausbringung, Weidegang) sowie bei der Mineraldüngerausbringung sowie durch Bodenemissionen (Leguminosen).

Nach Umweltbundesamt (2013a) emittiert die Landwirtschaft rund 18 % der  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen in Deutschland, während für NMVOC keine Angaben gemacht werden. Aufgrund nicht vorhandener belastbarer Daten mit entsprechender Detaillierung wurde auf die Berichterstattung von NMVOC sowie von Feinstaub (im Kontext des PRTR:  $\text{PM}_{10}$ ) verzichtet. Bei NMVOC werden die Berechnungsmethoden in der Wissenschaft noch diskutiert, bei Feinstaub wird die Datengrundlage als nicht aus-

reichend valide eingestuft bzw. die angewendete Methode ist bisher nicht detailliert genug, als dass eine Regionalisierung sinnvoll wäre.

Weiterhin werden energiebedingte Treibhausgasemissionen, wie Kohlendioxid, bisher nicht berichtet.

## 5.2.2 Ermittlung aktueller Emissionsfaktoren und Emissionen

Die Grundlage der Berechnung der Emissionen aus der Landwirtschaft bildet die Emissionsberichterstattung 2012 für das Jahr 2008, die mit dem Emissionsinventarmodell GAS-EM (Gaseous Emissions) ermittelt wurden. Die Emissionen werden hierbei auf Landkreisebene ausgewiesen.

Im Bereich der Landwirtschaft werden die Gesamtemissionen dargestellt, d.h. es kann nicht zwischen Emissionen aus Punktquellen und diffusen Quellen unterschieden werden.

Landwirtschaftliche Betriebe sind nach dem PRTR-Protokoll als Punktquellen zu berichten, wenn sie sogenannte „Anlagen zur Intensivhaltung oder -aufzucht von Geflügel oder Schweinen“ sind und  $\geq 40.000$  Plätzen für Geflügel,  $\geq 2.000$  Plätzen für Mastschweine (über 30 kg) oder  $\geq 750$  Plätzen für Sauen aufweisen. Rinderhaltende Betriebe sind als Punktquellen im PRTR nicht zu berichten. Die Berichterstattung der Schadstoffmengen aus den einzelnen Intensivtierhaltungsbetrieben erfolgt gemäß dem PRTR-Protokoll nach schadstoffspezifischen Schwellenwerten. Dadurch, dass bei den Punktquellen Schadstoffe berichtet werden, nur sofern Schwellenwerte überschritten werden, sollten aus systematischen Gründen im Bereich der Landwirtschaft die Emissionen aus den Punktquellen nicht von den Gesamtemissionen subtrahiert werden, um die Emissionen aus diffusen Quellen zu errechnen. Würde man nur die im PRTR berichteten Punktquellen aus den landwirtschaftlichen Gesamtemissionen herausrechnen, so würde die Zuordnung der berichteten Emissionen für den Betrieb je nach Schadstoff variieren. Um dies zu vermeiden werden bei der Landwirtschaft die Gesamtemissionen dargestellt.

Anzumerken bleibt, dass die Summe der dem Projekt zur Verfügung gestellten Kreisemissionen sich leicht von den 2012 für das Jahr 2008 berichteten landwirtschaftlichen Gesamtemissionen für Deutschland unterscheidet. Der Hauptgrund hierfür ist, dass die Emissionen mit den Kreistierzahlen von 2007 berechnet worden sind, da für das Jahr 2008 Tierzahlen nur auf Länderebene vorliegen. Da für jeden aktuellen Inventarbericht des Umweltbundesamtes neu rückgerechnet wird und sich die Daten damit für das Jahr 2008 rückwirkend ändern können, soll bei der Datenbereitstellung der Hinweis integriert werden, dass immer die Daten aus dem aktuellen Inventarbericht die aktuellsten sind. Abweichungen zwischen den im PRTR dargestellten Daten (aufsummiert für Deutschland) und den im Inventarbericht veröffentlichten Daten sind daher möglich.

Die Berechnungsverfahren für die Emissionen beruhen auf der Methodik, die für Emissionsberichterstattung zu verwenden ist (Treibhausgase: IPCC 1996; IPCC 2000; IPCC 2006;  $\text{NH}_3$ : EMEP 2007; EEA 2011b). Eine umfassende Beschreibung des Inventarmodells GAS-EM einschließlich der Dokumentation weiterer Quellen findet sich in Haenel et al. (2012). Die meisten Rohdaten (Weidegangzeiten, Stallhaltung, etc.) werden vom Statistischen Bundesamt erhoben.

Als Grundlage der Emissionsberechnungen in der Tierhaltung dient die Futteraufnahme, die als Funktion des erhaltungs- und leistungsbedingten Energiebedarfs berechnet wird. Daraus ergeben sich die Methanemissionen aus der Verdauung (die berichtende Quellgruppe aus der Landwirtschaft nach der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen (UNFCCC) ist 4.A) und die Ausscheidungen von Kohlenstoff und Stickstoff für die Emissionen aus Wirtschaftsdüngermanagement (die berichtende Quell-

gruppe ist hier 4.B). Letztere gehen auch in die Berechnungen des Stickstoffeintrags in landwirtschaftliche Böden (die berichtende Quellgruppe ist hier 4.D) ein<sup>3</sup>.

Die Emissionen von Ammoniak und Distickstoffoxid werden auf der Basis eines N-Fluss-Konzeptes berechnet. Wesentliche Voraussetzung für dessen Anwendung ist die Bestimmung der in der Tierhaltung ausgeschiedenen Stickstoffmengen. Bei den wichtigen Tierkategorien wird die Stickstoffausscheidung als Differenz zwischen aufgenommener Stickstoffmenge und erhaltungs- und leistungsbedingtem Stickstoffbedarf (Tiergewicht, Gewichtszuwachs, jährliche Milchmenge oder Anzahl an Eiern, gegebenenfalls Anzahl der Nachkommen) berechnet. Die mit dem Futter aufgenommene Stickstoffmenge wird anhand des tierischen Energiebedarfs sowie des Energie- und Stickstoffgehalts im Futter ermittelt. Für die übrigen Tiere werden Stickstoffausscheidungswerte aus der deutschen Fachliteratur entnommen. Bei der Stickstoffausscheidung wird zwischen „organischem Stickstoff“ und „leicht in Ammoniak umsetzbaren Stickstoff (TAN, total ammoniacal nitrogen)“ unterschieden.

Die für eine Tierkategorie ermittelten Stickstoffausscheidungen werden auf Weide und Stall aufgeteilt. Diese Aufteilung erfolgt proportional zu der auf der Weide verbrachten Zeit. Bei Festmistsystemen wird zusätzlich zu den Stickstoffausscheidungen der Stickstoffeintrag durch Einstreumaterial berücksichtigt.

Für jede Tierkategorie werden die im Stall anfallenden Stickstoffmengen im Verhältnis der relativen Anteile der in Deutschland üblichen Haltungsverfahren mit ihren unterschiedlichen Emissionsverhalten aufgeteilt. In den Ställen kommt es aus der ausgeschiedenen Stickstoffmenge zu Stickstoffverlusten durch Emission von Ammoniak aus dem TAN-Pool. Die verbleibenden Stickstoff- und TAN-Mengen werden getrennt für gülle- und strohbasierte Systeme zusammengefasst und ins Lager transferiert. Aus dem Lager erfolgen weitere Emissionen von Ammoniak aus dem TAN-Pool entsprechend der prozentualen Anteile der in Deutschland gängigen Lagerverfahren.

Distickstoffoxidemissionen werden für Stall und Lager gemeinsam aus dem Gesamtstickstoffpool (Summe aus tierischer Stickstoffausscheidung und Stickstoffeintrag durch Einstreu) berechnet.

Die anschließend zur Ausbringung kommende Stickstoffmenge wird auf die in Deutschland üblichen verschiedenen Ausbringungsverfahren und Einarbeitungszeiten mit ihren unterschiedlichen Emissionsfaktoren aufgeteilt. Bei der Ausbringung entstehen Stickstoffverluste durch Ammoniak- und NO<sub>x</sub>-Emissionen. Die danach verbleibende Stickstoffmenge im Boden dient zur Berechnung der Distickstoffoxidemissionen infolge von Wirtschaftsdüngerausbringung. Bei der Ausbringung von Wirtschaftsdünger erfolgt keine Differenzierung der Emissionsfaktoren zwischen Ackerflächen und Grünland (Wiesen und Weiden).

Der Einfluss der Emissionen aus Biogas (Gärresten, Biogasgülle, etc.) wird bisher nicht erfasst, da hierzu noch eine belastbare Methode fehlt. Diese befand sich zum Zeitpunkt der Datenlieferung noch in der Entwicklung und ist 2013 erstmals zur Anwendung gekommen, jedoch noch nicht für Biogasemissionen aus nachwachsenden Rohstoffen.

### 5.2.3 Regionalisierung

Im Rahmen dieses Projektes war im Gegensatz zu anderen Projekten keine Verteilung der landwirtschaftlichen Emissionen auf die NUTS-3-Einheiten notwendig, da diese bereits entsprechend regiona-

---

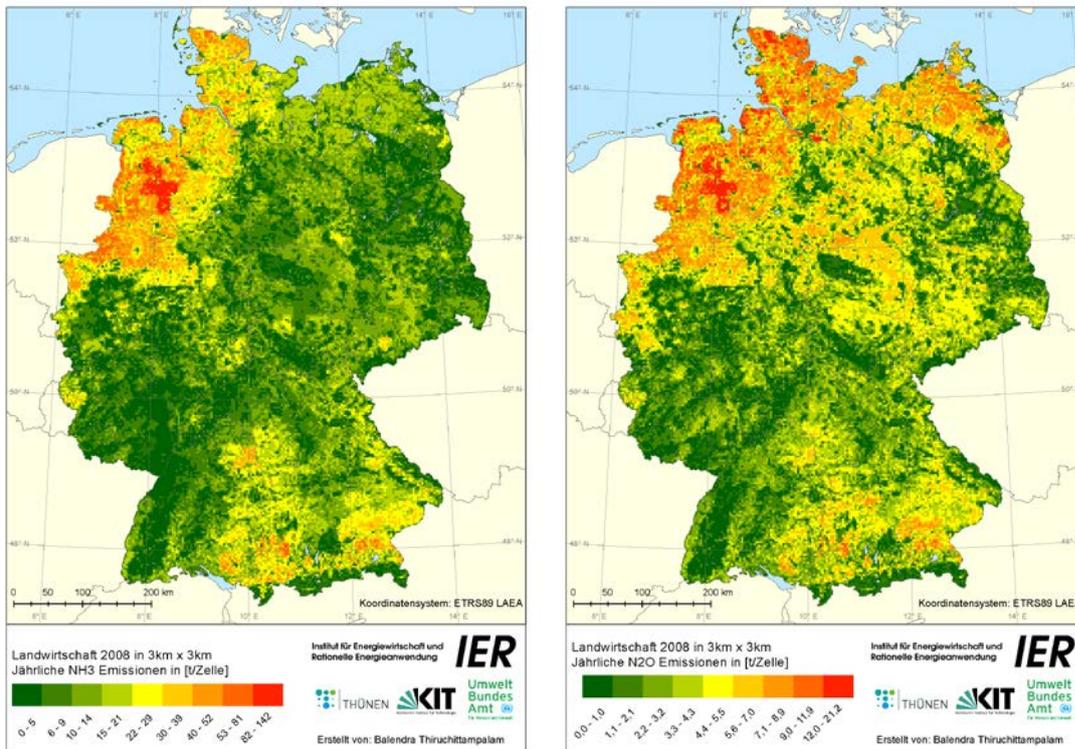
<sup>3</sup> Informationen zur Gliederung des Common Reporting Format (CRF): <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch1ri.pdf>.

lisiert zur Verfügung gestellt wurden. Infolgedessen war bei der räumlichen Auflösung der Emissionen aus der Landwirtschaft nur der Schritt der Gitterauflösung von Nöten. Die Gitterverteilung der kreisbezogenen Emissionen wurde flächengewichtet mit den landwirtschaftlichen Landnutzungsclassen von Corine (EEA 2011a) durchgeführt. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die verwendeten Landnutzungsclassen in Deutschland mit den zugehörigen Anteilen an der Gesamtfläche. Die Verteilung wurde mit der Summe aller landwirtschaftlichen Landnutzungsclassen durchgeführt, ohne Gewichtung der unterschiedlichen Landnutzungsclassen.

**Tabelle 4: Landwirtschaftliche Landnutzungsclassen in Deutschland (Keil et al. 2010)**

CLC-Code	Bedeckungsart	Fläche [km <sup>2</sup> ]	Anteil
211	Nicht bewässertes Ackerland	143.009	36,94 %
221	Weinbaufläche	1.278	0,33 %
222	Obst- und Beerenobstbestände	1.305	0,34 %
231	Wiesen und Weiden	43.326	11,19 %
242	Komplexe Parzellenstrukturen	20.591	5,32 %
243	Landwirtschaftlich genutztes Land mit Flächennatürlicher Bodenbedeckung von signifikanter Größe	7.502	1,94 %
Gesamtfläche Deutschland		387.105	100,00 %

Abbildung 13 zeigt die räumliche Verteilung der Emissionen aus der Landwirtschaft in Deutschland am Beispiel von Ammoniak- und Distickstoffoxidemissionen.



**Abbildung 13: Räumliche Verteilung der landwirtschaftlichen Emissionen am Beispiel der NH<sub>3</sub>- und N<sub>2</sub>O-Emissionen**

## 5.2.4 Aktualisierung

Der Emissionswert eines Schadstoffs  $s$  in einer bestimmten Zelle  $z$  wird wie folgt berechnet:

$$(4) \quad E_{s,z,t} = \sum_{z_k=1}^n E_{s,k,t} * VP_{s,z_k,k,t}, \text{ mit } z_k \in k, z,$$

wobei:

$E_{s,z,t}$  = Emission des Schadstoffs  $s$  in der Zelle  $z$  im Jahr  $t$ ,

$E_{s,k,t}$  = Emissionen des Schadstoffs  $s$  im Landkreis  $k$  im Jahr  $t$ ,

$VP_{s,z_k,k,t}$  = Verteilparameter für den Schadstoff  $s$  für die Zelle  $z_k$  des Kreises  $k$  im Jahr  $t$ .

Die Aktualisierung erfolgt durch eine jährliche Anpassung des kreisbezogenen Emissionswertes  $E_{s,k,t}$ . Das Thünen-Institut wird dem Umweltbundesamt jährlich aktualisierte Emissionswerte zur Verfügung stellen.

Eine Aktualisierung der Verteilparameter erfolgt nur in größeren Zeitabständen.

## 5.3 Emissionen der Haushalte

### 5.3.1 Auswahl der Schadstoffe

Im Rahmen des Projektes wurde das aktuelle Emissionsaufkommen von Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte in Deutschland für die Abgasbestandteile Kohlendioxid (berechnet aus Brennstoffzusammensetzung), Kohlenmonoxid, Schwefeldioxid, Stickoxide, PM<sub>10</sub> (berechnet aus Gesamtstaub), NMVOC, PCDD und PCDF sowie PAK (Anthracen, Chrysen (+Triphenylen), Benzo[a]pyren, Dibenz[a,h]anthracen, Benz[a]anthracen, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[j]fluoranthren, Benzo[k]fluoranthren, Indeno[1,2,3-cd]pyren, Benzo[ghi]perylen)<sup>4</sup> für das Bezugsjahr 2008 berechnet. Bei der Auswahl der Schadstoffe sollten möglichst viele Schadstoffe des Anhangs II des PRTR-Protokolls berücksichtigt werden. Es wurden daher alle Schadstoffe berücksichtigt für die eine valide Datenbasis vorhanden ist.

### 5.3.2 Ermittlung aktueller Emissionsfaktoren und Emissionen

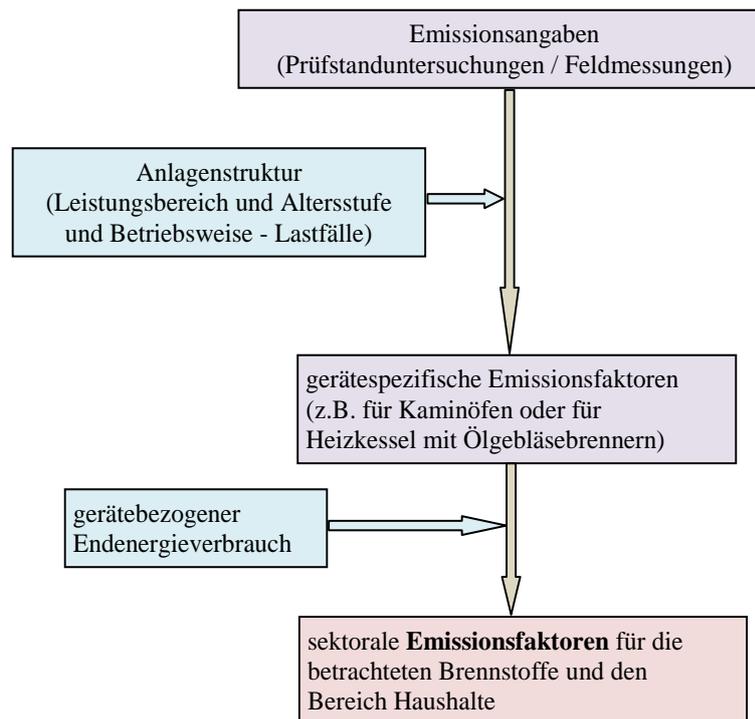
Für die Ermittlung der betrachteten Abgase wurden Emissionsfaktoren mit einem hohen Differenzierungsgrad ermittelt. Die Strukturierung der Emissionsfaktoren richtete sich nach den in Deutschland am Endenergieverbrauch relevant beteiligten Brennstoffen, der Gerätebauart, der Altersstufe, dem Leistungsbereich und der typischen Betriebsweise der Feuerungsanlagen. Bei den Brennstoffen wurden Heizöl EL und Heizöl EL schwefelarm, gasförmige Brennstoffe (Erdgase, Flüssiggas), Braunkohlenbriketts (Importe sowie aus dem Lausitzer und Rheinischen Revier), Steinkohlenbrennstoffe (Steinkohlen, Steinkohlenkoks, Steinkohlenbriketts) und Holzbrennstoffe (naturbelassenes Holz in Form von Stückholz und Pellets) berücksichtigt.

Die vereinfachte Vorgehensweise zur Ermittlung der Emissionsfaktoren ist in Abbildung 14 dargestellt.

Grundlagen für die Ermittlungen der Daten wurden in den UBA-Projekten „Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung“ (Bezugsjahr 2005; Struschka et al. 2007) und „Ermittlung der mittleren Emissionsfaktoren zur Darstellung der Emissionsentwicklung aus Feuerungsanlagen im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher“ (Bezugsjahr 1995; Pfeiffer et al. 2000) erarbeitet.

---

<sup>4</sup> Die Summe der Einzelverbindungen ergibt den genutzten Emissionsfaktor für PAK.



**Abbildung 14: Ermittlung der Emissionsfaktoren im Bereich Haushalte**

Die ermittelten aktualisierten Emissionsfaktoren gelten für Deutschland für Feuerungsanlagen privater Haushalte bzw. in Wohngebäuden. Private und gewerbliche Mischnutzungen werden dem Sektor Gewerbe, Dienstleistungen und Handel zugeordnet und werden hier nicht weiter berücksichtigt.

Bei der Ermittlung der Emissionsfaktoren und des Emissionsaufkommens für die betrachteten Abgasbestandteile aus Feuerungsanlagen im Bereich Haushalte wird im Grundsatz auf den Arbeiten Pfeiffer et al. (2000), Struschka et al. (2003), Struschka et al. (2007) sowie Greiselis-Bailer und Kemper (2006) aufgebaut.

Die bestehenden Emissionsdaten wurden durch aktuelle Literaturwerte ergänzt. Betrachtet wurden hierbei die Emissionen von Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV, die den betrachteten Quellgruppen zugeordnet werden können. Der Anwendungsbereich der 1. BImSchV (Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetz über kleine und mittlere Feuerungsanlagen) erstreckt sich auf die Errichtung, die Beschaffenheit und den Betrieb von Feuerungsanlagen, die keiner Genehmigung nach § 4 des Bundes-Immissionsschutzgesetzes bedürfen. Für alle in den Anwendungsbereich fallende Feuerungsanlagen sind u.a. in Abhängigkeit vom eingesetzten Brennstoff, der Bauart und der Nennwärmeleistung Anforderungen an den Betrieb dieser Feuerungsanlagen festgelegt. Die Einhaltung der Emissionsgrenzwerte bzw. Abgasverluste der Feuerungsanlagen wird, außer bei Öl- und Gasfeuerungen mit Feuerungswärmeleistungen über 10 MW, vom zuständigen Bezirksschornsteinfegermeister überwacht. Zur Abgrenzung des Geltungsbereiches wurde für das Vorhaben die aus dem Jahr 2003 stammende Fassung der 1. BImSchV (2003) herangezogen.

Die Emissionsfaktoren und das Emissionsaufkommen liegen, wie bei den Vorgängervorhaben, mit einem hohen Differenzierungsgrad für Deutschland vor. Regionale Unterschiede in der Anlagenstruktur und im Brennstoffverbrauch wurden gesondert berücksichtigt und ausgewiesen, sofern dies zu einer höheren Aussagekraft der Ergebnisse führt. Die grundsätzliche Vorgehensweise bei der Berech-

nung der Emissionsfaktoren und des Emissionsaufkommens wurde von den Vorgängervorhaben übernommen.

Die Ermittlung des Bestandes an Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV (2003) erfolgt für Heizkessel mit Ölgebläsebrennern sowie für Gasfeuerungen auf Basis der Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks sowie eigenen Abschätzungen für Ölöfen mit Verdampfungsbrennern. Für die Ölbrennwertgeräte wurden Angaben des Instituts für wirtschaftliche Ölheizung (IWO, Hamburg) verwendet. Angaben der Rheinbraun Brennstoff GmbH (Frechen) wurden für Herde, Kamine, Dauerbrand-, Kachel-, Kamin- und Badeöfen herangezogen. Für Pelletöfen wurde auf Daten des Industrieverbands Haus-, Heiz- und Küchentechnik e.V. (HKI, Frankfurt) zurückgegriffen. Der Bestand an Pelletfeuerungen wurde durch Angaben des Deutschen Energieholz- und Pellet-Verbands e.V. (DEPV, Berlin) sowie Zahlen der Förderung erneuerbarer Energie durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA, Eschborn) ermittelt. Der Bestand an handbeschickten Heizkesseln (Nennwärmeleistung  $\geq 15$  kW) wurde durch Zahlen des Bundesverbands des Schornsteinfegerhandwerks-Zentralinnungsverband (ZIV, Sankt Augustin) ermittelt und anhand eigener Berechnungen um Anlagen mit Nennwärmeleistungen  $< 15$  kW ergänzt.

Die Anzahl der installierten Feuerungsanlagen im Bereich Haushalte wird für folgende Brennstoffe ermittelt:

- Heizöl EL und Heizöl EL schwefelarm, unterschieden nach Ölöfen mit Verdampfungsbrennern, Heizkessel mit Ölgebläsebrennern und Ölbrennwertgeräte;
- Brenngase (Erdgas H und L sowie Flüssiggas) unterschieden nach Raumheizer, Heizkessel mit Gasbrennern (ohne/ mit Gebläse), Brennwertgeräte, Durchlaufwasserheizer, Kombiwasserheizer und Vorratswasserheizer;
- Feste Brennstoffe (Kohlen- und Holzbrennstoffe) unterschieden nach Dauerbrandöfen, Kachelöfen, Kamine, Kaminöfen, Pelletöfen, Heizkessel (handbeschickt für Stückholz und Holzpellets), Badeöfen und Herde.

Feuerungsanlagen, die für den Betrieb mit Flüssiggas geeignet sind, konnten keiner genaueren Betrachtung unterzogen werden, da zur Anlagenstruktur und zum Emissionsverhalten nach wie vor keine Daten zur Verfügung stehen. Ende 2004 waren rund 400.000 Anlagen in Betrieb, von denen über 90 % im Bereich der Haushalte mit einer Leistung von 15 - 30 kW installiert waren. Der prozentuale Anteil von Flüssiggas am gesamten Endenergieverbrauch an Brenngasen hatte sich im Zeitraum 1995 bis 2004 nicht wesentlich verändert (rund 3 %), weshalb auch für den Zeitraum 2004 bis 2008 davon ausgegangen wurde, dass hier keine gravierenden Änderungen vorlagen. In Pfeiffer et al. (2000) wurde bei einem vergleichbaren Anteil unter der Annahme eines doppelt so hohen Stickoxidemissionsfaktors für den Einsatz von Flüssiggas, im Vergleich zu Erdgas, eine geringe Unsicherheit in der Abschätzung des Emissionsaufkommens in der Größenordnung von 3 - 5 % ermittelt, die in Wirklichkeit jedoch geringer ausfallen dürfte.

Zur Ermittlung des Bestandes an Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV und zur Aktualisierung der Alters- und Leistungsstruktur des ermittelten Anlagenbestandes wurde bei Ölkesseln und Gasfeuerungen sowie bei Ölöfen mit Verdampfungsbrenner auf Erhebungen des Schornsteinfegerhandwerks (ZIV 2012) zurückgegriffen. Für die Altersstruktur der Ölbrennwertgeräte wurden Daten des Instituts für Wärme und Öltechnik e.V. (IWO 2012) herangezogen. Im Bereich der Feuerungen für Festbrennstoffe wurden für handbeschickte Heizkessel Daten des 3N-Kompetenzzentrums Niedersachsen – Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e.V. (3N 2010) sowie Zahlen von BAFA (Biomasseatlas 2012) verwendet. Bei Dauerbrand-, Kachel-, Kamin- und Badeöfen sowie Kaminen wurde

auf Daten der Rheinbraun Brennstoff GmbH (Rheinbraun 2008) zurückgegriffen. Für Herde wurden Daten des Industrieverbands Haus-, Heiz und Küchentechnik e.V. (HKI 2011) verwendet. Die Alters- und Leistungsstruktur der Pelletöfen beruht auf Daten des HKI (HKI 2011) und die der Pelletkessel auf Zahlen von BAFA (Biomasseatlas 2012) sowie des Deutschen Energieholz- und Pellet-Verbands e.V. (DEPV 2005).

Zur Ermittlung des Emissionsaufkommens sind Angaben zu den gerätespezifischen Endenergieverbräuchen notwendig. Anhand der Endenergiebilanz des Jahres 2008 für Deutschland (AGEB 2012) erfolgt die Ermittlung des Endenergieverbrauchs zur Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser im Bereich der Haushalte strukturiert nach Gerätebauarten und Leistungsbereichen. Eine Aufteilung des Endenergieverbrauchs für die betrachteten Brennstoffe auf die verschiedenen Gerätebauarten erfolgt durch Gegenrechnung aus dem Bestand an Feuerungsanlagen, der Anzahl der Vollbenutzungsstunden und der mittleren Feuerungswärmeleistungen der installierten Feuerungen. Am Ende der Berechnungen steht ein gerätebezogener Endenergieverbrauch mit einem hohen Detaillierungsgrad. Bei Haushalten wird angenommen, dass der gesamte Endenergieverbrauch zur Prozesswärmeerzeugung (z.B. Kochen) mit derselben Gerätetechnik erzeugt wird, die auch zur Raumwärme- und Warmwassererzeugung eingesetzt wird. Eine vielleicht wünschenswerte gesonderte Betrachtung der Prozesswärmeerzeugung in Holz- und Gasherden kann nicht vorgenommen werden, da keine aktuellen Angaben zum Energieeinsatz (vor allem bei Holzherden) oder zum Emissionsverhalten (bei Gasherden) verfügbar sind. Bei Holzherden dürften sich hier allerdings keine nennenswerten Unsicherheiten bei der Ermittlung der Emissionsfaktoren bzw. des Emissionsaufkommens ergeben, da der Heizbetrieb (hierfür liegen Daten vor) sich nur unwesentlich vom Kochbetrieb der Feuerung unterscheiden dürfte.

Für die Ermittlung des Emissionsverhaltens der Feuerstätten wurde die vorliegende umfangreiche Literaturlauswertung um aktuelle Untersuchungen ergänzt. Bei der Erhebung der Emissionsdaten wird zwischen den Bauarten der Feuerungen, dem Leistungsbereich, dem Baujahr und der Betriebsweise sowie zwischen Prüfstands- und Felduntersuchungen unterschieden.

Anhand der ermittelten Emissionsfaktoren erfolgt die Berechnung des Emissionsaufkommens für Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für den Bereich Haushalte mit Stand des Jahres 2008 unter den zuvor festgelegten Randbedingungen.

Eine detaillierte Darstellung der Vorgehensweise findet sich im Anhang 4.

### 5.3.3 Regionalisierung

Regional unterscheidet sich der Einsatz der Energieträger in Haushalten teilweise sehr. Allerdings sind entsprechende Informationen für Deutschland höchstens für einzelne Regionen vorhanden, so dass es notwendig ist die räumliche Verteilung unter der Zuhilfenahme von Annahmen durchzuführen. Für alle Energieträger, mit der Ausnahme von Holz, wird daher angenommen, dass der Einsatz in Feuerungsanlagen direkt proportional ist mit der Bevölkerungsdichte. Insbesondere beim Einsatz von Kohle (Briketts, Koks, Kohlen) kann es dadurch zu Unsicherheiten kommen. Allerdings ist der Anteil sowohl der Stein- als auch Braunkohle zur Energiegewinnung sehr klein, dass angenommen wird, dass die Unsicherheit vernachlässigbar klein ist.

Der Verbrennung von Holz, hier nur naturbelassenes Holz, wird nicht nur aufgrund der großen Relevanz eine Sonderrolle zu gedacht. Die Datenverfügbarkeit vom Holzeinsatz in Deutschland ist bedeutend besser als die für die übrigen Energieträger. Eine Möglichkeit unter der Berücksichtigung aller

regional verfügbaren Informationen für die räumliche Verteilung der Holzfeuerung in Haushalten wurde in Thiruchittampalam et al. (2010) vorgestellt. Eine vollständige Aktualisierung des Ansatzes im Rahmen des Projektes war aufgrund des zeitlichen Aufwands nicht möglich. Daher wurden die Ergebnisse aus Thiruchittampalam et al. (2010) als Grundlage zur Verteilung der Emissionen aus der Holzfeuerung benutzt. Der Ansatz berücksichtigt verschiedene regionale Informationen wie Waldscheitholzverbrauch, Holzeinschlag, Waldfläche und Ortsgrößenklasse.

Das für die Feuerung in Privathaushalten verwendete Holzbrennstoffsortiment besteht nach Mantau et al. (2006) zum größten Teil (> 80 %) aus Scheitholz. Dieses setzt sich zu 85 % aus Waldscheitholz, zu 10 % aus Scheitholz aus dem eigenen Garten und zu 5 % aus Landschaftspflegeholz zusammen. Daher wurde für die räumliche Verteilung der Holzfeuerung in Privathaushalten der Waldscheitholzverbrauch als Basis herangezogen. In Mantau et al. (2006) sind neben Daten zum regionalen Scheitholzverbrauch, auch der Bestand an Feuerungsanlagen sowie Holzverbrauchsdaten für verschiedene Ortsgrößenklassen angegeben. Der Verteilparameter für den regionalen Holzeinsatz in Haushaltsfeuerungsanlagen berücksichtigt zusätzlich noch weitere regionale und zellenbezogene Daten wie Daten wie Waldfläche, Einwohnerdichte und Ortsgrößenklasse zur Ableitung des Verteilparameters für die räumliche Verteilung der Holzfeuerung.

Abbildung 15 zeigt die räumliche Verteilung des Waldscheitholzverbrauchs in Deutschland und Verteilung der PM<sub>10</sub>-Emissionen aus Kleinf Feuerungen in Privathaushalten für das Jahr 2005 (Thiruchittampalam et al. 2010).

Die räumliche Auflösung der Emissionen aus Haushalten wird, wie in Kapitel 4 beschrieben, in zwei Schritten durchgeführt. Der erste Teil der Verteilung zielt darauf ab, die nationalen Emissionen auf die NUTS-3-Verwaltungseinheiten aufzulösen. Hierzu werden bei den Haushalten neben der Bevölkerungsdichte auf Kreisebene auch die Aggregation des „Holzeinsatzparameters“ benötigt, d.h. die pro Zelle vorliegenden Informationen werden zu Informationen auf der Kreisebene zusammengefasst. Als Datenquelle für die Bevölkerung auf der Kreisebene dienen Informationen aus der Regionalstatistik Deutschland (Regionalstatistik 2012). Das Ergebnis des ersten Schrittes liefert Emissionen auf Kreisebene unterschieden nach Schadstoff und Energieträger.

Im zweiten Schritt werden die kreisbezogenen Ergebnisse 1km x 1km-Gitterzellen zugeordnet. Die gerasterte Bevölkerungsdichte in einer Auflösung von 1km x 1km für das Jahr 2006 wurde auf der Basis einer landnutzungsklassengewichtete Methode abgeleitet (Gallego 2010) und im Rahmen dieses Vorhabens verwendet. Die Bevölkerungsdichteverteilung in Deutschland von Gallego (2010) für das Jahr 2006 mit der Kombination der Bevölkerungszahlen aus Regionalstatistik (2012) ist in Abbildung 16 zu sehen. Abbildung 17 zeigt die räumliche Verteilung von PM<sub>10</sub>- und Kohlendioxidemissionen aus Haushalten auf einem 3km x 3km-Gitter.

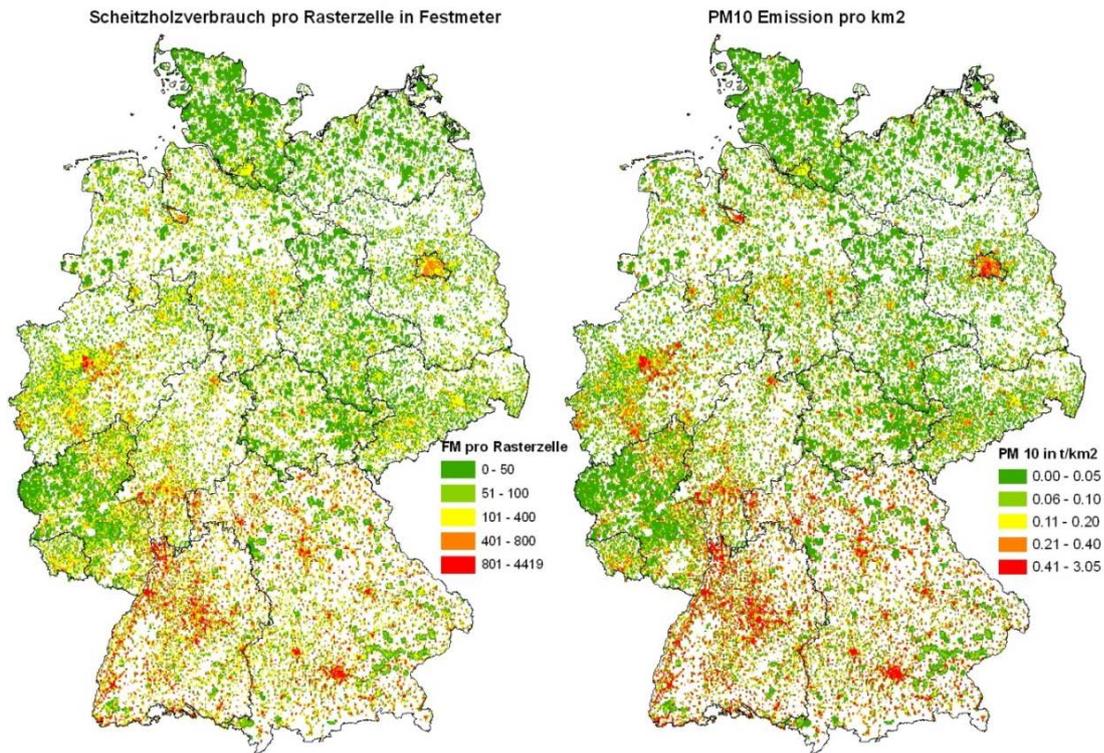


Abbildung 15: Räumliche Verteilung des Waldscheitholzverbrauchs in Deutschland (links) und Verteilung der PM<sub>10</sub>-Emissionen aus Kleinf Feuerungen in Privathaushalten – Brennstoff Holz – aus PAREST (rechts)

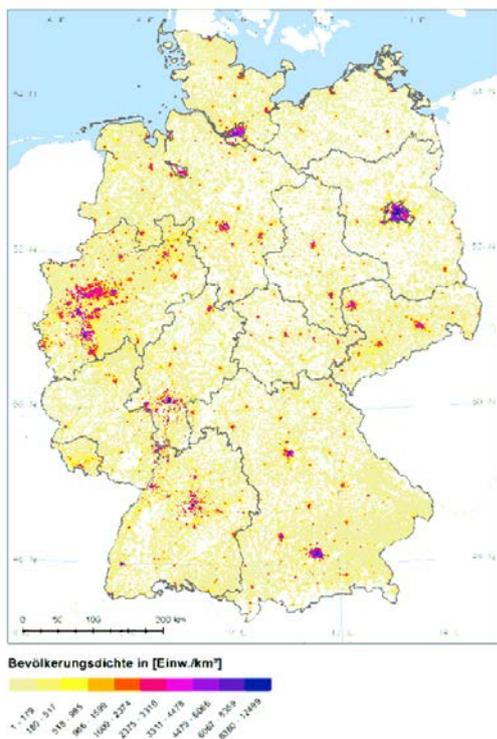


Abbildung 16: Verteilparameter für die Gitterverteilung der Emissionen aus Haushalten (Einwohner/km<sup>2</sup>) (Gallego 2010)

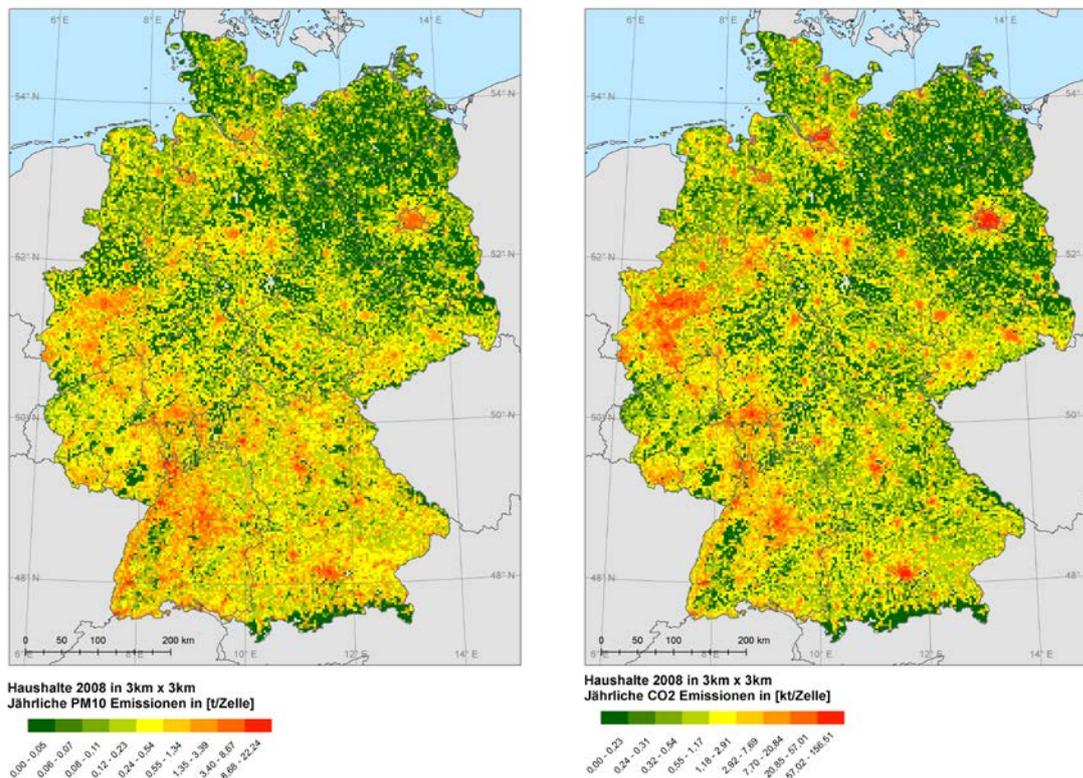


Abbildung 17: Räumliche Verteilung von PM<sub>10</sub>- und CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Haushalten

### 5.3.4 Aktualisierung

Der Emissionswert eines Schadstoffs  $s$  in der Zelle  $z$  wird wie folgt berechnet:

$$(5) \quad E_{s,z,t} = EF_{s,t} * AR_t * VP_{s,z,t},$$

wobei:

$E_{s,z,t}$  = Emission eines Schadstoffs  $s$  in der Zelle  $z$  im Jahr  $t$ ,

$EF_{s,t}$  = Emissionsfaktor eines Schadstoffs  $s$  im Jahr  $t$ ,

$AR_t$  = Endenergieverbrauch in Deutschland (Aktivitätsrate) im Jahr  $t$ ,

$VP_{s,z,t}$  = Verteilparameter für den Schadstoff  $s$  für die Zelle  $z$  im Jahr  $t$ .

Die Aktualisierung erfolgt durch eine jährliche Anpassung des Endenergieverbrauchs in Deutschland. Die zur Berechnung des Endenergieverbrauchs benötigten Informationen, d.h. Endenergieverbrauch in Deutschland, gegliedert nach Brennstoffen, können der jährlich aktualisierten Energiebilanz der AGEB ([www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de)) direkt entnommen werden. Unter zu Hilfenahme der Emissionsfaktoren können die gesamtdeutschen Emissionen des Haushaltssektors berechnet werden.

Eine Aktualisierung der Emissionsfaktoren und Verteilparameter erfolgt nur in größeren Zeitabständen.

## 6 Stoffeinträge in Gewässer

### 6.1 Auswahl der Schadstoffe

Für das PRTR wurden folgende Stoffe bzw. Stoffgruppen ausgewählt: Nährstoffe (Stickstoff und Phosphor), Schwermetalle (Cadmium, Kupfer, Chrom, Blei, Quecksilber, Nickel und Zink), polyzykli-

sche aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)<sup>5</sup> und prioritäre Stoffe wie der Weichmacher Di-(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP) und Pestizide (Isoproturon und Diuron). Die Auswahl richtet sich nach der Relevanz der einzelnen Schadstoffe sowie Datenverfügbarkeit (s. Kapitel 6.2).

## 6.2 Ermittlung aktueller Emissionsfaktoren und Schadstoffeinträge

Die Ermittlung der Emissionsfaktoren und der Schadstoffeinträge in das Kompartiment Wasser erfolgt für das Bezugsjahr 2008 als regionalisierte Pfadanalyse mit Hilfe des Modellierungswerkzeuges MoRE (Modeling of Regionalized Emissions). Hierzu wurden die relevanten Herkunftsbereiche und Eintragspfade identifiziert (s. Abbildung 18) und die folgenden Eintragspfade in das Modellsystem implementiert:

- Eintragspfade mit punktförmigen Quellen:
  - kommunale Kläranlagen<sup>6</sup>,
  - industrielle Direkteinleiter und
  - Altbergbau sowie
- folgende Eintragspfade mit diffusen Quellen:
  - Kanalisationssysteme,
  - Oberflächenabfluss,
  - Erosion,
  - Abdrift,
  - Grundwasser,
  - Drainagen,
  - direkte atmosphärische Deposition auf die Gewässeroberfläche und
  - Binnenschifffahrt

In einem weiteren Schritt wurden die Eintragspfade in Abhängigkeit von dem jeweiligen Stoff auf die folgenden Bereiche aggregiert:

- direkter Eintrag über atmosphärische Deposition auf die Gewässeroberfläche,
- Eintrag über die Landwirtschaft,
- Eintrag aus dem urbanen Bereich und
- Sonstiges (s. Tabelle 5 und Abbildung 19).

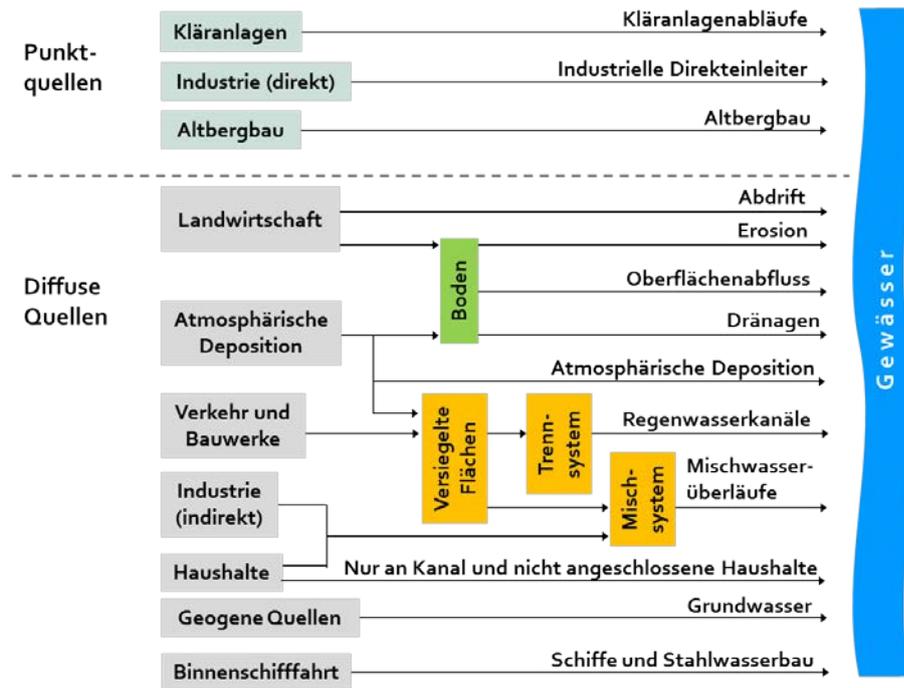
Die Ermittlung der Stoffeinträge für das Bezugsjahr 2008 erfordert bei den verschiedenen Stoffen abhängig vom derzeitigen Stand des Modells unterschiedliche Schritte. Da für Nährstoffe, Schwermetalle und PAK bereits gut dokumentierte Ansätze und Eingangsdaten vorliegen (Fuchs et al. 2010), erfolgte hier eine Aktualisierung der Datengrundlage des Eintragsmodells.

Für Weichmacher und Pflanzenschutzmittel hingegen gab es noch keine Modellierungsansätze. Diese wurden in Abhängigkeit von den recherchierten Eingangsdaten entwickelt.

---

<sup>5</sup> Als Summenparameter der 16 PAK, die von der amerikanischen Bundesumweltbehörde US EPA in die Liste der „Priority Pollutants“ aufgenommen wurde: Acenaphthen, Acenaphthylen, Anthracen, Benzo[a]anthracen, Benzo[a]pyren, Benzo[b]fluoranthren, Benzo[g,h,i]perylen, Benzo[k]fluoranthren, Chrysen, Dibenzo[a,h]anthracen, Fluoranthren, Fluoren, Indeno[1,2,3-cd]pyren, Naphthalin, Phenanthren und Pyren.

<sup>6</sup> Nach Anhang I des PRTR-Protokolls sind kommunale Abwasserbehandlungsanlagen ab einer Kapazitätsschwelle von 100.000 Einwohnergleichwerten als Punktquellen definiert.



**Abbildung 18: Stoffquellen und Eintragspfade für Gewässerverschmutzung (Fuchs et al. 2010)**

Als Eingangsdaten werden allgemeine Eingangsdaten (Landnutzung, statistische Daten zu Kanalisationsystemen, etc.) und stoffspezifische Eingangsdaten (Stoffkonzentrationen in Umweltkompartimenten) in bestverfügbarer räumlicher und zeitlicher Auflösung verwendet. Die Daten sind räumlich und zeitlich interpoliert und aggregiert worden, um sie an die in MoRE verwendeten Analysegebiete und Zeitschritte anzupassen.

Die im Folgenden aufgeführten Eingangsdaten werden, soweit nicht anders beschrieben, nach der Methode von Fuchs et al. (2010) aufbereitet und verwendet. Tabelle 6 fasst die wichtigsten verwendeten Datengrundlagen zusammen. Alle weitere Eingangsdaten sowie Details zur Datenaufbereitung können aus Fuchs et al. (2010) entnommen werden. Eine detaillierte Darstellung findet sich im Anhang 6.

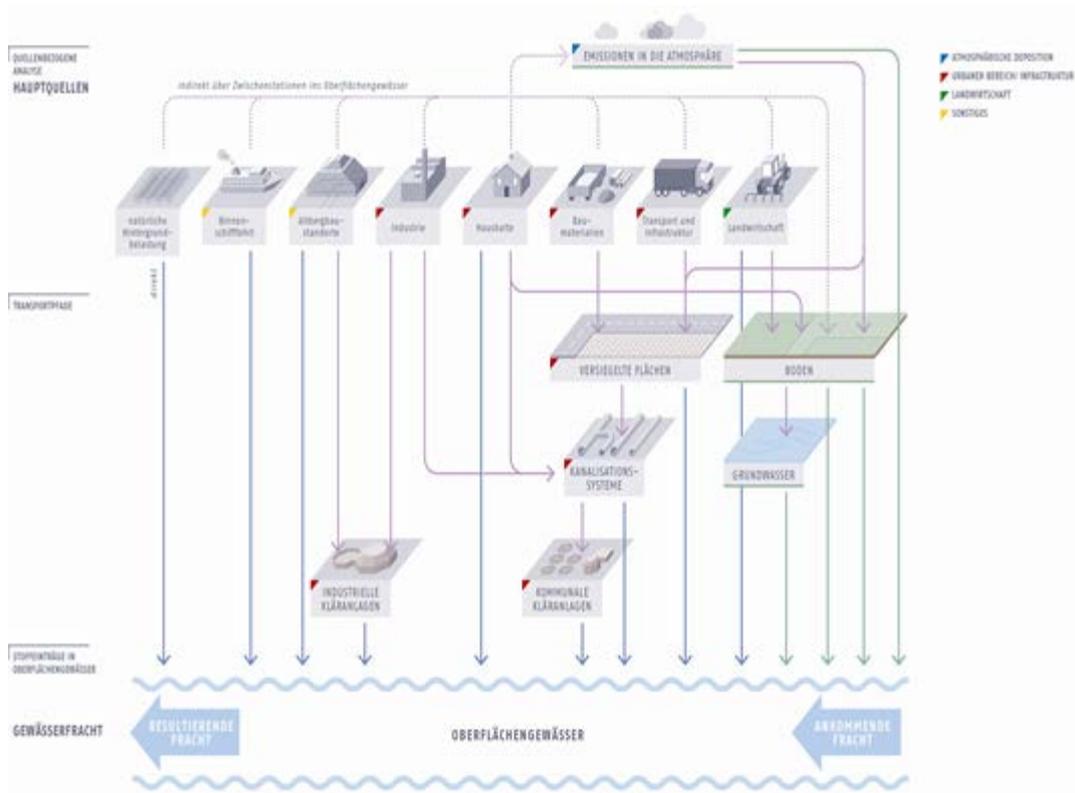


Abbildung 19: Schematische Darstellung der Zuordnung der Stoffeinträge in Gewässer

Tabelle 5: Zuordnung der Eintragspfade zu den Bereichen

Bereich	N	P	Cd	Cr	Cu	Hg	Pb	Ni	Zn	PAK	DEHP	Iso.
	Pfad											
AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	AD	--
Landwirtschaft	GW	GW	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	TD	--	TD									
	ER	--										
	SR											
	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	SD
Urbaner Bereich	US											
	WWT											
	ID											
Sonstige	--	--	GW	--	--							
	--	--	AM	--	--	--						
	--	--	--	--	--	--	--	--	--	IN	--	--
Gesamt	alle											

Anm.: AD = atmosphärische Deposition; Landwirt. = Landwirtschaft; Iso. = Isoproturon; GW = Grundwasser; TD = Dränagen; ER = Erosion; SR = Oberflächenabfluss; SD = spray rift; US = Urbane Systeme; WWT = Kläranlagen (WWTP); ID = Industrielle Direkteinleiter; AM = Altbergbau; IN = Binnenschifffahrt.

**Tabelle 6: Wichtige allgemeine und stoffspezifische Eingangsdaten für die regionale Stoffeintragsmodellierung mit MoRE**

Allgemeine Eingangsdaten	Bereich	Stoffspezifische Eingangsdaten
EEA (2010); NASA-STRM (2005); Schneider et al. (2010); Eurostat (2012); FDZ (2012); e-Kommunalabwasser (2012); Basis MOD16 Verdunstung; Abflussdaten der BL	Landwirtschaft	EMEP/NILU (2012); Statistisches Bundesamt (2012; 2010; 2009a, b; 2008; 2007a, b; 2006a, b, c); Lieferung der Bundesländer (2012); Kratz und Schnug (2005); Fuchs et al. (2002); Bielert (1999); Duijnisveld et al. (2008); Bach (2012); Kunkel et al. (2007); OECD (2013); Eurostat (2013); Hartwich et al. (1995); LABO (2003); Welker (2004)
	Urbaner Bereich	FDZ (2012); e-Kommunalabwasser (2012); PRTR (2012); Brombach und Fuchs (2003); Ad hoc AG Prioritäre Stoffe (2011)
	Direkteintrag	EMEP/MSC-W (2012); EMEP/NILU (2012); Zereini (2010); Behrendt et al. (1999); EMEP/MSC-E (2012); BAW (2007); Henzler (2004); Mayer und Lewis (2004); Kohler und Künniger (2003); Horn et al. (2005)
	Sonstiges	Datenlieferung Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)

Für die Nährstoffe, Schwermetalle und PAK wurden die bereits vorliegenden Eingangsdaten fortgeschrieben. Die Ergebnisse der neuen Eintragsberechnung wurden mit den validierten Ergebnissen aus Fuchs et al. (2010) verglichen und plausibilisiert.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Datenbasis für die Nährstoffe sehr gut und für einige Schwermetalle (Kupfer, Zink, Chrom, Nickel, Blei) gut ist. Bei den Schwermetallen Cadmium und Quecksilber sowie bei den PAK sind jedoch teilweise große Unsicherheiten in den Eingangsdaten zu verzeichnen. Diese beruhen zum einen auf der schwierigen Analytik (Cadmium, Quecksilber, PAK), zum anderen auf der Extrapolation von Einzelsubstanzen auf den Summenparameter PAK.

Für die Stoffgruppen Weichmacher und Pflanzenschutzmittel lieferte die Literaturrecherche zu Konzentrationen keine zufriedenstellenden Ergebnisse. Es liegen keine flächendeckenden räumlich und zeitlich differenzierten Datensätze vor. Die gefundenen Daten stammen meist aus Einzeluntersuchungen an speziellen Standorten. Viele der recherchierten Werte stammen aus ausländischen Untersuchungsgebieten und können aufgrund unterschiedlicher Standortgegebenheiten nur bedingt auf Deutschland übertragen werden. Die großen Wertespanspannen der Messwerte in den aufgeführten Untersuchungen machen die Ableitung diskreter Werte für die pfadspezifische Modellierung schwierig und unsicher.

Aufgrund dieser Problematik sollte zunächst auf eine pfadspezifische Eintragsberechnung verzichtet werden und stattdessen der Immissions-Ansatz zur Anwendung kommen (Europäische Kommission 2012). Dieses Vorgehen wurde jedoch nicht weiter verfolgt, da es zu verzögerten Datenlieferungen durch die Länder kam und infolgedessen die Gewässerfrachtberechnung aus den gelieferten Abfluss- und Gütedaten nicht rechtzeitig hätte abgeschlossen werden können. Aufgrund dessen wurden Stoffeinträge von DEHP und den Pflanzenschutzmitteln (Isoproturon) anhand der regionalisierten Pfadanalyse modelliert. Die schwierige Datenlage sowie der fehlende Vergleich mit beobachteten Flussfrachten lassen keine belastbaren Aussagen über die Güte der Ergebnisse zu. Vor allem bei Isoproturon wird darauf hingewiesen, dass die Grenzen des Vertrauensbereichs der Einträge aus dem land-

wirtschaftlichen Bereich weit auseinander liegen. Bei Diuron wurde aufgrund fehlender Messdaten in wichtigen Umweltkompartimenten von einer Modellierung abgesehen und nur die Einträge aus Kläranlagen für Gesamtdeutschland quantifiziert.

Zur Berechnung der stoffspezifischen Emissionsfaktoren wurden kontextspezifische Aktivitätsraten bestimmt. Die Aktivitätsraten müssen in einer belastbaren Relation zu den modellierten Einträgen aus den definierten Bereichen stehen. Hierzu wurde die langjährige Korrelation untersucht, um die repräsentativste Aktivitätsraten abzuleiten. Aus den Aktivitätsraten und den modellierten Stoffeinträgen wurden die stoffspezifischen Emissionsfaktoren berechnet:

$$(6) \quad EF_s = \frac{X_s}{AR}$$

wobei:

- $EF_s$  = Emissionsfaktor eines Schadstoffs  $s$ ,
- $X_s$  = Eintrag des Schadstoffs  $s$ ,
- $AR$  = Aktivitätsrate.

### 6.3 Regionalisierung

Die Regionalisierung der Einträge erfolgt hauptsächlich durch die räumlich differenziert vorliegenden Eingangsdaten zu Landnutzung, Hydrologie und Bevölkerungsdichte. Die räumliche Bezugseinheit der Modellierung sind hydrologisch abgegrenzte Gebietseinheiten von im Durchschnitt 130 km<sup>2</sup> Fläche.

Die auf Ebene der MoRE-Analysegebiete berechneten und zu Bereichen gruppierten Stoffeinträge werden auf 3km x 3km gerastert.

Abbildung 20 zeigt beispielhaft die räumliche Verteilung von Zinkeinträgen in Oberflächengewässer.

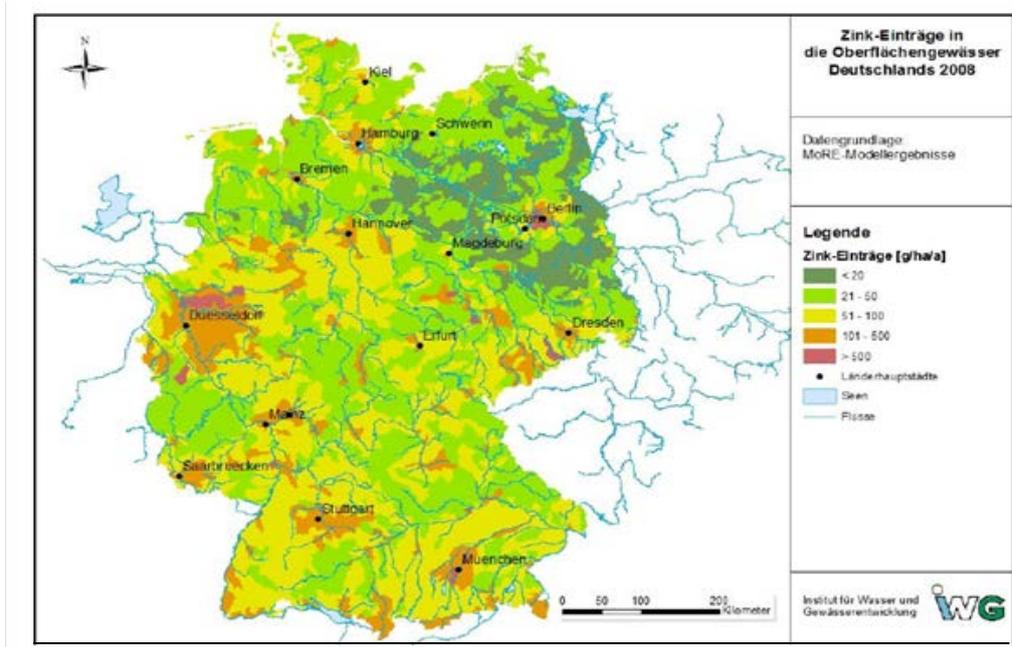


Abbildung 20: Zink-Einträge in die Oberflächengewässer Deutschlands für das Jahr

### 6.4 Plausibilisierung

Eine erste Plausibilisierung der Gesamteintragsberechnung für Nährstoffe, Schwermetalle und PAK erfolgte durch den Vergleich mit den Ergebnissen aus Fuchs et al. (2010). Der Vergleich zwischen

modellierten und beobachteten Frachten an den Gütepegeln steht noch aus. Trotzdem ist die Plausibilisierung durch den Vergleich mit der Eintragsberechnung für die alten Bilanzzeiträume gegeben, so dass die Ableitung der relevanten Eintragsbereiche als richtig angesehen werden kann.

Für Nährstoffe und einige Schwermetalle wurden mit einer guten Datenbasis und einer etablierten Methodik solide Ergebnisse berechnet. Für die Schwermetalle, welche in niedrigeren Konzentrationen in der Umwelt auftreten (Cadmium, Quecksilber), PAK, DEHP und insbesondere Isoproturon, sind die Ergebnisse aufgrund großer Mängel bei den verfügbaren Eingangsdaten (viele Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze) mit großen Unsicherheiten behaftet. Trotzdem wurden alle Stoffe bis auf Diuron modelliert und die Ergebnisse dargestellt. Sie sind jedoch als vorläufige Abschätzung zu sehen. Eine Verwendung dieser Daten sollte immer mit diesem Hintergrundwissen einhergehen. Eine Verbesserung der Eingangsdaten für diese Schadstoffe ist aber zukünftig anzustreben. Dies kann zum Beispiel durch qualitativ bessere Messdaten erfolgen. Trotz aller Unsicherheiten bilden die Ergebnisse die Belastungsschwerpunkte im landwirtschaftlichen und urbanen Bereich plausibel ab.

## 6.5 Aktualisierung

Der Eintrag des Schadstoffs  $s$  in der Zelle  $z$  wird wie folgt berechnet:

$$(7) \quad X_{s,z,t} = \sum_{e=1}^n EF_{s,z,e,t} * VP_{z,e,t} * AR_{e,t} + X_{s,z,es,t}$$

wobei:

$X_{s,z,t}$  = Eintrag des Schadstoffs  $s$  in der Zelle  $z$  im Jahr  $t$ ,

$EF_{s,z,e,t}$  = Emissionsfaktor eines Schadstoffs  $s$  in der Zelle  $z$  im Eintragspfad  $e$  im Jahr  $t$ ,

$VP_{z,e,t}$  = Verteilparameter für den Schadstoff  $s$  für die Zelle  $z$  für den Eintragspfad  $e$  im Jahr  $t$ ,

$AR_{e,t}$  = Aktivitätsrate des Eintragspfades  $e$  im Jahr  $t$ ,

$X_{s,z,es,t}$  = Eintrag des Schadstoffs  $s$  in der Zelle  $z$  über den Eintragspfad  $es$  im Jahr  $t$ .

Der Index  $e$  erfasst die Eintragspfade Atmosphärische Deposition, Landwirtschaft und Urbaner Bereich. Der Eintragspfad Sonstiges wird durch den Index  $es$  berücksichtigt.

Die Aktualisierung des Stoffeintrags erfolgt durch die jährliche Anpassung der Aktivitätsrate, während die jeweiligen Emissionsfaktoren und Verteilparameter sowie der Eintrag des Schadstoffs  $s$  in der Zelle  $z$  über den Eintragspfad Sonstiges in größeren Zeitabständen angepasst werden.

Bei der Bestimmung einer geeigneten Aktivitätsrate muss zwischen den vier Bereichen Atmosphärische Deposition, Landwirtschaft, Urbaner Bereich und Sonstiges unterschieden werden. Für den modellierten Bereich Atmosphärische Deposition, wurde die Gewässeroberfläche als geeignete Aktivitätsrate identifiziert (s.a. Tabelle 7). Für die Bereiche Landwirtschaft und Urbaner Bereich können prinzipiell die landwirtschaftliche Nutzfläche (Landwirtschaft) bzw. die Einwohnerzahl (Urbaner Bereich) genutzt werden (s.a. Tabelle 7). Für den Bereich Sonstiges konnten bei keinem der Stoffe geeignete Aktivitätsraten identifiziert werden, eine Aktualisierung ist hier aber auch kaum notwendig.

Aufgrund der Vielfalt der Quellen und Eintragspfade sind bei einer alleinigen Änderung der identifizierten Aktivitätsraten Abweichungen gegenüber einer jährlichen Aktualisierung aller Eingangsgrößen des Modells zu erwarten, die vom KIT IWG als nennenswert angesehen werden. Aus diesem Grund empfiehlt das KIT IWG in Zukunft die Aktualisierung mittels einer vollständigen Anpassung aller Eingangsdaten in das Modell durchzuführen.

**Tabelle 7: Korrelationsmatrix der Emissionen mit den Aktivitätsraten. Angegeben ist der Rangkorrelationsfaktor  $\rho$  nach Spearman. Alle Korrelationen sind hoch signifikant ( $\rho < 0,01$ )**

Stoff	Emissionen durch atmosphärische Deposition AR: Gewässeroberfläche	Emissionen aus dem landwirtschaftlichen Bereich AR: landwirtschaftliche Nutzfläche	Emissionen aus dem urbanen Bereich AR: Einwohnerzahl
Stickstoff	0,99	0,86	0,83
Phosphor	1,00	0,86	0,84
Cadmium	0,98	0,86	0,88
Chrom	1,00	0,76	0,89
Kupfer	1,00	0,84	0,94
Quecksilber	0,98	0,89	0,95
Nickel	1,00	0,81	0,87
Blei	0,99	0,71	0,95
Zink	1,00	0,84	0,94
PAK16	0,97	0,78	0,96
DEHP	1,00	0,73	0,94
Isoproturon	--	0,95	0,89

Anm.: AR = Aktivitätsrate.

## 7 Validierung der Daten

Die im Projekt ermittelten regionalisierten Emissionswerte wurden im Rahmen des Projektes mittels einer Expertenvalidierung geprüft. Diese Expertenevaluierung wurde in zwei Schritten durchgeführt.

### 7.1 UBA-Fachworkshop

In einem internen Workshop am 17.04.2013 in Dessau-Roßlau, an dem neben den einzelnen Partnern im Projekt auch Vertreter betroffener Fachabteilungen des Umweltbundesamts teilnahmen, wurde das Projekt, die Vorgehensweise und die ermittelten Ergebnisse vorgestellt und die entsprechenden Unterlagen zur Verfügung gestellt.

Als Ergebnis des Fachworkshops kann zusammengefasst werden, dass von Seiten der Fachansprechpartner im Umweltbundesamt keine Einwände gegen die Vorgehensweise, ermittelten Daten und Visualisierung bestehen.

Es wurden verschiedene Anregungen gegeben, die im Kontext der Informationen für den Anwender gesehen werden kann. So wurde angemerkt, dass der Begriff „diffuse Quellen“ im Rahmen der Emissionsberichterstattung auch anders verwendet wird als beim PRTR. Im Projekt folgt die genutzte Definition des Begriffs dem PRTR-Protokoll bzw. der PRTR-VO (s. Kapitel 2.2). Es wurde im Workshop die Befürchtung geäußert, dass die unterschiedlichen Nutzungen des Begriffs „diffuse Quelle“ zu Irritationen bei dem Nutzer führen könnte. Daher sollte der Nutzer entsprechend informiert werden, sofern auf eine Nennung des Begriffs nicht verzichtet werden kann.

Weiterhin wurde darauf hingewiesen, dass es eine Differenz zwischen den in der Emissionsberichterstattung und den im PRTR ermittelten Emissionswerten geben kann, wenn man die von den

Unternehmen als Punktquellen im Rahmen von PRTR gemeldeten Emissionen und die Emissionen aus diffusen Quellen addiert. Diese Differenz entsteht u.a. aufgrund der Schwellenwerte für Emissionen aus Punktquellen. Dies sollte ebenfalls für den Nutzer deutlich gemacht werden.

Eine weitere Schwierigkeit, auf die bei der Veröffentlichung geachtet werden sollte, ergibt sich bei PAK-Emissionen, die als unterschiedliche Summenparameter verstanden werden können. Sofern die Daten, die zur Verfügung gestellt werden, andere PAKs umfassen als die, die nach dem PRTR-Protokoll vorgesehen sind, wird dies bei der Darstellung kenntlich gemacht (s.a. Tabelle 2).

## 7.2 Länderkonsultation

Im Rahmen der PRTR-Leitungsgruppensitzung am 26. und 27.02.2013 in Halle/Saale wurde das Vorhaben vorgestellt und diskutiert. In diesem Rahmen wurde mit den Ländern vereinbart, die Ergebnisse aus dem Vorhaben zur Verfügung zu stellen. Von Seiten der Länder besteht Interesse, die Ergebnisse des Projektes kennenzulernen und mit auf Länderebene vorliegenden Daten zu vergleichen. Da es auf Länderebene keine einheitliche Vorgehensweise zur Erstellung der Emissionskataster gibt und auch nicht in allen Ländern Emissionskataster erstellt werden, kann diese Gegenüberstellung nicht für alle Bundesländer gleichermaßen erfolgen.

Den einzelnen Länderbehörden wurden die erarbeiteten Datensätze als Shapefiles, die erstellten Karten und eine Kurzdokumentation zur Verfügung gestellt. Darauf aufbauend wurde den Ländern die Möglichkeit gegeben einen Vergleich mit den Daten aus den landeseigenen Emissionskatastern vorzunehmen und damit zu einer Qualitätssicherung der erarbeiteten Datensätze beizutragen.

Hiervon wurde nur von wenigen Ländern Gebrauch gemacht. Der Vergleich wurde basierend auf den Daten der Emissionskataster vorgenommen und erfolgte auf zwei Ebenen:

- Ermittlung und Vergleich der Gesamtemissionen des Bundeslandes
- Ermittlung und Vergleich der Emissionen des Bundeslandes auf Gitterzellenebene

Die Evaluierung des Vergleichs auf der Ebene der Gesamtemissionen der Bundesländer wird erfolgen, sobald die Informationen und Rückmeldungen vollständig vorliegen.

Auf der Gitterzellenebene weichen die Ergebnisse nach den Auswertungen eines Landes für die Emissionen aus dem Verkehr in die Luft voneinander ab. Diese Unterschiede sind einerseits auf die verschiedenen Vorgehensweisen bei der Regionalisierung zurückzuführen (s. Kapitel 3.1.1), andererseits auf Unterschiede bei den zugrunde liegenden Rastern und Projektionen und daraus folgenden Ungenauigkeiten durch Umrechnungen, die für die Vergleiche der Daten notwendig waren.

- Verschiedenen Vorgehensweisen bei der Regionalisierung:  
Auf Ebene der Länder werden für die Emissionskataster Ansätze gewählt, die Bottom-up-Ansätzen zugerechnet werden können. Damit werden meist für Belastungsschwerpunkte detaillierte Daten erhoben. Hingegen werden die Emissionen für das PRTR für Deutschland mit einem Top-down-Ansatz regionalisiert. Bei einem Bottom-up-Ansatz können andere – meist detailliertere aber kleinräumigere – Verteilparameter benutzt werden, als dies bei einem Top-down-Ansatz möglich ist.
- Unterschiede durch Umrechnungen der Rastergrößen und Projektionen:  
Sobald die zu vergleichenden Daten für unterschiedliche Rastergrößen (z.B. 3km x 3km und 1km x 1km) und verschiedene Koordinaten-Projektionen (PRTR und diese der Länder) vorliegen, müssen sie in die jeweilige andere Rastergröße und Projektion umgerechnet werden. Dadurch können Ungenauigkeiten entstehen.

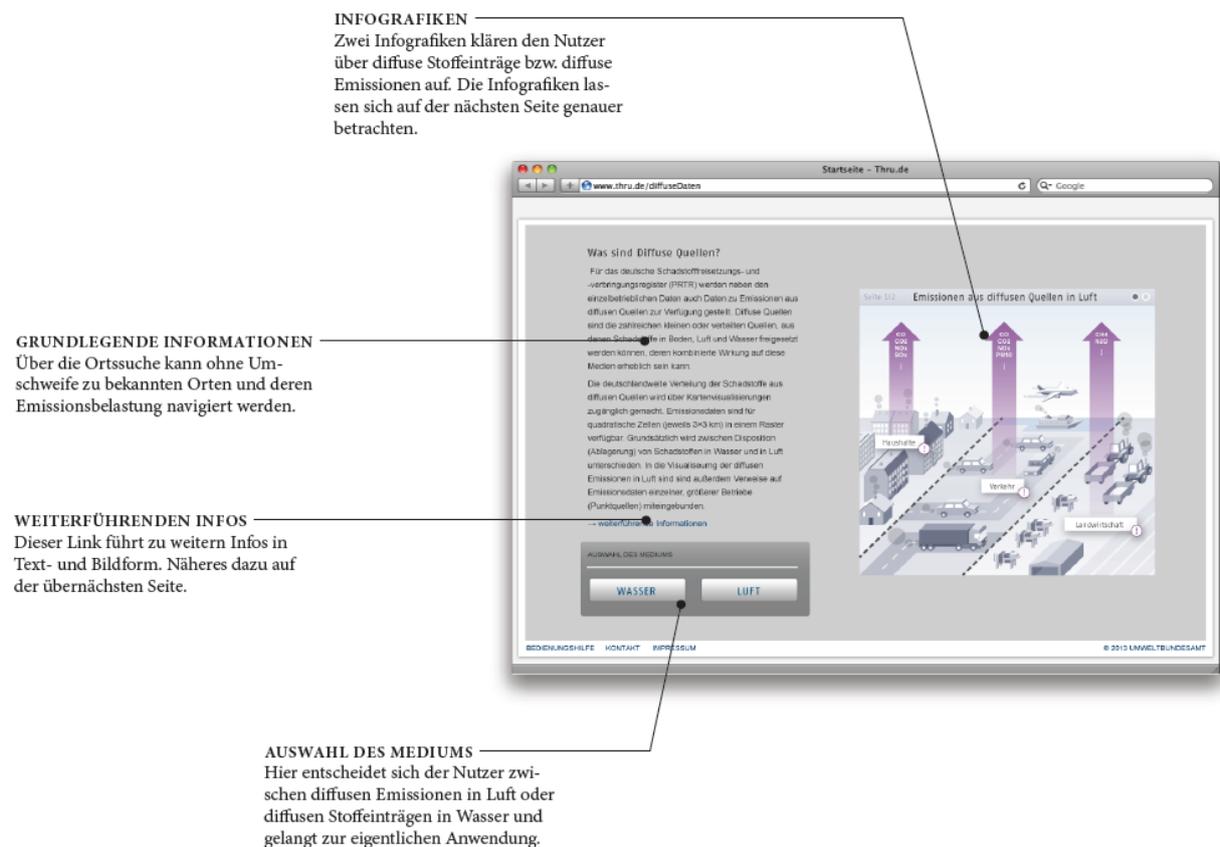
## 8 Visualisierung der zu bereitstellenden Informationen

### 8.1 Styleguide

Der Styleguide beschreibt das Konzept eines Prototyps zur Visualisierung der Informationen zu diffusen Quellen, d.h. zu Stoffeinträgen in Wasser und direkte Emissionen in Luft. Das Ziel der Visualisierung ist es, die Informationen übersichtlich und nutzerorientiert im Rahmen von Thru.de, aber in einem eigenen Browserfenster, als Webpräsenz zugänglich zu machen. Dabei spielen dynamische Geovisualisierungen eine zentrale Rolle. Die Geovisualisierungen bestehen aus einer einheitlichen, zoombaren Kartenansicht deren Grundlage die 3km x 3km-Zellen bilden. Die Emissionswerte der unterschiedlichen Schadstoffe werden durch ein mehrstufiges Farbschema visualisiert, dessen Helligkeitsabstufung optimiert ist. Dadurch wurde die Relation zwischen den Farbabstufungen und den Unterschieden der einzelnen Werte weiter verbessert (s.a. Anhang 7).

#### 8.1.1 Startseite

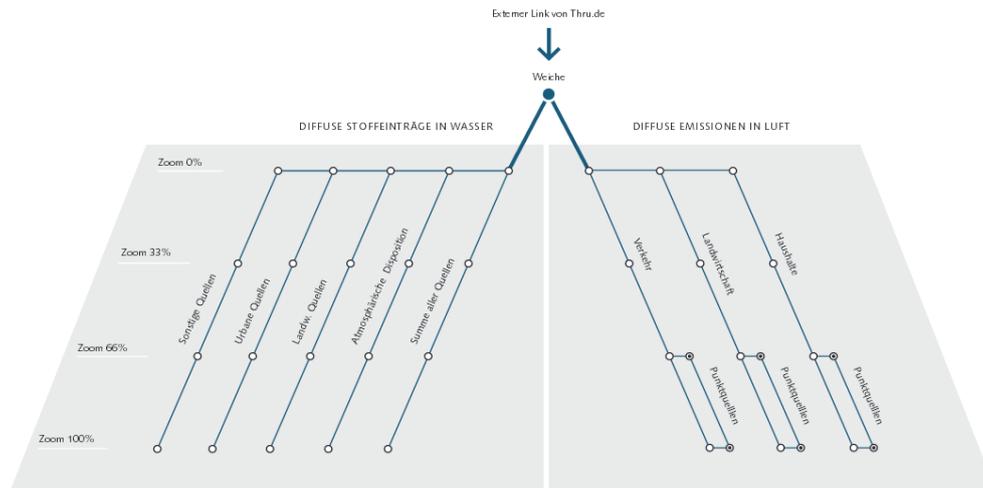
Der Nutzer startet die Anwendung aus Thru.de heraus in einem eigenen Browserfenster. Die Weiche, die direkt nach dem Öffnen der Seite zu diffusen Quellen sichtbar wird, übernimmt die notwendige Trennung zwischen den Bereichen Schadstoffeinträge in Gewässer und Emissionen in die Luft (s. Abbildung 21).



**Abbildung 21: Startseite und Weiche zwischen Emissionen in Luft und Stoffeinträge in Wasser**

Die Weiche ist damit der Ausgangspunkt für die Informationsarchitektur, wie sie in Abbildung 22 dargestellt wird. Befindet man sich in der eigentlichen Kartenanwendung (grauer Bereich), kann zwi-

schen diversen Schadstoffen und zukünftig potenziell dem Jahr der Emissionen dieser Stoffe gewählt werden.



**Abbildung 22: Struktur und Hierarchie der Anwendung**

Auf der Startseite werden außerdem die grundlegenden Informationen über die visualisierten, diffusen Daten angeboten. Dies umfasst umfangreiche Angaben in Text und Bildform zur Aussage und Erzeugung der Daten (s. Abbildung 21).

Einführende Erläuterungen zur Thematik der Emissionen aus diffusen Quellen, deren Erzeugung sowie belasteten Medien, werden in Infografiken umgesetzt. Diese sind sowohl auf der Startseite, sowie auf den nächsten Seiten nach der Weiche zugänglich.

Ein Klick auf weiterführende Informationen in der Weiche blendet einen Overlay ein. Es legt sich eine Fläche über die Weiche, auf der weitere Informationen Platz finden. Außerdem finden sich zwei Infografiken, welche die Generierung der Emissionswerte aus diffusen Quellen illustrieren und für den Nutzer nachvollziehbar machen sollen.

### 8.1.2 Aufbau der Seiten der Kartenanwendungen

Nachdem der Nutzer die Weiche passiert und sich zwischen Schadstoffeinträgen in Gewässer und Emissionen in Luft entschieden hat, findet er sich in der eigentlichen Anwendung wieder. Die grundlegende Struktur wird im Folgenden dargelegt.

Der Aufbau der Seiten ist hinsichtlich Kopfzeile, Fußzeile und Logobereich in den eigentlichen Kartenanwendungen einheitlich gestaltet (s. Abbildung 23).

Die Darstellungsoptionen finden sich am linken Rand der Anwendung unter der Kopfzeile. Diese umfasst eine Ortssuche, verschiedene Optionen zum Beeinflussen der Kartendarstellungen und lässt sich ein- und ausblenden. Die Ortssuche ist dabei für beide Medien, d.h. für Schadstoffeinträge in Gewässer als auch für Emissionen in die Luft, gültig, mit ihrer Hilfe kann zu bekannten Orten und deren Emissionsbelastung navigiert werden. Ein Klick auf die Lupe löst den Suchvorgang aus. Ebenfalls global gültig ist die Auswahl des Schadstoffes und die bereits angelegte Auswahl des Jahres, aus welchem die angezeigten Emissionen stammen sollen. Ein Klick auf den Button Anwenden übernimmt die Änderungen in der Kartendarstellung. Das Fragezeichen führt zur Bedienungshilfe der Darstellungsoptionen. Der wesentliche Unterschied zwischen den jeweiligen Darstellungsoptionen für das Medium Wasser und das Medium Luft wird in Abbildung 24 erläutert.

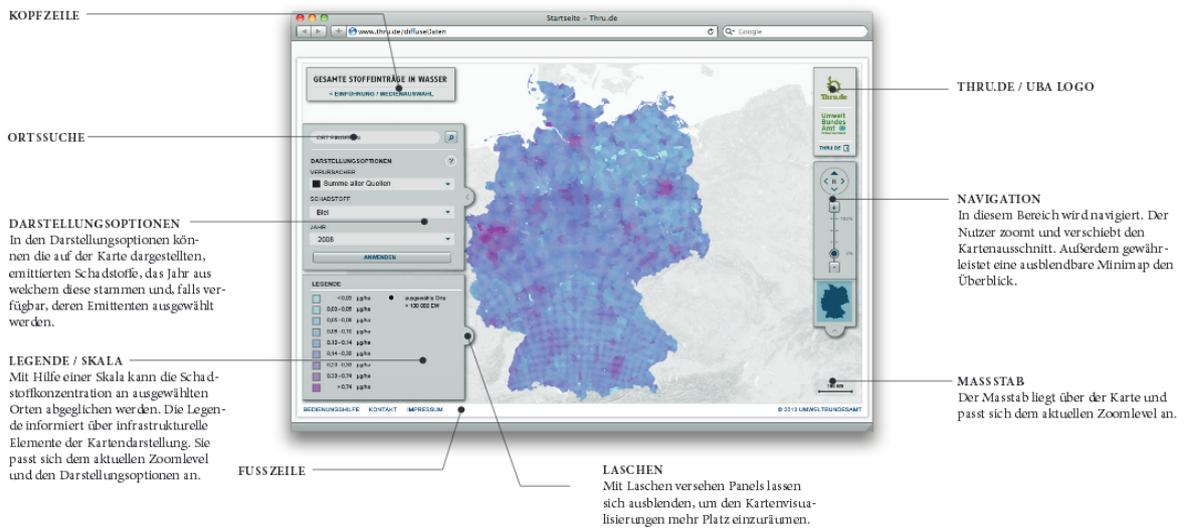


Abbildung 23: Struktur der Anwendung

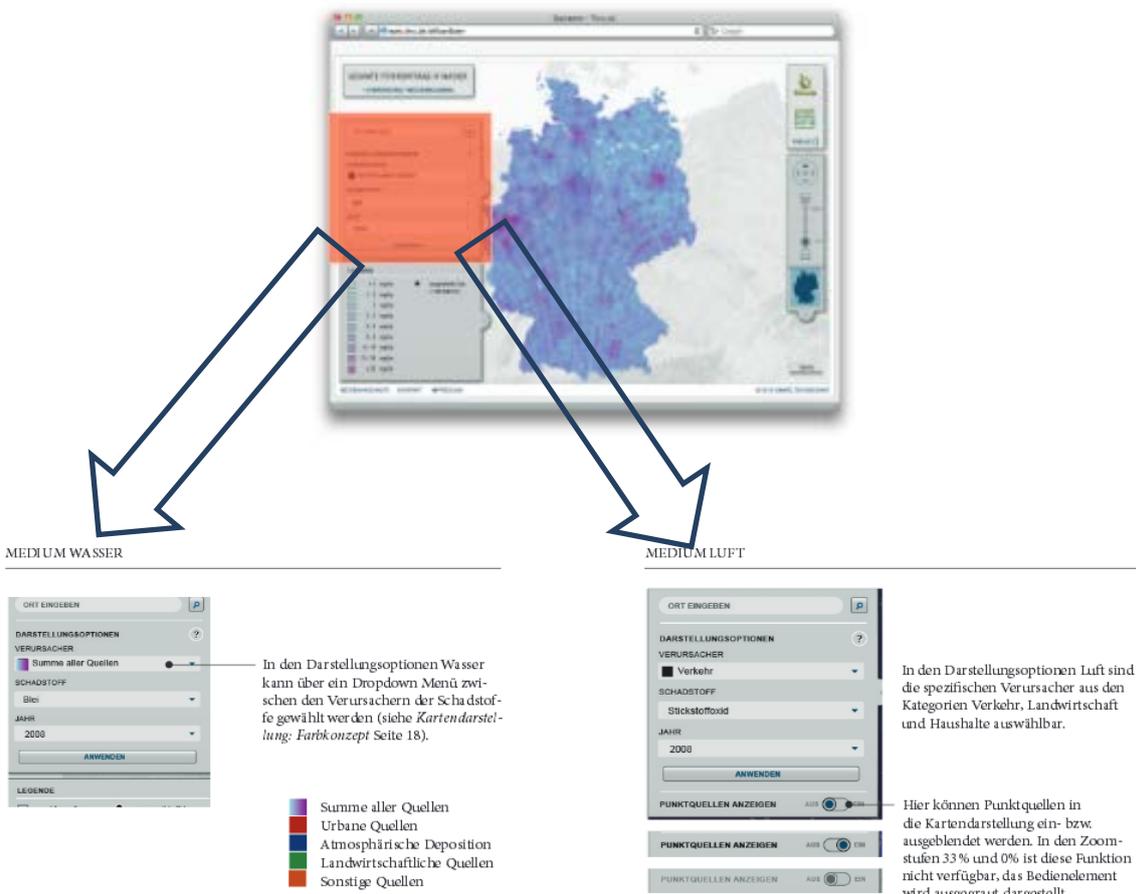


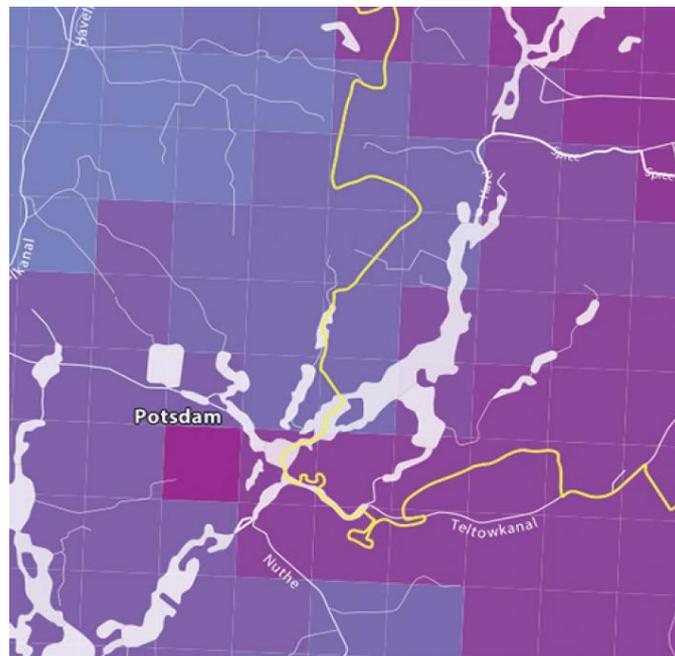
Abbildung 24: Aufbau der Seiten mit den Kartenanwendungen in Klickprototypen zu Emissionen aus diffusen Quellen

### 8.1.3 Kartendarstellungen

Das Aussehen der Geovisualisierungen ist vom aktuellen Zoomlevel abhängig. Neben einer Ansicht der Übersicht ist eine Zellenansicht verfügbar (s. Abbildung 25). Beide Ansichten können gezoomt werden. Der Nutzer erhält so direkten Zugriff auf die Emissionswerte der einzelnen Zellen. Durch Anklicken der Zellen öffnen sich die Datatipps mit den Schadstoffwerten in Ziffern- und Diagrammform (s. Kapitel 8.1.3.1). Die Zellen färben sich abhängig von dem in den Darstellungsoptionen ausgewählten Verursachern. Ortsnamen und Straßennamen werden sowohl über die Visualisierung der Daten als auch über sonstige infrastrukturelle und topographische Informationen gelegt.

Infrastrukturelle und topografische Informationen sind in der Gitterzellenansicht integriert, Punktquellen ergänzen die Visualisierung.

Während des Vergrößerns des relevanten Ausschnitts verändert sich die Darstellung der Karte. Die Intensität der Zellenfärbung ist abhängig von dem dargestellten Emissionswert – je größer der Wert, desto intensiver ist die Zelle gefärbt (s. Kapitel 8.1.3.2). In der Rasterdarstellung kann durch Auswahl der einzelnen Zellen auf deren Emissionswerte in Ziffern- und Diagrammform zugegriffen werden. Außerdem kann ein Satellitenbild der ausgewählten Zelle betrachtet werden.



**Abbildung 25: Beispiel für eine Kartendarstellung Zellenansicht**

#### 8.1.3.1 Elemente Datatipp

In der Zellenansicht sind die Emissionswerte durch Klicken der jeweiligen Gitterzelle auf der Kartendarstellung zugänglich. Nachdem die ausgewählte Zelle durch Klick hervorgehoben wird, öffnet sich nach einem weiteren Klick der Datatipp. Dieser macht die Emissionswerte in Form von Diagrammen und Ziffern zugänglich. Außerdem besteht die Möglichkeit, aus diesem Datatipp heraus ein Satellitenbild der Gitterzelle zu betrachten. Die Datatipps für die Medien Wasser und Luft unterscheiden sich in den Diagrammen, mit welchen die Emissionen bzw. Stoffeinträge ergänzend visualisiert werden. Diffuse Stoffeinträge in Wasser werden mit Hilfe eines Tortendiagramms abgebildet, während diffuse Emissionen in Luft mit Balkendiagrammen dargestellt werden (s. Abbildung 26). Des Weiteren

kann im Medium Luft auf Punktquellen zugegriffen werden. Ein Link verweist auf die Detailinformationen der Punktquelle in Thru.de.

Der größte Ort (EW) in der markierten Rasterzelle wird als Headline für den Datatip verwendet.

Darunter findet sich noch einmal zusammengefasst die Einstellungen im Panel Darstellungsoptionen.

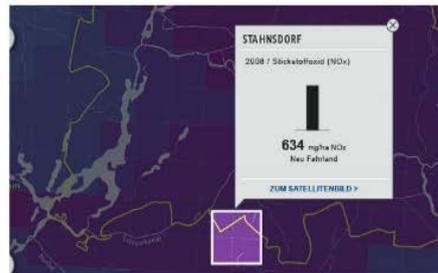
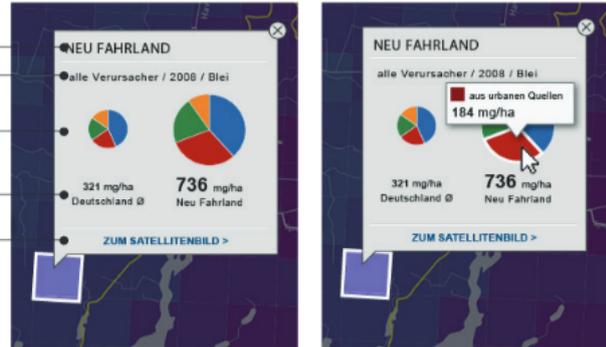
Dann folgen die Diagramme. Das linke Diagramm bildet die Emissionswerte in der mittleren Rasterzelle Deutschlands ab, das Rechte zeigt die Zusammensetzung der Werte bzw. den Wert der aktuell ausgewählten Rasterzelle.

Als nächstes folgt die Menge des emittierten Schadstoffes in Ziffernform.

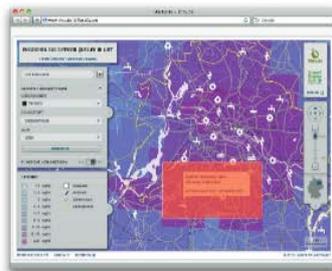
Den Abschluss bildet der Link zum Satellitenbild.

Wird die Summe aller Quellen auf der Karte angezeigt, so setzen sich die Tortendiagramme im *Datatip* aus den Anteilen der einzelnen Verursacher zusammen.

Ein Mouseover über ein Tortenstück blendet einen Tooltip ein. In diesem findet sich der Anteil des jeweiligen Verursachers an der Summe aller Emissionen in Ziffernform



Der *Datatip* Luft ist genauso wie der *Datatip* Wasser aufgebaut. Den einzigen Unterschied macht die Form des Diagrammes. Im Medium Luft werden Balkendiagramme genutzt.



Im *Datatip* Punktquelle folgt auf den Namen der Quelle der Link, welcher auf die Detailinformationen der Punktquelle auf *Thru.de* verweist. Dieser Link verweist auf die Details aus dem in den Darstellungsoptionen ausgewählten Jahr.

**Abbildung 26: Detailinformationen zu Belastungen in den einzelnen Zellen**

Das über den Link erreichbare Satellitenbild legt sich als Overlay über die ganze Anwendung (s. Abbildung 27). Es soll dem Nutzer eine Vorstellung von der Bebauung der Zelle geben und aggregiert Wissen über die Herkunft der Emissionen aus diffusen Quellen bzw. der Stoffeinträge aus diffusen Quellen geben. Es lässt sich durch einen Klick in die rechte obere Ecke des Fensters oder durch einen Klick auf den umgebenden, geschwärtzten Bereich ausblenden.

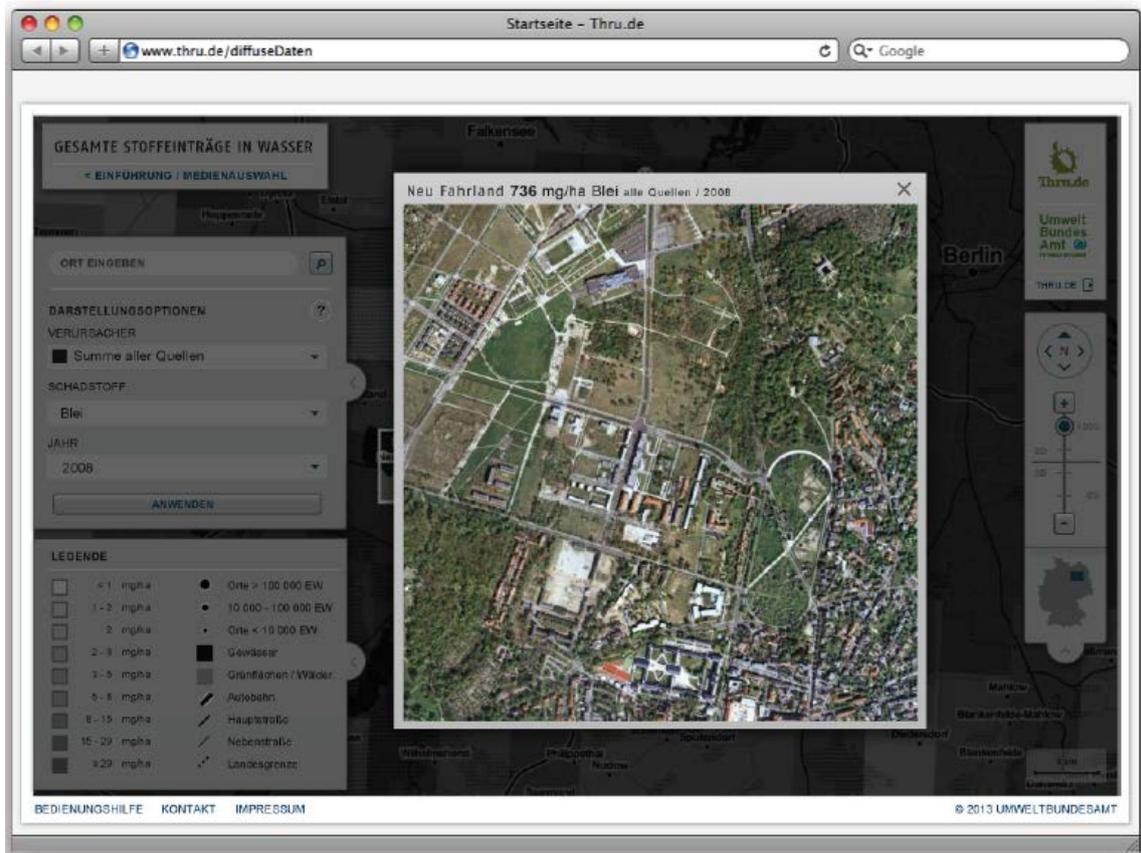


Abbildung 27: Einbindung von Satellitenbildern in den Styleguide

### 8.1.3.2 Farbkonzept

Im Rahmen des Visualisierungskonzept soll auf die übliche Rot-Grün-Abstufung verzichtet werden, da dies eine implizite Bewertung (rot – schlecht; grün – gut) beinhaltet. Um dies zu vermeiden wird im Visualisierungskonzept die Emissionsmenge durch die Farbintensität dargestellt, wobei für die verschiedenen Emittenten unterschiedliche Farbtöne ausgewählt werden (s. Abbildung 28).

Sind für einen Schadstoffe mehrere Verursacher verfügbar, so werden nach Auswahl der Verursacher über die Darstellungsoptionen die Zellen in der Farbe des Verursachers eingefärbt. Je intensiver die Färbung, desto größer die Schadstoffbelastung. Die Intensität der Farbe unterteilt sich in neun Stufen. Der aussagekräftige Emissionswert in Ziffernform wird nach Anklicken einer Gitterzelle zugänglich.

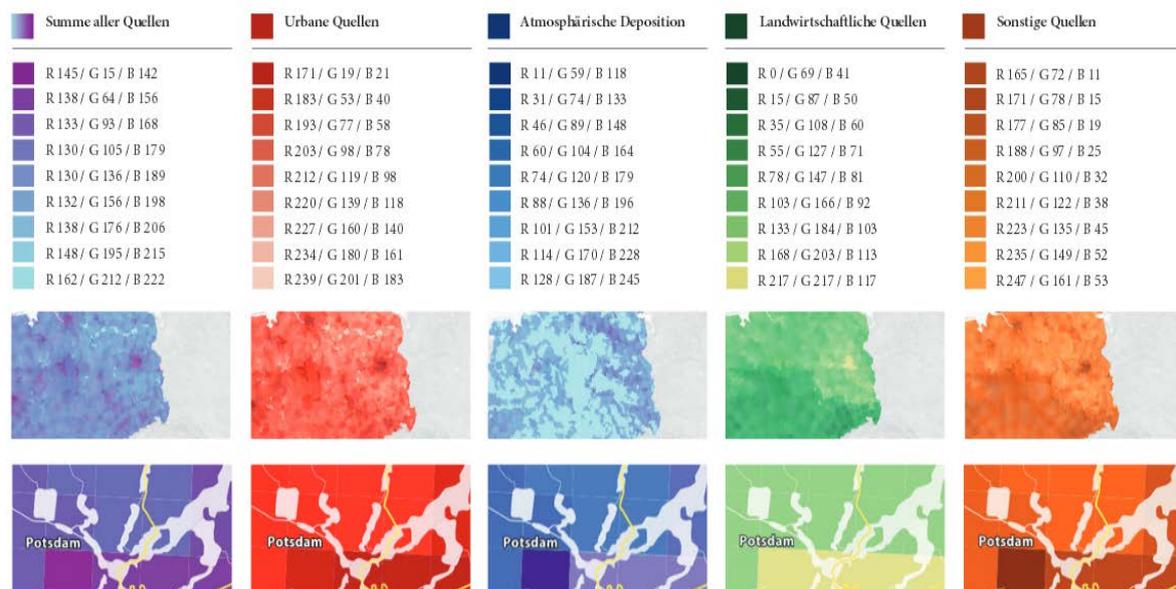


Abbildung 28: Farbkonzept der Karten

## 8.2 Usability Test

Der im Rahmen des Projektes entwickelte Prototyp zur Visualisierung wurde Nutzertests unterworfen. Hierfür wurde die Nutzbarkeit des angedachten Konzeptes für Experten und Laien, sowie die Nutzbarkeit der Klickprototypen für Experten und Laien untersucht. Die Ergebnisse der Nutzertests wurden zur Weiterentwicklung des ursprünglichen Prototyps genutzt. In Kapitel 8.1 wurde die aktuelle Version des Prototyps beschrieben. Die im Folgenden dargestellten Ergebnisse beziehen sich auf den ursprünglichen Prototyp (s.a. Anhang 8).

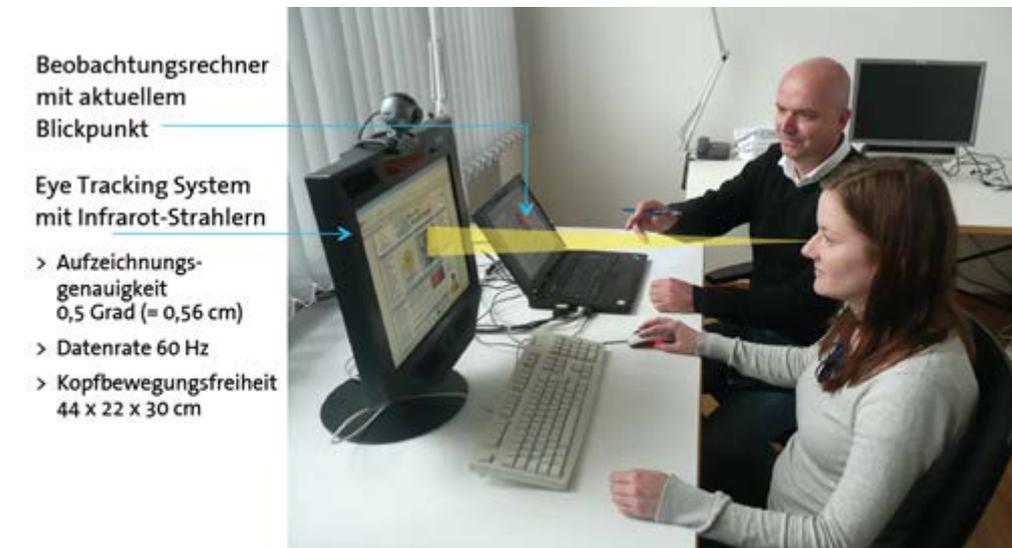
### 8.2.1 Vorgehensweise

Die Evaluation folgt dem vom Fraunhofer IAO entwickelten Verfahren WebSCORE zur Bewertung von Web-Applikationen. Dieser multidimensionale Ansatz integriert die „klassische“ Usability in ein umfassendes Bewertungsschema, das den spezifischen Anforderungen des Web Rechnung trägt. Die Evaluation umfasst einen Usability Walkthrough (Begutachtung durch Simulation von charakteristischen Bedienungsabläufen) und ein Screening (Begutachtung aufgrund allgemeiner softwareergonomischer und web-spezifischer Gestaltungskriterien).

Die Nutzertests wurden mit Hilfe von spezifischen Fragestellungen durchgeführt anhand derer erkannt werden konnte, ob die für die Beantwortung der Fragestellung notwendigen Inhalte gefunden und verstanden wurden. Dies wurde unterstützt mit Hilfe einer Blickbewegungsregistrierung (Eye Tracking; s. Abbildung 29). Dieses Eye Tracking beruht auf folgenden grundlegenden Annahmen:

- Blickbewegungen und kognitive Prozesse hängen zusammen;
- Visuelle Reize als Input – Blickverhalten als Output;
- Die Aufeinanderfolge von Augenbewegungen ist kein willkürlicher Prozess;
- Auswahl der Fixationsorte steht in direktem Zusammenhang mit Aufmerksamkeitsverteilung;

- An jedem Fixationsort werden Reize aus der Gesichtsfeldperipherie vorverarbeitet, die gezielte sakkadische Sprünge zu Objekten ermöglichen, die den höchsten Informationsgehalt haben und als bedeutend eingestuft werden.



**Abbildung 29: Blickbewegungsregistrierung (Eye Tracking)**

Hinsichtlich der Auswahl der Probanden waren acht Probanden ausreichend, da bei dem Nutzertest nicht statistische Häufigkeiten untersucht wurden, sondern vielmehr das Auftreten von Fehlern oder Mängel getestet wurden. Für die Mehrzahl der Probanden waren folgende Informationen wichtig:

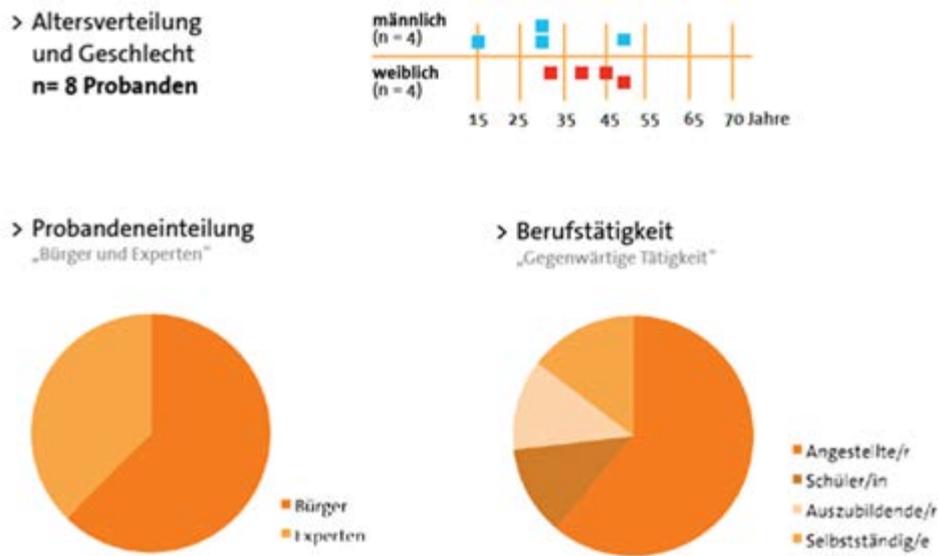
#### Bürger

- Neuigkeiten zu den Themen und Nachrichten;
- Grundlegende Informationen über Zertifikate (Blauer Engel) hinaus;
- Als Informationsquelle, um sich vorab zu informieren (Urlaub, Hauskauf);
- Was machen die Betriebe (Filtern, Entsorgen) für die Umwelt?
- Wo werden Schadstoffe ausgestoßen?
- Welche Region betrifft es?
- Welche Emissionen sind in Luft, Wasser und Boden vorhanden?

#### Experten

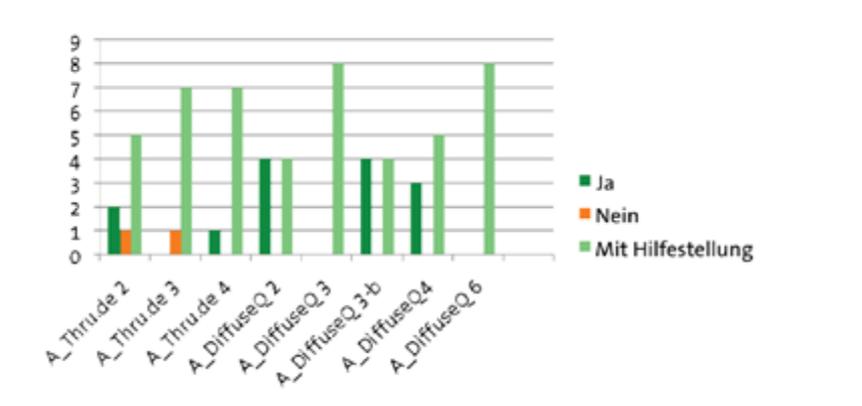
- Nutzung für Arbeit und persönlich;
- Energieverbrauch, Flächenverbrauch, Emissionen, LCA (Life-Cycle-Assessment);
- Referenz-Grenzwert-Vergleich;
- Regelmäßigkeit der verfügbaren Informationen (täglich, wöchentlich);
- Informationen der Industrie, wie Emissionen minimiert werden;
- Ganzheitliche Bewertung eines Betriebes hinsichtlich Energieverbrauch, Produktion und Emission;
- Wie erfolgt die Datenauswertung?
- Gibt es downloadbare Berichte?

Die soziodemographischen Daten der Probandenstruktur wird in Abbildung 30 dargestellt.



**Abbildung 30: Probandenstruktur: Soziodemografische Daten**

Die Aufgabenlösungsrate (Leistung) (s. Abbildung 31) zeigt, dass die Mehrzahl der Probanden Hilfeleistung benötigte.



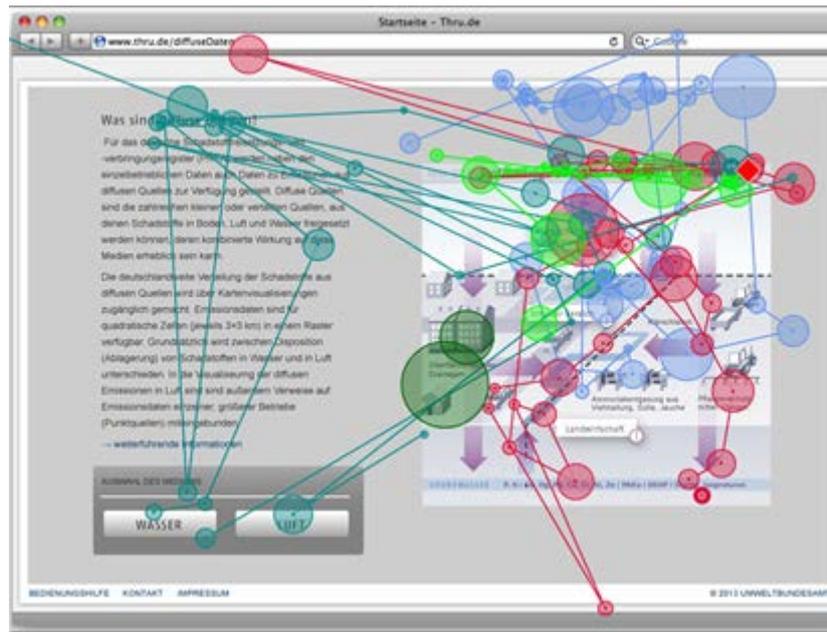
**Abbildung 31: Aufgabenlösungsrate (Leistung) der Nutzertests**

## 8.2.2 Experten- und Bürgerevaluation zum Klickprototyp „Diffuse Quellen“

Insgesamt wurde der Klickprototyp von beiden Nutzergruppen als hilfreich und nützlich bezeichnet, die Reduzierung der Textmenge und Fokussierung auf Kartendarstellungen, sowie die Einfachheit in der Bedienung der Karte (bekannte Bedienstruktur), die Kombination aus diffusen Quellen und Punktquellen und die Verfügbarkeit verschiedene Zoomstufen für veränderte Kartenansichten wurde als positiv empfunden (s.a. Anhang 8).

### 8.2.2.1 Startseite

Die Startseite überzeugte durch visuell prägnante Elemente (Bild vor Text – individualisiert), dabei wurde die Visualisierung im rechten Bereich als zu komplex und nicht direkt verständlich eingeordnet. Visualisierungselemente wurden als klickbar wahrgenommen. Hingewiesen wurde auf den fehlenden Kontrast des Textes und der Kontextlink zu Unterseite wurde übersehen (s. Abbildung 32).



**Abbildung 32: Scanfad für Startseite (15 Sekunden)**

### 8.2.2.2 Weiterführende Informationen

Die Inhalte der Unterseiten (Diagramme, Texte) wurden auf der Startseite erwartet. Es war ein besseres Gestaltungsraster als auf der Startseite vorhanden. Der visuelle Kontrast der Textpassagen sollte erhöht werden, um Augenermüdung zu vermeiden. Zusätzlich waren keine kontextsensitiven Erläuterungen zu den Visualisierungen vorhanden.

### 8.2.2.3 Begriffe und Visualisierung

Die generellen themenspezifischen Begrifflichkeiten wurden als zu fachspezifisch wahrgenommen (z.B. Atmosphärische Deposition, ...) und die Farbigkeit der Visualisierungen wurde teilweise falsch belegt (Blau = Wasser). Geobasisdaten (z.B. Seen) waren dabei zu dominant. Damit waren die Karteninhalte nicht unterscheidbar.

### 8.2.2.4 Dekodierbarkeit 2D-Karten

Kartendarstellungen wurden insgesamt als zu grau wahrgenommen, d.h. es wurde der Wunsch geäußert, dass mehr Farbe und höhere Kontraste verwendet würden. Innerhalb der Legende wurden zu viele Klassen angegeben und es wurde die Anregung gegeben, dass die eigentlichen Karteninformationen reduziert werden sollten, um die Lesbarkeit zu erhöhen.

### 8.2.2.5 Dekodierbarkeit 3D-Karten

Kartendarstellungen wurden insgesamt als zu grau wahrgenommen, d.h. es wurde der Wunsch geäußert, dass mehr Farbe und höhere Kontraste verwendet werden. Innerhalb der Legende wurden zu viele Klassen angegeben, weiterhin wurde angeregt, dass die Städtenamen verdeutlicht werden. Die Datenpeaks waren nicht ablesbar, d.h. die Lesbarkeit sollte erhöht werden und eine eindeutige Ablesebasis müsste geschaffen werden. Die 3D-Darstellung der Emissionshöhen wurde grundsätzlich als Geländevisualisierung gedeutet, im Sinne einer Gebirgsdarstellung.

### **8.2.2.6 Diagrammdarstellung**

Hinsichtlich der Diagramme bestand eine hohe Fixation mit kurzen Sakkaden, der Aufbau und die Bedienbarkeit waren jedoch verständlich, während die Anwahl für Satellitenbildansicht unklar war. Die Farbzuoordnung, Diagrammerläuterung sowie Legende und Maßeinheiten fehlten. Der inhaltliche Hintergrund und Gründe für hohe Emissionen blieben bei machen Diagrammen unklar.

### **8.2.2.7 Informationsarchitektur**

Die Anordnung der Satellitenbildansicht war für den Nutzer unklar, unter den Einstellungsoptionen wurde eine Karte erwartet. Dabei ist für die Nutzer die Nützlichkeit einer Fotoansicht ohne Schichtanzeige, d.h. mit Emissionsquelle(n) fragwürdig. Bei den Diagrammen fehlte eine Erläuterung der Farbzuoordnung und Diagrammerläuterung (Werte, Maßeinheiten); zusätzlich wurden mehrwertige Interaktionen erwartet (Umschalten der Ansichten wie bspw. bei Google möglich).

### **8.2.2.8 Bedienelemente und Karteninteraktion**

Die Bedienbarkeit wurde generell als schlüssig empfunden, die Bedienabfolge für Ortssuche war jedoch teilweise nicht intuitiv, d.h. der Suchbutton wurde übersehen. Die Einführung/ Medienauswahl wurde nicht als Zurück-Funktionalität erkannt und das Hilfesymbol war zu wenig sichtbar. Die Zoomstufen als prozentuale Maßeinheiten waren nur bedingt nutzbar und der Wechsel zwischen 2D/ 3D inkl. Kartenausschnitt war für die Nutzer schwierig.

### **8.2.2.9 Begriffe**

Da die Fachbegriffe für die Nutzer als schwer verständlich empfunden wurden, wurde nach alternativen Begriffen gefragt, die den Inhalt richtig beschreiben, aber leichter verständlich sind. Als alternative Begriffe für „Emission aus diffusen Quellen in Luft“ wurden genannt:

- Private Emissionen;
- Schadstoffausstoß aus alltäglichen Quellen;
- Verursacher;
- Versteckte Luftverschmutzer;
- Luftbelastung;
- Luftemissionen aus diffusen Quellen;
- Luftemissionen aus unspezifischen Quellen.

Als alternative Begriffe für „Gesamte Stoffeinträge in Wasser“ wurden genannt:

- Gesamt;
- Grundbelastung des Wassers;
- Wasserbelastung;
- Wasseremissionen – Gesamtwerte.

Insgesamt wurden die in der folgenden Abbildung 33 dargestellten Gesamtbewertungen abgegeben.

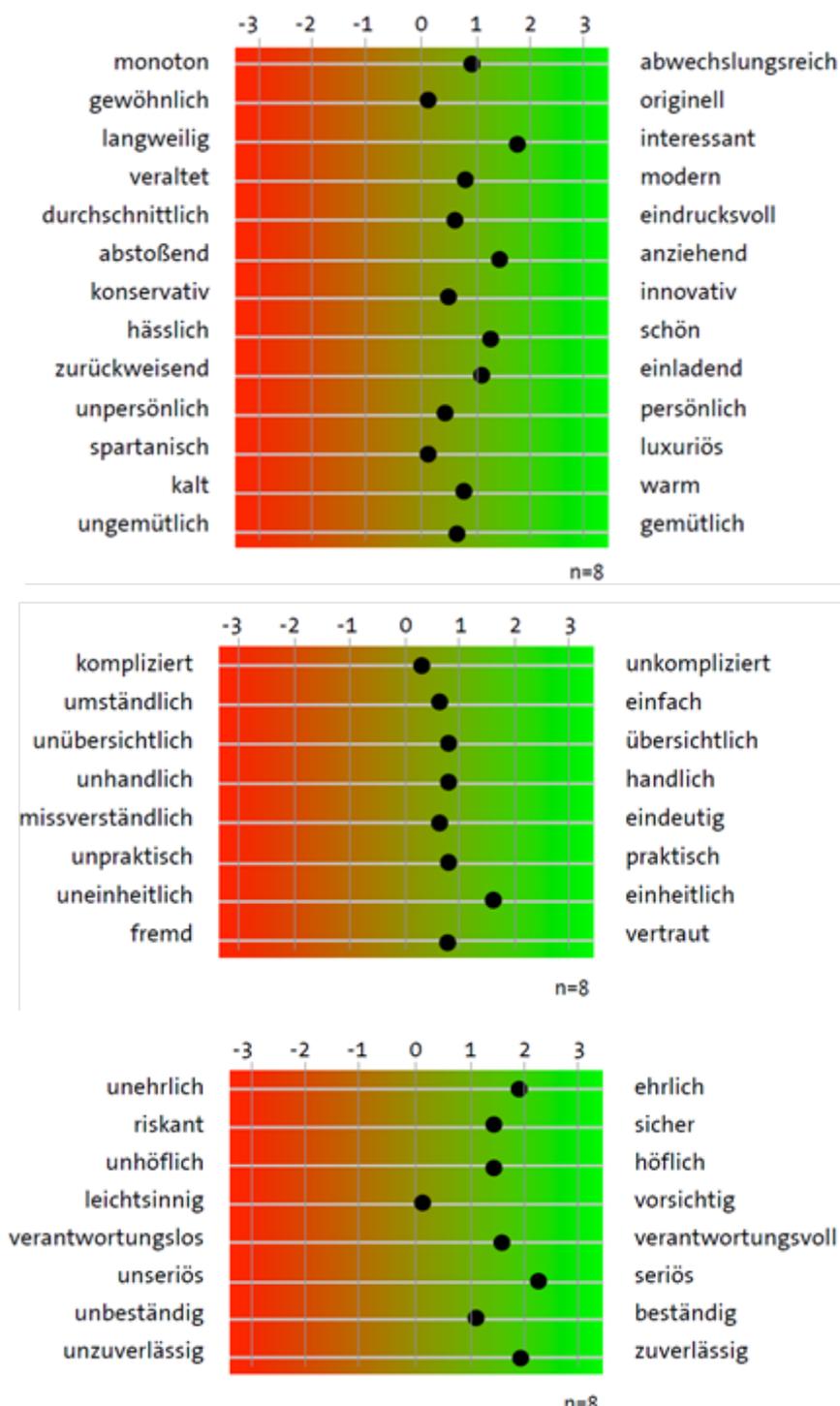


Abbildung 33: Gesamtbeurteilung der Nutzer des Klickprototypen zu diffuse Quellen

### 8.3 Nutzerkommunikation

#### 8.3.1 Nutzerkommunikation zu wichtigen Begrifflichkeiten: Begriff „diffuse Quellen“

Der Begriff diffuse Quellen ist für den Nutzer schwierig zu verstehen und wird in anderen Kontexten anders verwendet. Im Projekt wird der im PRTR-Protokoll genutzten Definition des Begriffs gefolgt. Die Nutzerevaluierung zeigt aber auch, dass kein anderer Begriff existiert, der den entsprechenden Sachverhalt adäquat beschreibt (die Alternativen werden in Kapitel 8.2.2.9 genannt). Daher muss der

Begriff für den Nutzer entsprechend erläutert werden. Dies wurde im Rahmen des Projektes bzw. des Styleguide so umgesetzt, dass an zentraler Stelle Abbildungen eingefügt werden, die den Begriff erläutern.

### **8.3.2 Nutzerkommunikation zu gewählten Systemgrenzen der dargestellten Emissionen**

#### **8.3.2.1 Unterschied „Emissionen aus diffusen Quellen“ zu „Emissionen aus Punktquellen“**

Es besteht die Möglichkeit, dass Nutzer an der Gesamtbelastung einer Region interessiert sind. Um dem zu begegnen, müssten Emissionen aus den diffusen Quellen mit den Emissionen aus den Punktquellen gemeinsam erfasst werden. In einzelnen Bereichen wird diese Vorgehensweise gewählt und die Gesamtemissionen in Luft dargestellt. In der Landwirtschaft umfassen die Daten auch die Emissionen aus den Punktquellen (s. Kapitel 5.2.2).

Hinsichtlich der Kommunikation für den Nutzer ist im Rahmen des Nutzerkonzepts vorgesehen, dass bei der Darstellung der diffusen Quellen auf die Belastung durch Punktquellen verwiesen wird (durch Setzung eines Links, ohne dass die Werte summiert werden).

#### **8.3.2.2 Emissionen in Luft und Stoffeinträge in Gewässer**

Bei den Stoffemissionen in Gewässer wird im Unterschied zu den Emissionen in Luft der Ansatz der Einträge, d.h. der Immissionen in Gewässer verfolgt. Der Unterschied zwischen diesen beiden Ansätzen soll in der Konzeption des Styleguide berücksichtigt und für den Nutzer an zentraler Stelle erläutert werden. Die Zuordnung der einzelnen Emittenten bei den Stoffeinträgen in Gewässer zu den vier Eintragsbereichen Atmosphäre Deposition, Landwirtschaft, Urbaner Bereich und Sonstiges wird ebenfalls in dieser Abbildung dargestellt (s. Abbildung 19). Eine vergleichbare Abbildung wurde für die Emissionen in Luft erstellt (s. Abbildung 1).

Da viele Luftemissionen letztendlich in Wasser eingetragen werden, muss ein Hinweis erfolgen, dass hierbei eine gewisse Dopplung vorhanden ist und die Emissionen in die Luft und Stoffeinträge in Gewässer nicht aufaddiert werden können.

#### **8.3.2.3 Kriterien bei der Auswahl von Schadstoffen**

Den Nutzern gegenüber muss deutlich gemacht werden, dass entsprechend dem SchadRegProtAG grundsätzlich alle in dem PRTR-Protokoll genannten Schadstoffe erfasst werden, die als relevant angesehen werden und für die belastbare Daten vorliegen. Eine Rangliste nach Relevanz der einzelnen Stoffe erfolgt nicht. Für die jeweiligen Emittenten sind unterschiedliche Stoffe von Bedeutung. Eine Vereinheitlichung über die Sektoren wurde bewusst nicht vorgenommen.

Bei Schadstoffen, die nicht explizit regionalisiert dargestellt werden, wird im Bereich Verkehr eine Aussage zur Bedeutung dieser Schadstoffe gemacht. Dies könnte auch für die Schadstoffe in den Bereichen Landwirtschaft und Haushalten erfolgen.

Sofern die Schadstoffe, die regionalisiert dargestellt werden, sich von denen unterscheiden, die nach dem PRTR-Protokoll vorgesehen sind, wird dies bei der Darstellung kenntlich gemacht und erläutert werden (s. PAKs, s. Tabelle 2).

#### **8.3.2.4 Unterschied zwischen Daten aus den Emissionsinventaren und PRTR**

Die im Rahmen der nationalen Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll ermittelten gesamtdeutschen Emissionswerte können von den

aggregierten Werten, die mit Hilfe des PRTR für Punktquellen und diffuse Quellen erhoben wurden, abweichen. Ein wesentlicher Grund liegt in den unterschiedlichen Systemgrenzen. Während für Verkehrsemissionen der Inventarbericht das Energiebilanzprinzip zu Grunde legt, wird im Rahmen des vorliegenden Projektes das Inlandsprinzip gewählt (s. Kapitel 5.1.2). Weiterhin ist zu berücksichtigen, dass bei Emissionen von Punktquellen im PRTR Schwellenwerte zu beachten sind.

Die Unterschiede werden dem Nutzer deutlich gemacht. Die mit den unterschiedlichen Vorgehensweisen verbundenen unterschiedlichen „Systemgrenzen“ müssen für den Nutzer dargestellt werden, um potenzielle Unterschiede zwischen ZSE bzw. der nationalen Emissionsberichterstattung und den diffusen Quellen im PRTR zu erläutern.

Im Rahmen des europäischen PRTR (<http://prtr.ec.europa.eu/>) werden ebenfalls Emissionswerte aus diffusen Quellen für Deutschland dargestellt. Die genutzten Eingangsdaten und Modelle unterscheiden sich zwischen dem europäischen und dem deutschen PRTR. Ein wesentliches Kriterium bei der Auswahl der Schadstoffe auf der EU-Ebene war das Vorliegen eines europaweit vollständigen Datensatzes und europaweit einheitlicher Verteilparameter. Bei der Ermittlung der Emissionswerte für das deutsche PRTR wurde das Ziel verfolgt, die Emissionsituation in Deutschland möglichst detailliert darzustellen. Dies führte u.a. dazu, dass für das Projekt keine einheitliche Liste an Schadstoffen für alle Bereiche entwickelt wurde. Hierdurch können Unterschiede in den ausgewiesenen Schadstoffen entstehen. Dies muss ebenfalls gegenüber dem Nutzer kommuniziert werden.

### **8.3.3 Nutzerkommunikation zur Einordnung der Höhe der dargestellten Emissionsmengen, Interpretationshilfen**

Dem Nutzer sollten Interpretationshilfen angeboten werden, damit dieser die Höhe der Emissionen einordnen kann. Hierfür bestehen verschiedene Möglichkeiten der Einordnung:

- Veränderung über die Zeit;
- Vergleich zu Gesamtemissionen:
  - Gesamtemissionen über alle diffusen Quellen;
  - Gesamtemissionen durch Punktquellen;
  - deutschlandweite Gesamtemissionen;
- Vergleich mit Durchschnittswerten.

Im Rahmen des Projektes wurde entschieden, als Vergleichswerte deutschlandweite Gesamtemissionen heranzuziehen, da diese am aussagekräftigsten sind und auch für alle angegebenen Emissionen ein Vergleichswert zur Verfügung steht.

Für die Stoffeinträge in Gewässer erfolgt die Ermittlung durch Modellierung der Gesamtemission im Modell. Für die Emissionen in Luft muss deutlich gemacht werden, dass die Gesamtemission für Deutschland größer ist als die Summe der dargestellten Emissionen aus Verkehr, Landwirtschaft und Haushalten, da die im PRTR berichteten Punktquellen ebenfalls zu den Gesamtemissionen in Deutschland beitragen.

### **8.3.4 Infoboxen**

Für die Nutzer sollen im Rahmen der Umsetzung in Thru.de Infoboxen erstellt werden, die dem Nutzer helfen die Vorgehensweise und die dargestellten Informationen zu verstehen.

Im Folgenden werden die Themen für Infoboxen aufgelistet und auf die entsprechenden Kapitel in diesem Bericht verwiesen in denen die Informationen dazu enthalten sind.

*Startseite*

- Was sind diffuse Quellen? (Kapitel 2.2)
- Direkte Emissionen vs. Schadstoffeinträge ((Kapitel 2.3)
- Warum eine Weiche? (Kapitel 2.3 und Kapitel 8.1.1)

*Weitergehende Informationen*

- Datengenerierung (Kapitel 5 und 6)
- Regionalisierung (Kapitel 4 und 6)
- Aktualisierung (Kapitel 3.1.6)
- CO<sub>2</sub>-Äquivalente
- Emissionsberichterstattung vs. PRTR (Kapitel 8.3.2.4)
- Validierung (Kapitel 3.1.5 und 7)
- Aktualität der Daten im Vergleich zu anderen Datenquellen (Anhang 1)

*Emissionen in die Luft – Verkehr*

- Systemgrenzen (Kapitel 5.1.2)
- Auswahl der Schadstoffe (Kapitel 5.1.1)
- Regionalisierung (Kapitel 5.1.3)
- TREMOD (Kapitel 5.1.2)
- Aktualisierung (Kapitel 5.1.4)

*Emissionen in die Luft – Landwirtschaft*

- Systemgrenze (Kapitel 5.2.2)
- Auswahl der Schadstoffe (Kapitel 5.2.1)
- Regionalisierung (Kapitel 5.2.3)
- Aktualisierung (Kapitel 5.2.4)

*Emissionen in die Luft – Haushalte*

- Systemgrenze (Kapitel 5.3.2)
- Auswahl der Schadstoffe (Kapitel 5.3.1)
- Regionalisierung (Kapitel 5.3.3)
- Aktualisierung (Kapitel 5.3.4)

*Emissionen in Gewässer*

- Systemgrenze (Kapitel 6.2)
- Auswahl der Schadstoffe (Kapitel 6.1)
- Eintragspfade (Kapitel 6.2)
- Regionalisierung (Kapitel 6.3)
- Aktualisierung (Kapitel 6.5)

## 9 Abschließende Bemerkungen

### 9.1 Verwertung der generierten Informationen und Daten

Die im Rahmen des Projektes ermittelten regionalisierten Emissionswerte für die Bereiche Verkehr, Haushalte und Landwirtschaft, sowie die Stoffeinträge in Gewässer werden im PRTR-Portal des Umweltbundesamt Thru.de unter Nutzung des im Projekt entwickelten Visualisierungskonzeptes veröffentlicht.

Zusätzlich werden ebenfalls alle relevanten Informationen, die für die Darstellung der regionalisierten Emissionen und Schadstoffeinträge sowie für deren Interpretation durch den Nutzer notwendig sind, öffentlich zur Verfügung gestellt. Weiterhin werden ergänzende Informationen zum Vorgehen, wie sie in diesem Bericht zu finden sind, über die Umweltplattform Thru.de verfügbar sein.

Grundsätzlich besteht insbesondere bei Experten der Bedarf, dass alle Daten runtergeladen werden können. Das Umweltbundesamt verfolgt bei Internetauftritten die Idee der „reduzierten Komplexität“. Im Nachgang zu dem Projekt entscheidet das Umweltbundesamt, ob die Daten standardmäßig heruntergeladen werden können oder ob diese auf Anfrage vom Umweltbundesamt zur Verfügung gestellt werden.

### 9.2 Technische Umsetzung der Aktualisierung der regionalisierten Emissionsdaten

Im Projekt wurden für ein Referenzjahr, d.h. für 2008, regionalisierte Emissionswerte ermittelt. Basierend auf diesen Werten sollen diese zukünftig jährlich aktualisiert werden. Entsprechend des in diesem Bericht vorgestellten Konzepts soll die Aktualisierung über die jährliche Anpassung von nationalen oder landkreisbezogenen Emissionswerten oder Aktivitätsraten durchgeführt werden; Verteilparameter und Emissionsfaktoren sollen nur in größeren Zeitabständen aktualisiert werden.

Um eine möglichst einfache und fehlerfreie Umsetzung des o.g. Ansatzes zur Aktualisierung von regionalisierten Emissionsdaten zu erreichen, bedarf es einer informationstechnischen Unterstützung beim Datentransfer in Form von Schnittstellen zwischen den zu verwendenden Eingangsdaten und dem Instrument zur Berechnung der regionalisierten Emissionsdaten. Da die Datengrundlagen für die einzelnen Emissionsquellgruppen unterschiedlich ausfallen, muss für jede Quellgruppe deren Besonderheiten berücksichtigt werden.

Für den Bereich des Verkehrs werden die Eingangsdaten für die Regionalisierung durch TREMOD zur Verfügung gestellt. Das Modell sowie die für die Aktualisierung relevanten Datensätze liegen beim Umweltbundesamt vor, so dass eine Schnittstelle zwischen TREMOD und dem fortschreibbaren Ansatz zur Regionalisierung geschaffen werden muss. Als Anhaltspunkt hierzu könnte die Schnittstelle zwischen TREMOD und ZSE dienen. Die jährlichen Daten zur nationalen Emissionsberichterstattung für die Quellgruppe Straßenverkehr aus TREMOD werden über eine spezifische Datenschnittstelle an die Strukturen und Definitionen der Emissionsdatenbank des Umweltbundesamt, d.h. dem ZSE, angepasst und exportiert. Die Schnittstelle erlaubt damit eine direkte Übernahme der TREMOD-Ergebnisse in ZSE (ifeu 2003).

Partikelabriebemissionen werden in TREMOD bisher nicht berechnet, würden also auch bei Programmierung einer PRTR-Exportschnittstelle in TREMOD weiterhin eine gesonderte Berechnung erfordern. Allerdings kann die Berechnung von Abriebemissionen des Straßen- und Schienenverkehrs prinzipiell auch in TREMOD implementiert werden, so dass dann anschließend über die Export-

schnittstelle auch Abriebemissionen direkt in der erforderlichen Differenzierung bereitgestellt werden könnten.

Die landkreisbezogenen Emissionsdaten für die Landwirtschaft wurden im Rahmen des Projektes vom Thünen-Institut für Agrarklimaschutz zur Verfügung gestellt. Das Thünen-Institut für Agrarklimaschutz erklärte sich ebenfalls bereit, seine ermittelten Emissionsdaten auch weiterhin dem Umweltbundesamt weiterzuleiten. Auch hier wird empfohlen eine Schnittstelle zwischen den Eingangsdaten und dem Ansatz zur Regionalisierung zu definieren. Die Abstimmung erfolgt direkt zwischen dem Thünen-Institut für Agrarklimaschutz und dem Umweltbundesamt.

Relevante Eingangsdaten zur Ermittlung der regionalisierten Emissionsdaten für die privaten Haushalte sind die Energiebilanzen der AG Energiebilanzen. Diese werden jährlich in einem gängigen Tabellenkalkulationsprogramm veröffentlicht und sind kostenfrei herunterladbar. Aufgrund der Datenmenge die übertragen werden müssen – in Summe acht Datenpunkte –, erscheint die Entwicklung einer Schnittstelle nicht zwingend notwendig, aber prinzipiell machbar.

Für Stoffeinträge in Gewässer wurden unterschiedliche Parameter zur Aktualisierung identifiziert – die Gewässeroberfläche, die landwirtschaftliche Nutzfläche bzw. die Einwohnerzahl. Diese Daten werden regelmäßig aktualisiert und stehen über Statistiken und öffentliche Datenbanken zur Verfügung.

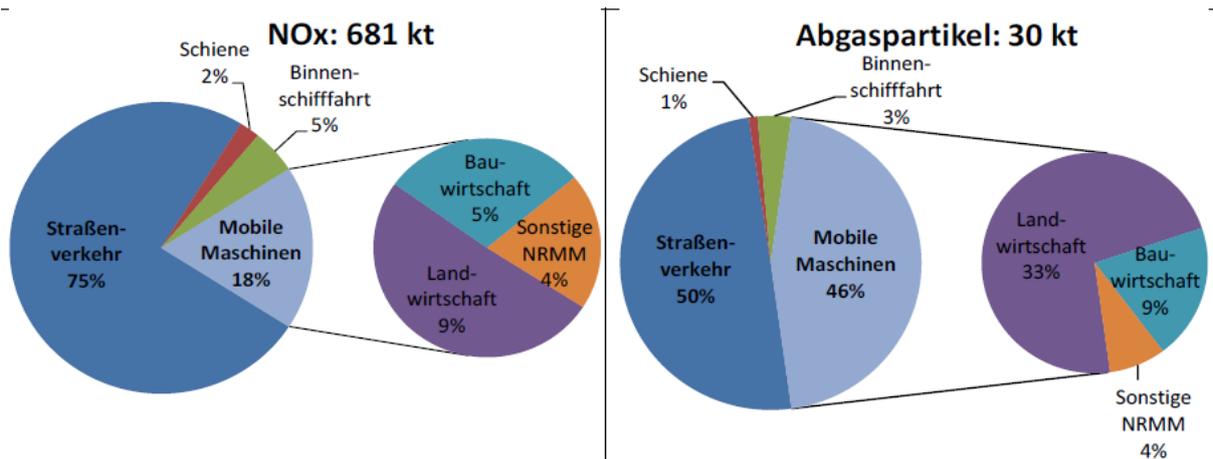
Eine detaillierte Darstellung der Vorgehensweise findet sich im Anhang 1.

## **9.3 Potenzielle Erweiterungen hinsichtlich der erfassten Emittenten**

### **9.3.1 Verkehr: Berücksichtigung von mobilen Arbeitsmaschinen und weiterer Flughäfen**

Zukünftig könnten als zusätzliche diffuse Quellen auch mobile Arbeitsmaschinen (Land- und Forstwirtschaft, Bauwirtschaft, Haushalte) beim PRTR im Verkehrssektor berücksichtigt werden. Diese wurden bisher im Rahmen dieses Projektes nicht näher untersucht. Dabei können nationale Emissionsdatensätze für mobile Maschinen über das im UBA-Auftrag entwickelte Modell TREMOD MM (ifeu 2003, ifeu 2009) bereitgestellt werden. Die räumlich aufgelöste Darstellung müsste dabei noch vertiefend untersucht werden, da dies bisher nur näherungsweise auf Basis stark vereinfachter Annahmen erfolgen konnte.

Mobile Maschinen verursachen im Vergleich zum Straßenverkehr annähernd die gleiche Menge Abgaspartikelemissionen und ein Viertel der Stickoxidemissionen. Aktuelle Emissionsberechnungen zeigen, dass mobile Arbeitsmaschinen („Off-Road-Sektor“) im Bausektor sowie in der Land- und Forstwirtschaft deutschlandweit insgesamt etwa ein Viertel so hohe Stickoxidemissionen wie der Straßenverkehr verursachen, bei den Abgaspartikelemissionen liegen die Emissionen mobiler Maschinen beinahe genauso hoch (s. Abbildung 34). In 2010 entsprach dies deutschlandweit einer Menge von 123,6kt Stickoxide und 13,5kt abgasbedingtem Feinstaub (inklusive PM<sub>10</sub>). Demgegenüber liegt der Energieverbrauch mobiler Maschinen bei weniger als 10 % des Straßenverkehrs. Dieser überproportional hohe Emissionsbeitrag wird vorwiegend von Dieselmotoren in der Land- und Bauwirtschaft verursacht, die bisher nicht in gleichem Maße mit Abgasminderungstechnik ausgestattet sind wie Straßenfahrzeuge. Auch bei anderen Schadstoffen, die im Verkehr relevant sind (z.B. NMVOC aus Ottomotoren), entstehen im Off-Road-Sektor ebenfalls relevante Emissionsmengen.



**Abbildung 34: Vergleich der deutschlandweiten NOx- und Abgaspartikelemissionen des Verkehrs und mobiler Maschinen (NRMM) für das Jahr 2010**

Die regionale Verteilung und Höhe der Emissionsbeiträge aus mobilen Maschinen können von den Emissionsverteilungen im Verkehr deutlich abweichen. Durch die speziellen Einsatzgebiete mobiler Maschinen (land- und forstwirtschaftliche Maschinen v.a. im ländlichen Raum, Baumaschinen oft in städtischen Gebieten), können diese unterschiedliche Relevanz für lokale und regionale Umweltwirkungen der Schadstoffe haben. Zum Beispiel kann der lokale Immissionsbeitrag von NO<sub>2</sub> oder PM<sub>10</sub> durch Baumaschinen in Städten stark erhöht werden.

Weiterhin besteht die Möglichkeit im Bereich Verkehr die Emissionen aller 73 Flughäfen zukünftig regionalisiert abzubilden, da die Daten hierzu verfügbar sind und potenziell aufbereitet werden könnten.

### 9.3.2 Landwirtschaft: Erweiterte Berücksichtigung von Pflanzenschutzmitteln

Im Rahmen von aktuellen Forschungsprojekten wird der Eintrag von Pflanzenschutzmitteln in die Umwelt flächendeckend abgeschätzt und quantifiziert. Im Rahmen einer Erweiterung des PRTR zu diffusen Quellen wäre eine Prüfung und ggf. Nutzung dieser Ansätze und Daten sinnvoll.

### 9.3.3 Haushalte: Berücksichtigung von Phthalaten

Im Rahmen von Forschungsprojekten und unterstützt durch Förderprogramme des Bundes werden Daten zur Belastung von Innenräumen mit Phthalaten erhoben. Im Rahmen einer Erweiterung des PRTR zu diffusen Quellen wäre eine Prüfung und ggf. Nutzung dieser Ansätze und Daten sinnvoll.

## Gesetzliche Grundlagen

1. BImSchV: Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV). Online verfügbar: [http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschv\\_1\\_2010/gesamt.pdf](http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/bimschv_1_2010/gesamt.pdf).
- PRTR-Protokoll: Protokoll über Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister vom 21.05.2003. Online verfügbar: [http://www.thru.de/fileadmin/SITE\\_MASTER/content/Dokumente/Downloads/PRTR-Protokoll\\_de.pdf](http://www.thru.de/fileadmin/SITE_MASTER/content/Dokumente/Downloads/PRTR-Protokoll_de.pdf).
- PRTR-VO: Verordnung (EG) Nr. 166/2006 des europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Januar 2006 über die Schaffung eines Europäischen Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregisters und zur Änderung der Richtlinien 91/689/EWG und 96/61/EG des Rates. Online verfügbar: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2006:033:0001:0017:DE:PDF>.
- Richtlinie 2001/81/EG: Richtlinie 2001/81/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmenge für bestimmte Luftschadstoffe (NEC-Richtlinie). Online verfügbar: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32001L0081:DE:HTML>.
- SchadRegProtAG: Gesetz zur Ausführung des Protokolls über Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister vom 21. Mai 2003 sowie zur Durchführung der Verordnung (EG) Nr. 166/2006. Online verfügbar: <http://www.gesetze-im-internet.de/bundesrecht/schadregprotag/gesamt.pdf>.
- UN/ECE CLRTAP: Convention on Long-range Transboundary Air Pollution vom 13.11.1979. Online verfügbar: <http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/full%20text/1979.CLRTAP.e.pdf>.

## Literatur

- 3N – 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen – Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e.V. (2010): Feuerstättenzählung Niedersachsen 2010 für holzbefeuerte Anlagen bis 1 MW. Werlte: 3N Kompetenzzentrum Niedersachsen – Netzwerk Nachwachsende Rohstoffe e.V.
- Ad hoc AG Prioritäre Stoffe (2011): Datensätze der Bundesländer zu Konzentrationen von Kläranlagenläufen aus der amtlichen Überwachung sowie aus Sondermessprogrammen.
- AGEB – Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e.V. (2012): Tabellen zur Energiebilanz für die Bundesrepublik Deutschland von 1990 bis 2010. Online verfügbar: [www.ag-energiebilanzen.de](http://www.ag-energiebilanzen.de). Stand: 19.07.2012.
- Bach, M. (2012): Ergebnis Berechnung Stickstoff-Flächenbilanz Deutschland, Regionalgliederung Kreise, Jahren 2003-2008. Gießen: Justus-von-Liebig Universität.
- BAW – Bundesanstalt für Wasserbau (2007): Persönliche Kommunikation.
- Behrendt, H.; Huber, P.; Kornmilch, M.; Opitz, D.; Schmoll, O.; Scholz, G.; Uebe, R. (1999): Nutrient Emissions into River Basins of Germany. Berlin: Umweltbundesamt (UBA Texte 23/00).

- Bielert, U. (1999): Hydrogeochemie von Spurenelementen in Sicker-, Grund- und Trinkwässern. Von der Sickerwasserpassage bis zur Aufbereitung. Dissertation. Göttingen: Georg-August-Universität Göttingen. Online verfügbar: <http://webdoc.sub.gwdg.de/diss/2000/bielert/>.
- Biomasseatlas (2012): Förderungen von Biomassekesseln durch das Marktanzreizprogramm (MAP) durch das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA). Online verfügbar: <http://www.biomasseatlas.de/>.
- Bodle, R. (2013): Diffuse Quellen – Datenquellen. Online verfügbar: [https://wiki.prtr.bund.de/images/a/a7/20130708\\_ecologic\\_diffuse\\_quellen\\_datenquellen\\_end\\_v er%C3%B6ffentlicht.pdf](https://wiki.prtr.bund.de/images/a/a7/20130708_ecologic_diffuse_quellen_datenquellen_end_v er%C3%B6ffentlicht.pdf).
- Bodle, R., Homann, G. (2013): PRTR Gesetz (SchadRegProtAG) – Kommentar. (Forschungsvorhaben UBA FKZ 363 01 304). Online verfügbar: [https://wiki.prtr.bund.de/images/6/69/PRTR\\_Kommen-tar\\_final.pdf](https://wiki.prtr.bund.de/images/6/69/PRTR_Kommen-tar_final.pdf).
- Brombach, H.; Fuchs, S. (2003): Datenpool gemessener Verschmutzungskonzentrationen in Misch- und Trennkana-lisationen. KA - Abwasser, Abfall 50 (4), S. 441–450.
- DEPV – Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e. V. (2005): Marktentwicklung von Holzpellets und Pelletheizungen. Berlin: Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V.
- DEPV – Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V. (2011): Pelletproduktion und Inlandsbedarf in Deutschland. Berlin: Deutscher Energieholz- und Pellet-Verband e.V.
- Duijnsveld, W.H.M.; Godbersen, L.; Dilling, J.; Gäbler, H.-E. (2008): Ermittlung flächenrepräsentativer Hintergrundkonzentrationen prioritärer Schadstoffe im Bodensickerwasser. Online verfügbar: [www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Produkte/Schriften/Downloads/2008\\_Hintergrundkonz\\_Sc hadstoffe\\_in\\_SIWA.pdf?\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.bgr.bund.de/DE/Themen/Boden/Produkte/Schriften/Downloads/2008_Hintergrundkonz_Sc hadstoffe_in_SIWA.pdf?_blob=publicationFile&v=3). Stand: 24.10.2012.
- EEA – European Environment Agency (2010): Corine Land Cover 2006 Raster Data – Version 13. Online verfügbar: [www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster). Stand: 01.12.2011.
- EEA – European Environment Agency (2011a): Corine Land Cover 2006 Raster Data. Online verfügbar: [www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-1](http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster-1). Stand: 23.03.2012.
- EEA – European Environment Agency (2011b): EMEP/EEA Air Pollutant Emission Inventory Guidebook – 2009. Online verfügbar: [www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009](http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-emission-inventory-guidebook-2009). Stand: 07.06.2011.
- e-Kommunalabwasser (2012): Datenbank KomAbwRL. Online verfügbar: [http://wiki.enda.eu/e\\_kommu/index.php/Hauptseite](http://wiki.enda.eu/e_kommu/index.php/Hauptseite). Stand: 20.02.2012.
- EMEP (2007): Joint EMEP/CORINAIR Atmospheric Emission Inventory Guidebook. 5. Aufl., Technical Report No. 16/2007.
- EMEP/MSC-E (2012): Bereitstellung von Modellergebnissen zur atmosphärischen Deposition von Cd, Hg und Pb. Online verfügbar: [www.msceast.org/](http://www.msceast.org/).
- EMEP/MSC-W (2012): Modelled Air Concentrations and Depositions. Online verfügbar: [http://webdab.emep.int/Unified\\_Model\\_Results/](http://webdab.emep.int/Unified_Model_Results/).

EMEP/NILU (2012): Measurement Data Online. Online verfügbar:

[www.nilu.no/projects/ccc/emepdata.html](http://www.nilu.no/projects/ccc/emepdata.html).

Europäische Kommission (2012): Common Implementation Strategy for the Water Framework Directive (2000/60/EC), Technical Report – 2012 – 058, Guidance Document No. 28, Technical Guidance on the Preparation of an Inventory of Emissions, Discharges and Losses of Priority and Priority Hazardous Substances. Online verfügbar:

<http://www.emissieregistratie.nl/ERPUBLIEK/documenten/Water/WFD%20guidance%20on%20emission%20inventories.pdf>.

Eurostat (2012): Bevölkerungsdichte auf Ebene der NUTS-3 Regionen. Online verfügbar:

[http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=demo\\_r\\_d3dens&lang=de](http://appsso.eurostat.ec.europa.eu/nui/show.do?dataset=demo_r_d3dens&lang=de). Stand: 06.12.2012.

Eurostat (2013): Nitrogen\_surplus\_(kg\_N\_per\_ha),\_1990-2008,\_EU-27,\_CH\_and\_NO.png. Online verfügbar:

[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics\\_explained/images/b/b3/Nitrogen\\_surplus28kg\\_N\\_per\\_ha292C\\_1990-20082C\\_EU-272C\\_CH\\_and\\_NO.png](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/statistics_explained/images/b/b3/Nitrogen_surplus28kg_N_per_ha292C_1990-20082C_EU-272C_CH_and_NO.png). Stand: 01.02.2013.

FDZ – Forschungsdatenzentrum der Statistischen Ämter des Bundes und der Länder (2012): Statistische Daten zur Wassereigenversorgung, Abwasserbehandlung und -beseitigung. Online verfügbar:

[www.forschungsdatenzentrum.de/](http://www.forschungsdatenzentrum.de/).

Fitschen, A.; Nordmann, H. (2010): Verkehrsentwicklung auf Bundesfernstraßen 2008. Jahresauswertung der automatischen Dauerzählstellen, Bd. 191. Bergisch Gladbach: Bundesanstalt für Straßenwesen.

Fuchs, S.; Scherer, U.; Hillenbrand, T.; Marscheider-Weidemann, F.; Behrendt, H.; Opitz, D. (2002): Schwermetalleinträge in die Oberflächengewässer Deutschlands. Berlin: Umweltbundesamt (UBA-Texte 54/02).

Fuchs, S.; Scherer, U.; Wander, R.; Behrendt, H.; Venohr, M.; Opitz, D. et al. (2010): Berechnung von Stoffeinträgen in die Fließgewässer Deutschlands mit dem Modell MONERIS. Nährstoffe, Schwermetalle und Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. 1. Aufl., Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA-Texte 45/10).

Gallego, F.J. (2010): A Population Density Grid of the European Union. Population and Environment 31, S. 460-473.

GfK (2007): Deutsches Flussnetz. Online verfügbar: [www.gfk-geomarketing.de/startseite.html](http://www.gfk-geomarketing.de/startseite.html).

GISCO – Geographic Information System of the European Commission (Eurostat (2010): Online verfügbar:

[http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/gisco\\_Geographical\\_information\\_maps/introduction](http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/gisco_Geographical_information_maps/introduction). Stand: 15.02.2012.

Greiselis-Bailer, S.; Kemper, B.-M. (2006): Ermittlung und Minderung der Emissionen krebserzeugender und weiterer besonders gesundheitsgefährdender Stoffe bei Kleinfeuerungsanlagen für feste Brennstoffe. Berlin: Umweltbundesamt (Forschungsvorhaben FKZ 203 44 358).

Haenel, H.-D.; Rösemann, C.; Dämmgen, U.; Poddey, E.; Freibauer, A.; Döhler, H.; Eurich-Menden, B.; Wulf, S.; Dieterle, M.; Osterburg, B. (2012): Calculation of gaseous and particulate emissions from

- German agriculture 1990 – 2010. Report on methods and data. Landbauforschung, Special Issue 356.
- Hartwich, R.; Behrens, J.; Eckelmann W.; Haase, G.; Richter, A.; Roeschmann, G.; Schmidt, R. (1995): Bodenübersichtskarte der Bundesrepublik Deutschland 1 : 1.000.000. Karte mit Erläuterungen, Textlegende und Leitprofilen. Hannover.
- Henzler, R. (2004): Quantifizierung und Modellierung der PAK-Elution aus verfestigten und unverfestigten Abfallmaterialien. Dissertation. Tübingen: Eberhard-Karl-Universität Tübingen.
- HKI – Industrieverband Haus-, Heiz und Küchentechnik e.V. (2011): Absatzentwicklung von Raumheizgeräten in Deutschland 2005-2011. Frankfurt a. M.: Industrieverband Haus-, Heiz und Küchentechnik e.V.
- Horn, M.; Steven, H.; Haberkorn, U.; Schulte, L.-E. (2005): Exhaust gas and noise emissions of motorboats – Basis for the update of the European Union directive for the limitation of the emissions of motorboats. Berlin: Umweltbundesamt.
- ifeu (2003): Überarbeitung des Datentransfers zwischen den Datenbanken TREMOD (Transport Emission Model) und ZSE („Zentrales System Emissionen“). Heidelberg: ifeu (Forschungsvorhaben UF-OPLAN FKZ 201 41 261/03).
- ifeu (2009): Aktualisierung des Modells TREMOD – Mobile Machinery (TREMOMM). Heidelberg: ifeu (Forschungsvorhaben FKZ 360 10 018).
- INFRAS (2010): Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1; im Auftrag des Umweltbundesamtes in Deutschland, des Umweltbundesamtes in Österreich und des BUWAL der Schweiz; Bern: INFRAS.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (1996): Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Vol. 3: Greenhouse Gas Inventory Reference Manual. IPCC WGI Technical Support Unit, Bracknell.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2000): Good Practice Guidance and Uncertainty Measurement in National Greenhouse Gas Inventories. IPCC National Greenhouse Gas Inventories programme.
- IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (2006): 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Vol. 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use.
- IWO – Institut für Wärme und Öltechnik e.V. (2012): Inlandabsatz von Heizöl EL, Amtliche Mineralöldata der BAFA, 2012, und Absatzzahlen von Ölbrennwertgeräten 1999-2011, Bundesindustrieverband Deutschland Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V. (BDH), übermittelt durch Jörg Franke, Institut für Wärme und Öltechnik e.V., Hamburg.
- Keil, M.; Bock, M.; Esch, T.; Metz, A.; Nieland, S.; Pfitzner, A. (2010): CORINE Land Cover Aktualisierung 2006 für Deutschland. Abschlussbericht. Online verfügbar: [www.corine.dfd.dlr.de/media/download/clc2006\\_endbericht\\_de.pdf](http://www.corine.dfd.dlr.de/media/download/clc2006_endbericht_de.pdf). Stand: 23.03.2012.
- Knörr, W.; Borken, J. (2003): Erarbeitung von Basisemissionsdaten des dieselbetriebenen Schienenverkehrs unter Einbeziehung möglicher Schadstoffminderungstechnologien. Berlin: Umweltbundesamt (Forschungsvorhaben FKZ 299 43 111).

- Kohler, M.; Künniger, T. (2003): Emissions of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAH) from Creosoted Railroad Ties and their Relevance for Life Cycle Assessment (LCA). Holz als Roh- und Werkstoff 61, S. 117–124.
- Kratz, S.; Schnug, E. (2005): Schwermetalle in P-Düngern. Institut für Pflanzenernährung und Bodenkunde, Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft (Landbauforschung Völkenrode - FAL Agricultural Research, 286). Online verfügbar: [http://literatur.vti.bund.de/digbib\\_extern/dk036245.pdf](http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/dk036245.pdf). Stand: 25.10.2012.
- Kunkel, R.; Montzka, C.; Wendland, F. (2007): Anwendung des im Forschungszentrum Jülich entwickelten Modells WEKU zur Ableitung flussgebietsbezogener Aufenthaltszeiten des Grundwassers in Deutschland. Auftrag im Rahmen des UFOPLAN-Projektes FKZ 205 24 204: Entwicklung eines szenariofähigen Managementtools für Stoffeinträge in Oberflächengewässer im Rahmen internationaler Berichtspflichten.
- LABO – Länderarbeitsgemeinschaft Boden (2003): Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz. Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. 3. Aufl., Online verfügbar: <http://www.labo-deutschland.de/pdf/LABO-HGW-Anhang.pdf>.
- Lieferung der Bundesländer (2012): Bereitstellung von Daten über Schwermetallkonzentrationen im landwirtschaftlich verwendeten Klärschlamm.
- Löchter, A. (2012): Datenlieferung im Rahmen des Forschungsvorhabens „Datenvalidierung/ Methodenentwicklung zur verbesserten Erfassung und Darstellung der Emissionssituation im PRTR“ (FKZ 37 10 91 244).
- Mantau, U.; Sörgel, C.; Hick, A. (2006): Energieholzverwendung in privaten Haushalten. Marktvolumen und verwendete Holzsortimente. Hamburg.
- Mayer, H.K; Lewis, C. (2004): Constitution of coal tar pitch and its effect on properties. Online verfügbar: [http://acs.omnibooksonline.com/data/papers/2004\\_K005.pdf](http://acs.omnibooksonline.com/data/papers/2004_K005.pdf).
- NASA-SRTM (2005): Shuttle Radar Topography Mission (SRTM): NASA-Jet Propulsion Laboratory – California Institute of Technology. Online verfügbar: <http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/index.html>.
- OECD – Organisation for Economic Co-operation and Development (2013): Environmental Performance of Agriculture in OECD countries since 1990: Nutrients (nitrogen and phosphorus balances). Online verfügbar: <http://stats.oecd.org/viewhtml.aspx?QueryName=516&QueryType=View>. Stand: 28.02.2013.
- Pfeiffer, F.; Struschka, M.; Baumbach, G. (2000): Ermittlung der mittleren Emissionsfaktoren zur Darstellung der Emissionsentwicklung aus Feuerungsanlagen im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher. Berlin: Umweltbundesamt (UBA-Texte 14/00).
- PRTR (2012): Deutsches Schadstofffreisetzungs- und -verbringungsregister. Online verfügbar: [http://www.prtr.bund.de/frames/index.php?&gui\\_id=PRTR](http://www.prtr.bund.de/frames/index.php?&gui_id=PRTR).
- Regionalstatistik (2012): Tabelle „Bevölkerungsstand 2008: Bevölkerung nach Geschlecht – Stichtag 31.12. – regionale Tiefe: Kreise und krfr. Städte“. Online verfügbar: [www.regionalstatistik.de](http://www.regionalstatistik.de). Stand: 20.06.2013.
- Rheinbraun (2008): Angaben zum Bestand an installierten Feuerstätten für feste Brennstoffe. Persönliche Mitteilung von Herrn Zollner, Rheinbraun Brennstoff GmbH, Frechen.

- Schneider, U.; Becker, A.; Meyer-Christoffer, A.; Ziese, M.; Rudolf, B. (2010): Global Precipitation Analysis Products of the GPCC. 1. Aufl. Band 1. Offenbach a. M.
- Statistisches Bundesamt (2006a): Düngemittelversorgung Wirtschaftsjahr 2005/2006. Fachserie 4 Reihe 8.2. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2006b): Öffentliche Wasserversorgung und Abwasserbeseitigung 2004. Fachserie 19, Reihe 2.1. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2006c): Viehbestand. Fachserie 3, Reihe 4.1. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2007a): Düngemittelversorgung Wirtschaftsjahr 2006/2007. Fachserie 4, Reihe 8.2. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2007b): Viehhaltung der Betriebe Agrarstrukturerhebung 2007. Fachserie 3, Reihe 2.1.3. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2008): Viehbestand. Fachserie 3, Reihe 4.1. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2009a): Düngemittelversorgung Wirtschaftsjahr 2008/2009. Fachserie 4, Reihe 8.2. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2009b): Viehbestand. Fachserie 3, Reihe 4.1. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2009c): Fachserie 8, Reihe 4, Verkehr: Güterverkehrsstatistik der Binnenschifffahrt 2008. Online verfügbar:  
[www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Schifffahrt/BinnenschifffahrtJ2080400087004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](http://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Schifffahrt/BinnenschifffahrtJ2080400087004.pdf?__blob=publicationFile).
- Statistisches Bundesamt (2010): Düngemittelversorgung Wirtschaftsjahr 2009/2010. Fachserie 4, Reihe 8.2. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Statistisches Bundesamt (2012): Öffentliche Abwasserentsorgung - Klärschlamm. Klärschlamm-entsorgung aus der biologischen Abwasserbehandlung. Online verfügbar:  
<https://www.destatis.de/DE/ZahlenFakten/GesamtwirtschaftUmwelt/Umwelt/UmweltstatistischeErhebungen/Wasserwirtschaft/Tabellen/Tabellen.html>. Stand: 29.11.2012.
- Struschka, M.; Kilgus, D.; Springmann, M.; Baumbach, G. (2007): Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung. Stuttgart: Universität Stuttgart, Institut für Verfahrenstechnik und Dampfkesselwesen (IVD) (Forschungsvorhaben UFOPLAN FKZ 205 42 322).
- Struschka, M.; Zuberbühler, U.; Dreiseidler, A.; Dreizler, D.; Baumbach, G. (2003): Ermittlung und Evaluierung der Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher sowie Ableitung von geeigneten Maßnahmen zur Emissionsminderung. Berlin: Umweltbundesamt (UBA-Texte 41/03).
- Theloke, J.; Thiruchittampalam, B.; Orlikova, S.; Uzbasich, M.; Gauger, T. (2011): Methodology Development for the Spatial Distribution of the Diffuse Emissions in Europe. Diffuse Air Emissions in E-PRTR. Brüssel: DG Environment, European Commission.

- Thiruchittampalam, B. (2013): Methoden der räumlichen und zeitlichen Auflösung von Emissionen in Europa. Dissertation. Stuttgart (noch nicht veröffentlicht).
- Thiruchittampalam, B.; Köble, R.; Theloke, J.; Kugler, U.; Uzbasich, M.; Geftler, T. (2010): Berechnung von räumlich hochaufgelösten Emissionen für Deutschland. Satellitenbericht des FE-Vorhabens „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung (PAREST)“. Stuttgart: Universität Stuttgart (Forschungsvorhaben UFOPLAN FKZ 206 43 200/01).
- Umweltbundesamt (2012a): Nationale Trendtabellen für die deutsche Berichterstattung atmosphärischer Emissionen seit 1990. Online verfügbar: <http://www.umweltbundesamt.de/emissionen/publikationen.htm>. Stand: 15.04.2012.
- Umweltbundesamt (2012b): Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung (PAREST). Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt (UBA-Texte 09/2012).
- Umweltbundesamt (2013a): Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen und dem Kyoto-Protokoll 2013, Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990-2011. Dessau-Roßlau: Umweltbundesamt.
- Umweltbundesamt (2013b): Ammoniak. Online verfügbar: <http://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/ammoniak>.
- Welker, A. (2004): Schadstoffströme im urbanen Wasserkreislauf Aufkommen und Verteilung, insbesondere in den Abwasserentsorgungssystemen. Habilitationsschrift. Online verfügbar: [http://kluedo.ub.uni-kl.de/files/1678/Habil\\_privat.pdf](http://kluedo.ub.uni-kl.de/files/1678/Habil_privat.pdf).
- Zereini, F. (2010): Konzentrationen und räumliche Ausbreitung von Platingruppenelementen (Pt, Pd, Rh) und Schwermetallen (As, Sb, Cd, Ce, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Zn) in PM10, PM2.5, PM1 und im fraktionierten Luftstaub. Frankfurt a. M.: Johann-Wolfgang-Goethe-Universität Frankfurt am Main, Institut für Atmosphäre und Umwelt.
- ZIV – Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband (2012): Erhebungsdaten des Schornsteinfegerhandwerks über Emissionsmessungen im Jahr 2008. Sankt Augustin: Bundesverband des Schornsteinfegerhandwerks – Zentralinnungsverband.

## Anhang

- Anhang 1: Datenlieferung an das Umweltbundesamt
- Anhang 2: Ecologic GmbH: Stoffeinträge in Gewässer vom 10.02.2012
- Anhang 3: ifeu GmbH: Erfassung von Emissionen des Verkehrs in Deutschland im PRTR – Erarbeitung methodischer Grundlagen zur Abbildung von Emissionen diffuser Quellen für den Bereich Verkehr im nationalen Schadstofffreisetzung- und -verbringungsregister (PRTR)
- Anhang 4: Universität Stuttgart – Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK): Ermittlung aktueller Emissionsfaktoren für das Bezugsjahr 2008
- Anhang 5: Universität Stuttgart – Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung (IER): Regionalisierung von nationalen Emissionen im Rahmen von „Diffuse Emissionen im PRTR“
- Anhang 6: Karlsruher Institut für Technologie – Institut für Wasser und Gewässerentwicklung, Bereich Siedlungswasserwirtschaft und Wassergütewirtschaft: Endbericht zum FE-Vorhaben „Datenvalidierung/Methodenentwicklung zur verbesserten Erfassung und Darstellung der Emissionssituation im PRTR“ – Modellierung der direkten Emissionen in das Kompartiment Wasser
- Anhang 7: FH Potsdam: Designdokumentation des Forschungsprojektes Visualisierung von diffusen Emissionen in Luft und diffusen Stoffeinträgen in Wasser im Rahmen von Thru.de
- Anhang 8: FH Potsdam: Ergebnisse Usability-Test der Visualisierung von diffusen Emissionen in Luft und diffusen Stoffeinträgen in Wasser