

TEXTE

71/2016

ArcGIS basierte Lösung zur detaillierten, deutsch- landweiten Verteilung (Gridding) nationaler Emissionsjahreswerte auf Basis des Inventars zur Emissionsbericht- erstattung

Kurzfassung

TEXTE 71/2016

Umweltforschungsplan des
Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

Forschungskennzahl 3712 63 240 2
UBA-FB-002360/KURZ

ArcGIS basierte Lösung zur detaillierten, deutschlandweiten Verteilung
(Gridding) nationaler Emissionsjahreswerte auf Basis des Inventars zur
Emissionsberichterstattung

von

Christiane Schneider
AVISO GmbH, Aachen

Michael Pelzer
AVISO GmbH, Aachen

Nicola Toenges-Schuller
AVISO GmbH, Aachen

Michael Nacken
AVISO GmbH, Aachen

Arnold Niederau
AVISO GmbH, Aachen

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Impressum

Herausgeber:

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

 /umweltbundesamt.de

 /umweltbundesamt

Durchführung der Studie:

AVISIO GmbH
Am Hasselholz 15
52074 Aachen

Abschlussdatum:

November 2015

Redaktion:

Fachgebiet II 4.3 Luftreinhaltung und terrestrische Ökosysteme
Markus Geupel

Publikationen als pdf:

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

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, November 2016

Das diesem Bericht zu Grunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit unter der Forschungskennzahl 3712 63 240 2 gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Kurzfassung

Ziel des Projektes war es, eine ArcGIS basierte Software zu entwickeln, die es dem UBA erlaubt, eigenständig und auf der Grundlage allgemein verfügbarer Informationen regelmäßig räumlich hoch aufgelöste Emissionsdatensätze zu generieren, d.h. eine flächenhafte Zuordnung der nur national verfügbaren quellgruppenspezifischen Emissionsdaten (nationale Jahreswerte) auf die gesamte Fläche der Bundesrepublik vorzunehmen.

Im vorliegenden Bericht wird die verwendete Methodik zur räumlichen Verteilung der nationalen Emissionen erläutert und die für alle relevanten Quellgruppen (NFR-Sektoren) benötigten Eingangsdaten beschrieben. Zentraler Punkt stellte die Entwicklung der Software (GRETA – Gridding Emission Tool for ArcGIS) dar. Hierzu wird ein Überblick gegeben und Ergebnisse von Beispielanwendungen und der Evaluierung dargestellt.

Methodik zur räumlichen Verteilung von nationalen Emissionen

Die Methodik zur räumlichen Verteilung der nationalen Emissionen basiert im Wesentlichen auf der Verknüpfung von Daten des nationalen Emissionsinventars pro NFR-Sektor mit Indikatorgrößen (Verteilparameter), die eine möglichst realistische räumliche Verteilung der Emissionen zulassen. Betrachtet werden die Schadstoffe NO_x, NH₃, SO₂, CO, NMVOC, PM_{2.5}, PM₁₀. Es werden momentan für die Berichterstattung 127 NFR-Sektoren berücksichtigt.

Eine Übersicht der zur räumlichen Verteilung erforderlichen Teilschritte, die bei der Anwendung des Gridding-Tools durchgeführt werden, ist in Abbildung 1 dargestellt. Wesentliche Aspekte von GRETA sind:

- ▶ Das Gridding-Tool enthält pro Basisjahr einen vollständigen Satz der erforderlichen Datentabellen. Darin enthalten sind Emissionen, Verteilparameter, geometrische Datensätze sowie notwendige Definitions- und Zuordnungstabellen. Im Rahmen der Erstellung des Gridding-Tools wurde das Jahr 2010 als Referenzjahr festgelegt, für das alle notwendigen Daten für das Gridding-Tool aufbereitet wurden.
- ▶ Im Weiteren sind die Randbedingungen des aktuellen Berechnungslaufes festzulegen (z.B. Berücksichtigung von PRTR-Daten für Punktquellen oder TREMOD-Daten für den Verkehrssektor). Außerdem sind die Zuordnungen der relevanten Verteilparameter pro Quellgruppe/NFR-Sektor zur räumlichen Verteilung der Emissionen festzulegen bzw. die Standard-Vorbelegung zu modifizieren.
- ▶ Die PRTR-Emissionen werden im Bezug auf die nationalen Emissionen auf Plausibilität überprüft und von diesen subtrahiert. Die nationalen Rest-Emissionen, die nicht über die PRTR-Punktquellen abgedeckt sind, werden pro NFR-Sektor ermittelt.
- ▶ Pro NFR-Sektor erfolgt dann die räumliche Verteilung der nationalen (Rest)-Emissionen über Verteilparameter, soweit möglich auf Punktquellen (PQ) und Linienquellen (LQ). Die übrigen Emissionen werden über Verteilparameter auf Kreisebene und weiter unter Berücksichtigung von Landbedeckungsdaten auf Flächenquellen-Ebene (FQ) räumlich zugeordnet.
- ▶ Abschließend kann eine Rasterung für beliebige Gitterweiten und Koordinatenreferenzsysteme durchgeführt werden.
- ▶ Ein Datenexport nach verschiedenen Systematiken (NFR, GNFR, SNAP) und in verschiedene Formate (NetCDF, ASCII) ist möglich.

Abbildung 1: Übersicht Methodik zur räumlichen Verteilung nationaler Emissionen

<p>Emissionen für ein Bezugsjahr (z.B. 2010)</p> <ul style="list-style-type: none"> - nationale Emissionen (NFR) - PRTR-Emissionen - TREMOD-Emissionen (Straße, Schiene, Schiff, Flug) 	<p>Verteilparameter</p> <p>zur Regionalisierung der nationalen Emissionen</p> <ul style="list-style-type: none"> - auf Kreisebene - auf PQ-, LQ-, FQ-Ebene 	<p>Definitionen, Zuordnungstabellen</p> <ul style="list-style-type: none"> - NFR-Sektoren - Schadstoffe - NFR – GNFR – SNAP - vertikale Emissionshöhen - ...
<p>Festlegung Randbedingungen</p> <ul style="list-style-type: none"> - Berücksichtigung von PRTR-Emissionen und TREMOD-Emissionen - Verkehrsemissionen: Emissionen nach Inlands- oder Energiebilanzprinzip verwenden - Vertikale Emissionshöhenlevel - Schadstoffe 		
<p>Plausibilitätskontrolle PRTR-Emissionen < nationale Emissionen pro Hauptgruppe</p>		
<p>Subtraktion der PRTR-Emissionen von den nationalen Emissionen</p>		
<p>Zuordnung Verteilparameter pro NFR-Sektor</p>		
<p>Räumliche Verteilung der Emissionen auf PQ und LQ, soweit möglich</p>		
<p>Verteilung der restlichen Emissionen auf Kreisebene und FQ (über Landbedeckungsdaten)</p>		
<p>Rasterung der Emissionen pro PQ, LQ und FQ (beliebige Rastergröße und Koordinatenreferenzsystem)</p>		
<p>Datenexport</p> <ul style="list-style-type: none"> - Auswahl der Systematik für den Export: NFR, GNFR, SNAP - Auswahl Exportformat 		

Wesentliche Größen zur räumlichen Verteilung der nationalen Emissionen stellen die sogenannten Verteilparameter dar. Diese werden im Kontext des Gridding-Tools wie folgt charakterisiert.

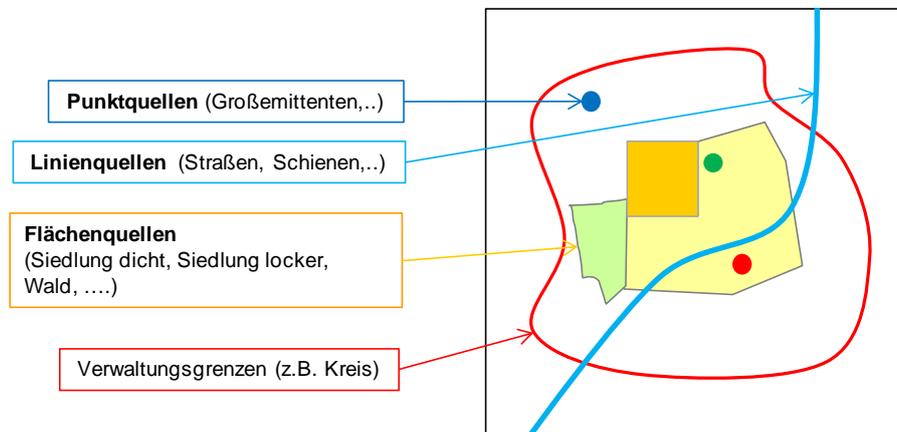
- ▶ Ein Verteilparameter ist eine Funktion, die eine Emissionsgesamtmenge (z.B. nationale Emissionen Deutschland) vollständig auf eine Anzahl räumlicher Objekte verteilt;
- ▶ Die räumliche Verteilung der nationalen Emissionen erfolgt pro NFR-Sektor;
- ▶ Bei komplexeren Verteilparametern können die Emissionen z.B. auch auf verschiedene räumliche Objektklassen oder unter Berücksichtigung einer weiteren Differenzierung der Gesamtemissionen verteilt werden;
- ▶ Für jeden NFR-Sektor werden die Emissionen über einen oder mehrere Verteilparameter räumlich verteilt; es muss dazu festgelegt werden, welcher Anteil der Emissionen über welchen Verteilparameter verteilt werden soll;

Verteilparameter werden dazu eingesetzt, die nationalen Emissionen räumlich möglichst genau je nach Quellgruppe auf einzelne Punkt-, Linien- oder Flächenquellen zu verteilen (vgl. Abbildung 2). Die Lage einer Punktquelle ist eindeutig durch Punktkoordinaten gegeben, typische Linienquellen sind z.B. Straßen, die sich aus vielen Teilabschnitten zusammensetzen können. Als Flächenquellen werden solche Gebiete definiert, in denen aus vielen kleinen Quellen Emissionen freigesetzt werden, z.B. Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen in bebauten Gebieten.

Eine wesentliche Datenbasis zur Verteilung der nationalen Emissionen aus den Bereichen Energieversorgung und Industrie stellen die Emissionen einzelner Betriebe bzw. Anlagen aus der PRTR-Datenbank dar. Daneben werden z.B. auch die Emissionen des Flugverkehrs über die Lage der Flughäfen Punktquellen zugeordnet, wobei bei den größeren Flughäfen noch eine zusätzliche lokale Verteilung berücksichtigt wird.

Emissionen des Straßenverkehrs, des Schienenverkehrs und auch der Binnenschifffahrt werden räumlich Linienquellen zugeordnet. Die entsprechenden Streckennetze bestehen aus einer Vielzahl von einzelnen Abschnitten. Jedem dieser Netzabschnitte (LQ) wird eine Teilmenge der nationalen Emissionen zugewiesen.

Abbildung 2: Prinzip-Skizze zur Definition von Punkt-, Linien- und Flächenquellen



Die räumliche Verteilung der Emissionen, die nicht über Punktquellen (PQ) oder Linienquellen (LQ) verteilt werden, erfolgt in zwei Schritten auf Flächenquellen. Im ersten Schritt werden diese Emissionen über geeignete Verteilparameter auf die Kreisebene verteilt.

Im zweiten Schritt erfolgt innerhalb der Kreise eine genauere räumliche Zuordnung der Emissionen über Landbedeckungsdaten. Pro NFR-Sektor werden die Flächen der relevanten Landbedeckungsklassen ausgewählt und nur diesen Flächen innerhalb des Kreises werden Emissionen zugewiesen. Hierbei kann zusätzlich noch eine Gewichtung erfolgen, z.B. kann der Landbedeckungsklasse Siedlung dicht eine höhere Gewichtung zugewiesen werden als der Landbedeckungsklasse Siedlung locker. Im Ergebnis liegen die zuvor auf Kreisebene verteilten nationalen Emissionen innerhalb der Kreise räumlich lokalisiert auf die relevanten Landbedeckungsflächen vor.

Ziel der räumlichen Verteilung der Emissionen ist die Ausgabe der Emissionen in einem definierten Raster. Dazu werden die auf einzelne Punkt-, Linien- und Flächenquellen räumlich verteilten Emissionen in einem weiteren Schritt den Gitterzellen des gewählten Rasters zugeordnet. Nach Festlegung von Koordinatenreferenzsystem und Gitterweite für die Rasterung wird pro Emissionsquelle (PQ, LQ, FQ) deren Anteil pro Gitterzelle bestimmt. Die Addition der Emissionen aller innerhalb einer Gitterzelle liegenden Quellenanteile führt zu den Gesamtemissionen der Gitterzelle.

Die räumliche Verteilung der Emissionen beschränkt sich nicht nur auf die horizontale Verteilung, sondern schließt auch die Verteilung auf vertikale Höhenlevel ein. Daher war es notwendig jeder Quellgruppe bzw. jedem NFR-Sektor eine mittlere charakteristische Emissionshöhe über Grund zuzuweisen.

Ermittlung der Verteilparameter

Eine wesentliche Datenquelle für die räumliche Zuordnung der nationalen Emissionen stellt die PRTR-Datenbank des UBA dar (PRTR = Pollutant Release and Transfer Register; Thru.de). Die in dieser Datenbank enthaltenen Emissionen liegen als Punktquellen vor und werden auch als solche zur räumlichen Zuordnung im Gridding-Tool verwendet.

Im Weiteren wurde in Abstimmung mit dem UBA festgelegt, dass die Daten der digitalen Landschaftsmodelle Deutschland des Bundesamtes für Kartografie und Geodäsie (BKG) als wesentliche Datenquellen verwendet werden. Im Einzelnen sind dies:

- ▶ Verwaltungsgrenzen (Kreisgrenzen, Gemeindegrenzen)
- ▶ Liniennetz Straßenverkehr
- ▶ Liniennetz Fließgewässer
- ▶ Liniennetz Schienenverkehr
- ▶ Lage Flughäfen
- ▶ Landbedeckung differenziert nach Klassen

Als weitere relevante Datenquelle zur räumlichen Zuordnung von Emissionen, die nicht über Punkt- oder Linienquellen zugewiesen werden, wurde der Corine Land Cover (CLC) Datensatz festgelegt (CLC 2006). Diese Daten liegen differenziert nach 43 Landbedeckungsklassen vor, die für die Verwendung im Rahmen des Gridding-Tools zu 6 CLC-Gruppen zusammengefasst wurden.

Neben diesen wesentlichen geometrischen Basisdatensätzen wurden weitere Informationen und Daten zur Ableitung der endgültigen Verteilparameter verwendet. Dies sind z.B. Daten auf Kreisebene zur Anzahl der Einwohner oder Beschäftigtenzahlen pro Wirtschaftsabteilung. Ziel war es, pro NFR-Sektor möglichst solche Daten zur räumlichen Verteilung zu verwenden, die die räumliche Struktur der Emissionsverteilung gut widerspiegeln. Dies schließt auch typische (effektive) vertikale Quellhöhen pro NFR-Sektor ein.

Die wesentlichen Grundlagen zu den im Gridding-Tool implementierten Verteilparametern werden im Folgenden differenziert nach Quellgruppen beschrieben.

Quellgruppe Energieversorgung und Industrie

Für das Gridding-Tool wurde eine Methodik zur Berücksichtigung der PRTR-Emissionen bei der räumlichen Verteilung der nationalen Emissionen entwickelt. Hierbei werden zunächst auf nationaler Ebene die PRTR-Emissionen von den nationalen Emissionen abgezogen. Der Anteil der Emissionen, der über die PRTR-Emissionen abgedeckt ist, wird räumlich über die Lage der PRTR-Punktquellen zugewiesen. Um negative nationale Rest-Emissionen zu vermeiden, muss diese Berechnung auf einer aggregierten Ebene erfolgen. Dafür wurden die folgenden Hauptgruppen definiert:

- ▶ Hauptgruppe A (Energiesektor, PRTR-Branche 1)
- ▶ Hauptgruppe B (Industrie, PRTR-Branchen 2,3,4,5,6,8,9)
- ▶ Hauptgruppe C (Intensive Viehhaltung und Aquakultur, PRTR-Branche 7)

Die NFR-Sektoren, für die ein Teil der Emissionen über die PRTR-Punktquellen räumlich zugewiesen werden, gehören in die Bereiche Energieversorgung, Industrie, Landwirtschaft und Abwasser-/Abfallbeseitigung. Für die davon betroffenen NFR-Sektoren werden die nationalen (Rest)-Emissionen mittels geeigneter Verteilparameter auf die Kreisebene verteilt. Die Verteilparameter basieren überwiegend auf statistischen Daten zu Beschäftigtenzahlen in den verschiedenen Wirtschaftszweigen und -abteilungen. Innerhalb der Kreise werden die Emissionen auf die Ebene der Flächenquellen (CLC-Klasse CLC121 (industrial and commercial units))verteilt.

Quellgruppe sonstige nicht-industrielle Kleinf Feuerungsanlagen

Die Emissionen von nicht-industriellen Feuerungsanlagen (private Haushalte, übrige Kleinverbraucher, Militär, Landwirtschaft etc.) werden vollständig über Flächenquellen räumlich verteilt. Für diese Quellgruppe basieren die Verteilparameter überwiegend auf statistischen Daten auf Kreisebene. Dabei erfolgt die räumliche Verteilung der Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen privater Haushalte über eine komplexere Verteilfunktion, da die nationalen Emissionen vor der räumlichen Verteilung in die vier Teilssektoren Öl-, Gas-, Holz- und sonstige Festbrennstofffeuerungen differenziert werden. Dann werden die Emissionen pro Energieträger über unterschiedliche Verteilparameter auf die Kreisebene bzw. Gemeindeebene verteilt. Innerhalb der Kreise (bzw. bei Holzfeuerungen innerhalb der Gemeinden) werden die Emissionen wiederum über die relevanten Landbedeckungsklassen auf die Ebene der Flächenquellen verteilt.

Quellgruppe Verkehr

Für den Verkehrssektor (Straßen-, Flug-, Schiffs- und Schienenverkehr) werden beim UBA die Abgasemissionen über das Modell TREMOD ermittelt. Diese Daten liegen in einer differenzierteren Form vor als sie pro NFR-Sektor bei den nationalen Emissionen ausgewiesen sind. Daher werden im Gridding-Tool geeignete Zusatzinformationen aus TREMOD für die räumliche Verteilung mit berücksichtigt.

Für die räumliche Verteilung der nationalen Emissionen des bodennahen Flugverkehrs stehen neben den nationalen Summen zusätzlich die TREMOD-Emissionsdaten für die 26 größten Flughäfen zur Verfügung. Die Emissionen dieser Flughäfen werden über die Lage der Flughäfen gemäß DLM räumlich zugeordnet. Für die restlichen kleineren Flughäfen und Landeplätze in Deutschland werden die nationalen Rest-Emissionen des Flugverkehrs, die nicht in den TREMOD-Daten separat pro Flughafen aufgeführt sind, über die Anzahl der Flugbewegungen pro Flughafen räumlich verteilt. Die Lage der Flughäfen ist als Punktquelle bekannt. Ergänzend wurden die An- und Abflugsektoren als trichterförmige dreidimensionale Quellen für die 15 größten (internationalen) Flughäfen in Deutschland digitalisiert. Damit erfolgt die räumliche Verteilung der Emissionen des bodennahen Flugverkehrs für diese Flughäfen sehr differenziert über lokale (dreidimensionale) Quellen.

Die Emissionen der Quellgruppe Straßenverkehr setzen sich zusammen aus den Abgasemissionen, den Emissionen durch Abriebe (Reifen, Bremsen, Straße) und den Emissionen durch Verdunstung von Kraftstoff. Die Abgas- und Abriebs-Emissionen des Straßenverkehrs werden vollständig über Linienquellen verteilt, da die digitale geometrische Datengrundlage für das komplette Straßennetz vorliegt. Der Verteilparameter zur räumlichen Verteilung der Abgasemissionen wurde aus Daten zur Fahrleistung pro Streckenabschnitt abgeleitet. Hierzu wurden Daten aus unterschiedlichen Datenquellen aufbereitet. Die Verdunstungsemissionen werden über Flächenquellen auf die bebauten Gebiete verteilt.

Für den Schienenverkehr werden die Abgas-Emissionen, die durch den Betrieb von Diesel-Lokomotiven entstehen, ausgewiesen. Abrieb-Emissionen, die sowohl durch elektrisch als auch durch die dieselbetriebenen Züge entstehen, sind aktuell bei den Emissionen für die Berichtserstattung nicht enthalten und werden deshalb in dem hier betrachteten Sektor nicht berücksichtigt. Die Verteilung der Emissionen des Schienenverkehrs erfolgt komplett auf Linienquellen. Geometrische Basis stellt das Schienennetz dar und als wesentliche Datengrundlage zur Ableitung des Verteilparameters wurden die abschnittsbezogenen Emissionen der DB Umwelt AG verwendet.

Auch die Emissionen des Schiffsverkehrs werden vollständig auf Linienquellen verteilt. Hierzu werden das digitale Streckennetz der Fließgewässer und die aus den streckenbezogenen Emissionsdaten aus TREMOD abgeleiteten Verteilparameter verwendet.

Quellgruppe Offroad / mobile Geräte und Maschinen

Diese Quellgruppe umfasst die Emissionen, die durch den Offroad-Verkehr (z.B. in der Bauwirtschaft, Forst- und Landwirtschaft) und durch die Nutzung von mobilen Geräten und Maschinen freigesetzt werden. Die Emissionen dieser Quellgruppen werden vollständig auf Flächenquellen verteilt, wobei die Verteilparameter überwiegend auf statistischen Daten auf Kreisebene basieren.

Quellgruppe Lösemittel- und andere Produktanwendung

Auch die Emissionen, die durch die Anwendung lösemittelhaltiger Produkte und anderer Produkte sowohl im privaten Bereich, als auch in industriellen und sonstigen Bereichen freigesetzt werden, werden vollständig über Flächenquellen verteilt. Die Verteilparameter basieren überwiegend auf statistischen Daten auf Kreisebene, z.B. Beschäftigte in den Wirtschaftsabteilungen G-U (Handel und Dienstleistungen) oder Einwohner.

Quellgruppe Landwirtschaft

Emissionen aus der Landwirtschaft setzen sich zusammen aus den Emissionen, die bei der Tierhaltung (z.B. Rinder, Schweine) entstehen, und den Emissionen, die bei der Bearbeitung der landwirtschaftlichen Flächen entstehen. Eine wesentliche Datenquelle zur räumlichen Verteilung stellen die Daten des Thünen-Instituts dar, die jährlich die Emissionen der Landwirtschaft auf Kreisebene für Deutschland ermitteln. Daneben werden auch über die PRTR-Datenbank Emissionen von einzelnen erklärungsspflichtigen Betrieben aus der Landwirtschaft ausgewiesen, die aber nur einen geringen Teil der nationalen Emissionen der Landwirtschaft abdecken. Zur Ableitung der Verteilparameter, die im Gridding-Tool für die betroffenen NFR-Sektoren verwendet werden, wurden diese zusätzlichen Daten des Thünen-Instituts und aus der PRTR-Datenbank berücksichtigt.

Übrige NFR-Sektoren

Es gibt noch einige weitere NFR-Sektoren, wie z. B. 1A4cii (national fishing), 1B2av (distribution of oil products) und 1A3ei (pipeline compressors), die nicht zu den Quellgruppen gehören, die bisher aufgeführt wurden. Die Verteilparameter für diese Sektoren basieren auf unterschiedlichen Daten, überwiegend werden die Emissionen räumlich auf Flächenquellen verteilt.

Software Gridding-Tool (GRETA – Gridding Emission Tool for ArcGIS)

Die beschriebene Methodik zur räumlichen Verteilung von nationalen Emissionen wurde im Gridding-Tool GRETA umgesetzt. Alle Beschreibungen dieses Berichts beziehen sich auf die GRETA Version 1.0.3.1. Wesentliche Aspekte bei der Entwicklung der Software und deren programmtechnischen Umsetzung waren die folgenden:

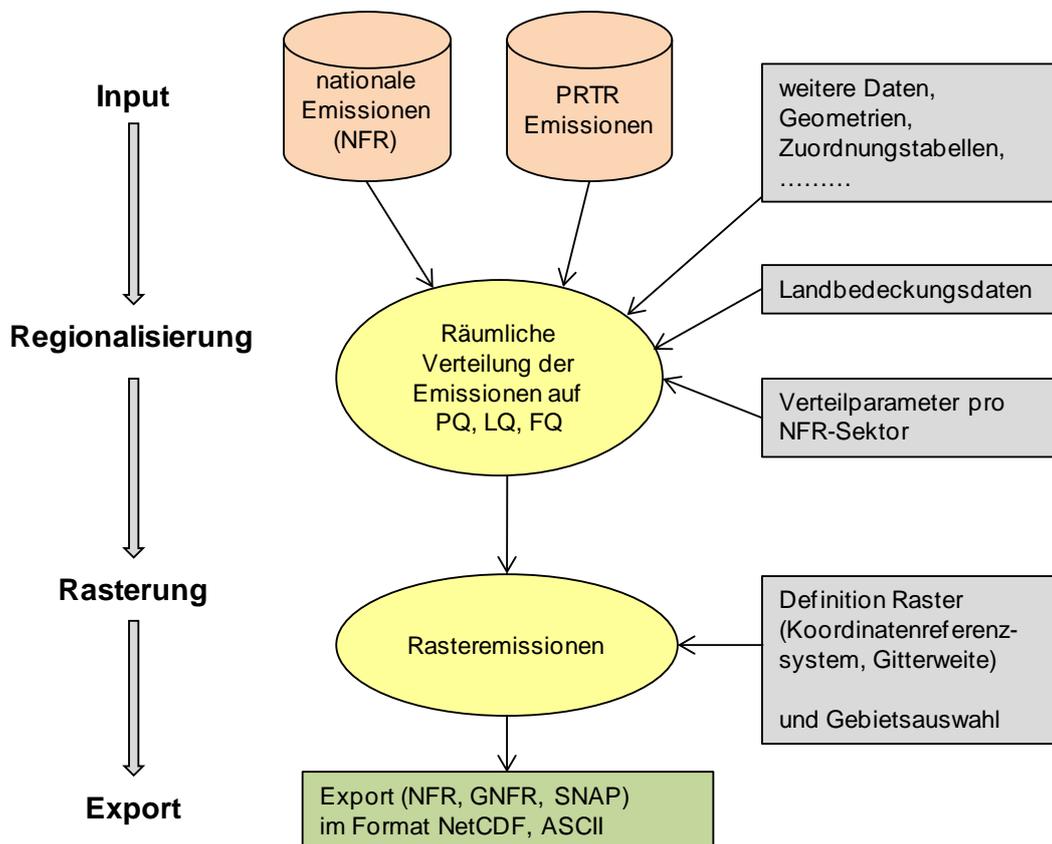
- ▶ Es wurde die GIS-Software ESRI ArcGIS10.1 eingesetzt und im Laufe der Projektbearbeitung auf die aktuelle Version ArcGIS 10.3.1 umgestellt.
- ▶ Die Entwicklung wurde als „Add-In“ realisiert (Framework in ArcGIS Desktop zur Erstellung und Integration eigener Anpassungen und funktionaler Erweiterungen) unter Verwendung von ArcObjects SDK ([software development kit](#)).
- ▶ Die verwendete Programmiersprache ist VB.NET.
- ▶ Entwicklungsumgebung ist Microsoft Visual Studio.NET (Express).
- ▶ Der Programmzugriff auf das Gridding-Tool erfolgt auf der ArcGIS-Oberfläche über einen separaten Toolbutton.
- ▶ Die gesamte Datenhaltung erfolgt in einer File-Geodatenbase (ArcGIS internes Datenbankformat zur Aufnahme von Geometrie- und Attributdaten).
- ▶ Zur Dokumentation der Software wurde das Wiki-System von GitHub (webbasierter Dienst zur Verwaltung von GIT-Repositories) verwendet. Dort sind alle die Programmierung des Gridding-

Tools betreffenden Vereinbarungen, Definitionen und Erläuterungen (Anwendungsfälle, Datenhaltung und -strukturen, Benutzerverwaltung, Definition von Testfällen, Programmier-Konventionen, Laufzeitumgebung) abgelegt.

- ▶ Sämtliche Dokumentationskommentare des Quellcodes erfolgten über die von Microsoft empfohlenen XML-Tags. Es wurde eine Übersicht aller Funktionalitäten (programintern bzw. mit Interaktion des Anwenders) erstellt, die vom Gridding-Tool umgesetzt werden.
- ▶ Die Trennung von Daten, Programmoberfläche und funktionalem Teil des Gridding-Tools folgt dem Prinzip des MVC-Konzepts (Model View Controller).
- ▶ Im Gridding-Tool sind alle Verteilparameter gleichen Typs in eigenen Klassen gekapselt. Das Konzept der „Verteilparametermaschine“ erlaubt es, neue Verteilparameter als separate Klassen zu integrieren.

Eine Übersicht der im Gridding-Tool ablaufenden Prozesse zeigt Abbildung 3. Alle relevanten Input-Daten werden über die Datenbank zur Verfügung gestellt. Die räumliche Verteilung und die Rasterung werden in zwei Teilschritten durchgeführt. Die dafür benötigten Verteilparameter werden im Tool zur Verfügung gestellt, wobei eine Standardvorbelegung für jeden NFR-Sektor vorhanden ist.

Abbildung 3: Prozessübersicht Gridding-Tool



Das Gridding-Tool ist als eine Klassenbibliothek realisiert, die innerhalb einer ArcMap-Sitzung zur Verfügung steht und ein benutzerdefiniertes Fenster als Schnittstelle zwischen Anwender und Tool-Funktionen umsetzt. Es arbeitet mit den von ArcMap bereitgestellten Objekten. Das Tool gibt den Arbeitsablauf zur Emissionsverteilung- und -rasterung vor, es kann aber jederzeit auch „nebenher“ mit den Daten arbeiten werden, z.B. um Auswertungen und Darstellungen von Zwischenergebnissen durchzuführen.

Es erfolgt eine weitgehende Trennung von View und Controller, allerdings werden Teile des Controllers durch das Fenster-Objekt des Tools bzw. durch die darin bereitgestellten Steuerelemente und insbesondere deren Ereignisbehandlungsroutinen umgesetzt. Der View fungiert hier quasi als Applikations-Controller und steuert die Abläufe innerhalb des Tools.

Die drei Komponenten (MVC) stellen sich im Gridding-Tool folgendermaßen dar:

Model:

Datenhaltung und Regelung des Datenzugriffs (auf die ArcGIS-Objekte); keine strikte Trennung vom View, da im Prinzip innerhalb einer ArcMap-Sitzung der Zugriff auf die Datenbanken des Gridding-Tools möglich ist (über Standard-ArcGIS Funktionen);

View:

ArcMap-Sitzung mit dem eingebetteten Gridding-Tool; hier erfolgt sowohl die Überprüfung und Übernahme von Benutzereingaben, als auch die Ereignisbehandlung/ -weiterleitung der Toolfenster-bezogenen Ereignisse durch Ansteuerung der entsprechenden Klassen bzw. deren Methoden im Controller. Dort erfolgt die weitere Verarbeitung und Anwendung/Umsetzung der Programmlogik. Die Ereignisbehandlung durch das Tool ist ausschließlich bezogen auf das Tool-Fenster, alle sonstigen event-handler sind ArcMap-intern und werden auch nicht abgefangen.

Controller:

Der funktionale Kern des Gridding-Tools; hier wird die Programmlogik umgesetzt, indem auf Ereignisse aus dem View reagiert wird und die Daten des Models entsprechend verarbeitet und geändert werden.

Im Ergebnis wird eine weitestgehende Trennung von Benutzeroberfläche und funktionalem Teil erreicht. Alle Klassen des Tools sind in Namensräumen organisiert. Hierbei erfolgte eine Orientierung an den definierten Anwendungsfällen, also eine Gruppierung nach Aufgabe/Verwendungszweck. Jeder Namensraum ist in einem separaten Verzeichnis abgelegt.

Die Datenhaltung des Gridding-Tools basiert auf dem ArcGIS-Datenformat „File-Geodatabase“. Eine File-Geodatabase ist eine Sammlung geographischer und nicht geographischer Datasets und wird in einem Ordner im Dateisystem angelegt.

Die Ablage sämtlicher vom Tool verwendeten Eingangsdaten (Tabellen oder Layer) erfolgt in drei Ebenen:

- ▶ 1. Ebene: allgemein gültige Daten (z.B. Layer der Verwaltungsgrenzen)
- ▶ 2. Ebene: Daten, die nur für ein bestimmtes Bezugsjahr Gültigkeit haben (z.B. Emissionen)
- ▶ 3. Ebene: Daten, die vom Benutzer inhaltlich geändert werden können (z.B. Verteilparameter)

Der Zugriff auf die Daten erfolgt grundsätzlich ebenfalls in dieser gestaffelten Form. Wird eine Tabelle oder ein Feature-Layer zur Darstellung/Bearbeitung benötigt, so erfolgt die Suche zunächst in der aktuellen Benutzerdatenbank (Ebene 3). Sind die Daten dort nicht vorhanden, wird danach in Ebene 2 (Bezugsjahr) und schließlich in Ebene 1 (global) gesucht. Sämtliche produzierten Ergebnisdaten werden stets in der aktuellen Benutzerdatenbank im results-Bereich abgelegt.

Für die Entwicklung des Gridding-Tools wurde das Bezugsjahr 2010 als Referenzjahr festgelegt. Es liegt eine gefüllte Datenbank für dieses Bezugsjahr vor. Diese enthält alle für die räumliche Verteilung der nationalen Emissionen (differenziert nach NFR-Sektoren) benötigten Daten. Für jeden NFR-Sektor wurde eine Vorbelegung der Verteilparameter, die vorab aus den unterschiedlichsten Eingangsdaten ermittelt worden waren, festgelegt, deren Verwendung als Standard-Belegung empfohlen wird. Vom Anwender des Gridding-Tools kann diese Vorbelegung geändert werden.

Zusätzlich stehen für relevante Input-Daten, die sich für verschiedene Bezugsjahre ändern können, Import-Tools zur Verfügung, z.B. zum Import der nationalen Emissionen oder der PRTR-Emissionen.

Es wurden verschiedene Beispielrechnungen mit dem Gridding-Tool durchgeführt, u.a. wurden die NO_x-Emissionen aller NFR-Sektoren (mit Berücksichtigung von PRTR-Emissionen und Berücksichtigung von TREMOD-Daten nach dem Energiebilanzprinzip) räumlich verteilt und im 5 km x 5 km-Gitter gerastert (vgl. Abbildung 4).

Evaluierung

Zur weiteren Evaluierung des Gridding-Tools wurden die mit dem Gridding-Tool berechneten Emissionen mit Emissionen aus anderen Datenquellen verglichen.

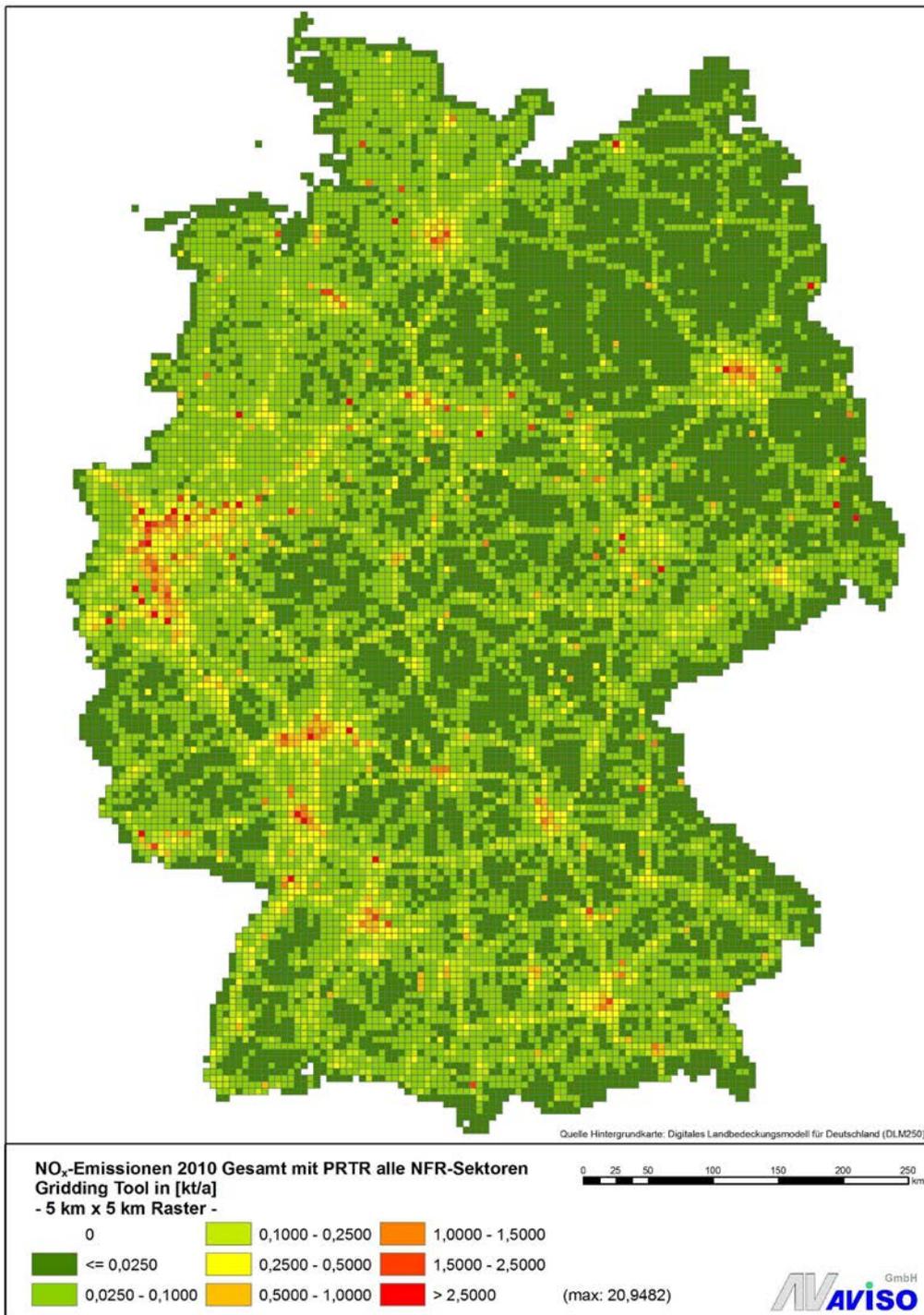
Vergleiche der Rasteremissionen wurden mit den folgenden Datensätzen durchgeführt.

- ▶ PAREST Emissionen Deutschland (1 km x 1km –Raster)
- ▶ MACC III Emissionen Deutschland (1/8° x 1/16° - Raster)
- ▶ PRTR Emissionen Deutschland aus diffusen Quellen (3 km x 3 km –Raster)
- ▶ Emissionen aus ausgewählten kleinräumigen Emissionskatastern (unterschiedliche Rastergrößen)

Die Vergleiche wurden für ausgewählte Schadstoffe und Quellgruppen durchgeführt und erfolgten stets in der gleichen Art und Weise. Es wurde zunächst die räumliche Verteilung der nationalen Emissionen mit dem Gridding-Tool in der Rasterweite durchgeführt, in der die Vergleichsdaten vorliegen. Es wurden dann pro Schadstoff die Emissionssummen für das gesamte Gebiet gegenübergestellt. Die Differenzen zeigen, ob auf nationaler Ebene die Emissionen der Vergleichsdatenquelle in ähnlicher Höhe liegen wie die nationalen Emissionen aus dem Gridding-Tool. Zusätzlich wurden Histogramme der Emissionsdifferenzen pro Rasterelement erstellt und die Korrelation zwischen den Rasterdaten („Mustervergleich“) ermittelt. Die direkte Gegenüberstellung der gerasterten Emissionen erfolgte abschließend in Form eines Differenzplots. Mögliche Ursachen für auffallende Unterschiede in den räumlichen Verteilungen wurden analysiert.

Zusammenfassend wurde festgestellt, dass die mit dem Gridding-Tool erzeugten Emissions-Rasterdatensätze grundsätzlich eine recht ähnliche räumliche Verteilungsstruktur zeigen wie die Vergleichsdatensätze. Aufgezeigte Unterschiede bei den Vergleichen haben ihre Ursache in den unterschiedlichen Verteilparametern und geometrischen Datengrundlagen, die verwendet wurden.

Abbildung 4: Räumliche Verteilung der NO_x-Emissionen Deutschland, alle NFR-Sektoren, Bezugsjahr 2010 (mit Berücksichtigung der PRTR-Emissionen und mit Berücksichtigung von TREMOD-Daten nach dem Energiebilanzprinzip)



Summary

Aim of the project was to develop an ArcGIS-based software which allows the UBA to regularly generate, independently and on the basis of generally available information, highly spatially resolved emission data sets, i.e., a two-dimensional mapping of the only nationally available emission data per source group carried out over the entire area of the Federal Republic.

This report explains the methodology used for spatial distribution of national emissions and describes the required input data for all relevant source categories (NFR sectors). Focal point was the development of software (GRETA – Gridding Emission Tool for ArcGIS). For this purpose, an overview is given and results of sample applications and evaluation are being presented.

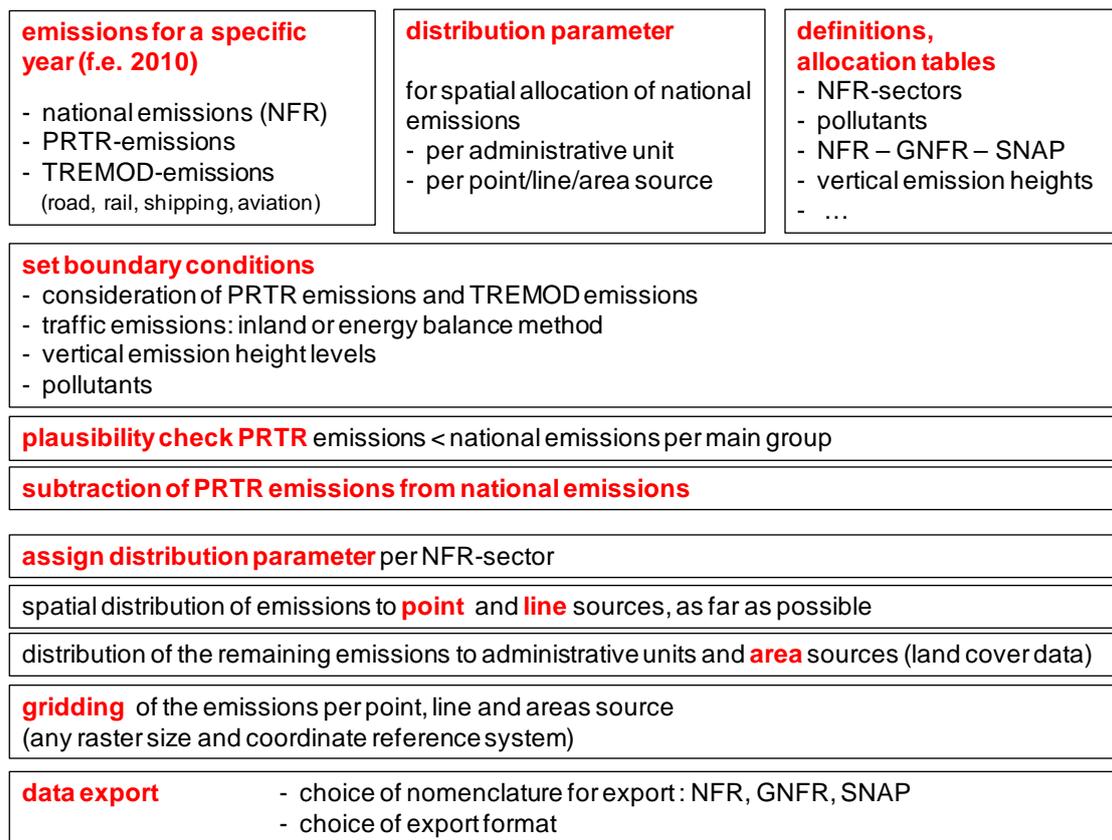
Methodology used for Spatial Distribution of National Emissions

The methodology for spatial distribution of national emissions is mainly based on the combination of data of the national emission inventory per NFR sector with distribution parameters, which permit a realistic spatial distribution of emissions. Under examination are the pollutants NO_x, NH₃, SO₂, CO, NMVOC, PM_{2.5}, PM₁₀. Currently there are 127 NFR sectors for which emissions are reported.

An overview of the necessary partial steps for spatial distribution, carried out by application of the Gridding Tool, is shown in Figure 5. Key aspects of GRETA are:

- ▶ The Gridding Tool includes a full set of required data tables per base year. These include emissions, distribution parameters, geometric data and necessary definition and mapping tables. When developing the Gridding Tool, the year 2010 was fixed as reference year, for which all necessary data for the Gridding Tool had been compiled.
- ▶ Furthermore, boundary conditions of the current calculation have to be set (e.g. consideration of PRTR data for point sources or TREMOD data for the traffic sector). In addition, the relevant distribution parameters per source category / NFR sector for the spatial distribution have to be set respectively the default selection has to be modified.
- ▶ The PRTR emissions are being checked with respect to the annual national emissions for plausibility and subtracted from these. The remaining national emissions not covered by way of PRTR point sources per NFR sector, are determined.
- ▶ Spatial distribution of the national (remaining) emissions is then done by use of distribution parameters, as far as possible to point sources and to line sources. The remaining emissions are spatialized by use of distribution parameters at district level and furthermore under consideration of land-cover data at area source level.
- ▶ Finally, gridding for any grid sizes and different coordinate reference system can be carried out.
- ▶ Data export to various nomenclatures (NFR, NFR, SNAP) and in different formats is possible (NetCDF, ASCII).

Figure 5: Overview of the method for spatial distribution of national emissions



Significant factors for spatial distribution of national emissions are the so-called distribution parameters. These are characterized in the context of the Gridding Tool as follows:

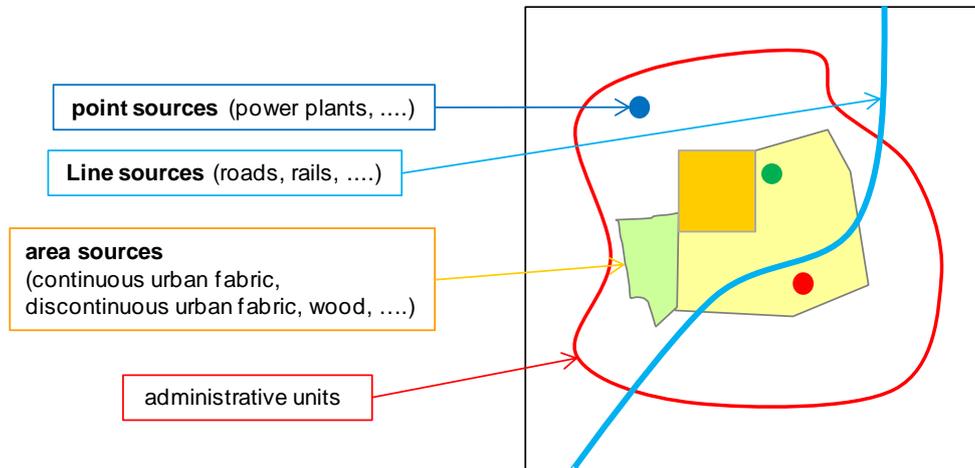
- ▶ A distribution parameter represents a function that fully distributes a total number of emissions (e.g. national emissions Germany) to a specific amount of regional objects.
- ▶ The spatial distribution of national emissions is being performed per NFR sector;
- ▶ More complex distribution parameters distribute the emissions, for example, to different spatial object classes or by taking into account a further differentiation of the total emissions.
- ▶ For each NFR sector emissions are spatially distributed over one or more distribution parameters. For this purpose it has to be determined which part of the emissions is to be distributed over which distribution parameter.

Distribution parameters are used for allocation of national emissions, spatially as accurately as possible, to individual point, line or area sources depending on the source group (see Figure 6). The location of a point source is given clearly by coordinates; typical line sources are, for example, streets, which can consist of many sections. As surface sources such areas are defined in which from many small sources emissions are released, for example, emissions from small combustion plants in built-up areas.

A substantial database for distribution of national emissions in the sectors ‘energy supply’ and ‘industry’ are the emissions of individual sites or plants from the PRTR database. In addition, for example, also emissions of air traffic are allocated to point sources by location of the airports, whereas in the case of larger airports an additional local distribution is taken into account.

Emissions from road traffic, rail traffic and inland water navigation are spatially assigned to line sources. The respective route networks consist of individual sections. To each of these network segments (line source) a share of the national emissions is assigned.

Figure 6: schematic diagram for the definition of point / line / area sources



The spatial distribution of the emissions that are not distributed to point sources or line sources, is carried out in two steps on area sources. In the first step, these emissions are distributed by means of suitable distribution parameters to the district level.

In the second step a more accurate spatial allocation of emissions using land cover data is carried out within the districts. Per NFR sector the areas of the relevant land use classes are chosen and only to these areas emissions are allocated. Here, emphasis can also be placed on different CLC groups, e. g. the land-cover class ‘residential areas’ could get a higher rating than land-cover class ‘residential areas loose’. As a result, the previously at district level distributed national emissions are now spatially localized to the relevant land-cover areas within the districts.

Aim of the spatial distribution of emissions is the compilation of emissions in a defined grid. For this, the emissions, spatially distributed to individual point, line and area sources, are assigned to the grid cells of the selected grid in a further step. After determination of the coordinate reference system and grid size of the raster, the share of each emission source (point / line / area source) per grid cell is determined. The summation of the emissions of all source shares lying within a grid cell leads to the total of emissions of the grid cell.

The spatial distribution of emissions is not only limited to horizontal distribution, but also includes distribution to vertical height levels. Therefore it was necessary to assign to each source category or to each NFR sector an average characteristic emission height above ground.

Determination of Distribution Parameters

The PRTR database of UBA (PRTR = Pollutant Release and Transfer Register; Thru.de) represents an important data source for the spatial distribution of national emissions. The emissions contained in

this database are on hand as point source emissions and are taken into account as such for the spatial allocation in the Gridding Tool.

Furthermore, it was established in agreement with the UBA that the data of the digital landscape models Germany of the Federal Agency of Cartography and Geodesy (BKG) are used as essential data sources. In detail, these are as follows:

- ▶ administrative boundaries (district boundaries, municipal boundaries)
- ▶ road network
- ▶ streaming water network
- ▶ rail network
- ▶ location of airports
- ▶ land-cover differentiated by classes

As another relevant data source for spatial allocation of emissions that are not assigned by point or line sources, the Corine Land Cover (CLC) data set (CLC 2006) was stipulated. These data are differentiated in 43 land cover classes. For the usage within the scope of the Gridding Tool these have been merged to 6 CLC groups.

Apart from these essential geometric base data sets, further information and data were used for deriving the final distribution parameters. These are, for example, data at district level as to the number of inhabitants or number of employees per business division. The aim was to use per NFR sector those data on the spatial distribution that reflect well the spatial structure of the emission distribution. This also includes typical (effective) vertical heights of sources per NFR sector.

Source Group Energy and Industry

For the Gridding Tool a methodology has been developed taking into account PRTR emissions in the spatial distribution of national emissions. Here, the PRTR emissions are first subtracted at a national level from the national emissions. The share of emissions, which is covered by the PRTR emissions, is spatially assigned by the location of PRTR point sources. To avoid negative national residual emissions, this calculation must be made on an aggregated level. For this, the following main groups were defined:

- ▶ main group A (energy sector PRTR 1)
- ▶ main group B (industrial sectors, PRTR sectors 2,3,4,5,6,8,9)
- ▶ main group C (intensive livestock production and aquaculture, PRTR industry 7)

The NFR sectors for which part of the emissions are spatially allocated by means of the PRTR point sources belong to the source groups of energy supply, industry, agriculture and sewage / waste disposal. For the hereby affected NFR sectors, the national (residual) emissions are distributed in a first step by suitable distribution parameters on district level. The distribution parameters are predominantly based on statistical data on numbers of employees in the various sectors and departments of industry. Within the districts, the emissions are distributed via land cover class CLC121 (Industrial and Commercial Units) to the level of area sources.

Source Group Other Non-industrial Combustion Plants

The emissions from non-industrial combustion plants (private households, other small consumers, military, agriculture, etc.) are completely spatially distributed over area sources. For this source group, distribution parameters are mainly based on statistical data at district level. The spatial distribution of emissions from small combustion plants of households was carried out via a more complex distribution function since the national emissions are differentiated into the four sub-categories of

oil, gas, wood and other solid fuel combustion plants. Then the emissions per energy source are distributed using different distribution parameters to the district respectively community levels. Within the districts (for wood firing within the communities) emissions are again distributed over the relevant CLC classes to the level of the area sources.

Source group Traffic

For the traffic sector (road, rail, shipping, aviation), at UBA emissions are being determined by means of the TREMOD model. These data are available in a more differentiated way than they are shown per NFR sector in national emissions. Therefore, suitable additional information from TREMOD for the spatial distribution is taken into account in the Gridding Tool.

For the spatial distribution of national emissions of aviation, in addition to the national totals, additional TREMOD emission data for the 26 largest airports are available. These emissions are spatially allocated directly to their position. For the remaining smaller airports and landing sites in Germany, the national residual emissions from aviation, which are not listed in the TREMOD data separately for each airport, are spatially distributed over the number of flight movements per airport. The location of airports is known as a point source. In addition, for the 15 largest (international) airports in Germany the landing and departure sectors were digitized as funnel-shaped three-dimensional sources. This allows a much differentiated spatial distribution of the emissions to local (three-dimensional) sources for these airports.

Emissions of the source group Road Traffic are composed of exhaust emissions, emissions from abrasions (tires, brakes, roads) and emissions due to fuel evaporation. The exhaust and abrasion emissions from road traffic are fully distributed over line sources, since a digital geometric data basis exists for all roads. The distribution parameter for spatial distribution of emissions derived from data on mileage per route section. For this purpose, data was processed from different data sources. The evaporative emissions are spatially distributed over area sources to the built-up areas.

For rail traffic, emissions resulting from operation of diesel locomotives are reported. Abrasion-emissions caused by both, electrically and diesel-powered trains are currently not included in the reported emissions and are therefore not taken into account in the sector here under consideration. The distribution of emissions of rail transport is carried out entirely on line sources. The geometric base is the rail network and significant data base for the derivation of the distribution parameters are the section-related emissions of DB Umwelt AG.

Also the emissions of shipping traffic are completely spatially distributed on line sources. For this purpose, the digital routing network of watercourses as well as the distribution parameters derived from emission data from TREMOD are being applied.

Source group Offroad / Mobile Machinery

This source group includes emissions which are released by the off-road traffic (e.g. in the building and construction industry, forestry and agriculture) and by the use of mobile devices and machines. The emissions from these source categories are allocated completely as area sources. The distribution parameters are mainly based on statistical data at district level.

Source group Solvents and other Product Use

Also emissions that are released by application of solvent-based and other products in the private sector as well as in industrial and other sectors, are fully distributed as area sources. The distribution parameters are predominantly based on statistical data at district level, e.g. employees in economic departments of G-U (Trade and Services) or inhabitants.

Source group Agriculture

Emissions from agriculture consist of the emissions arising from animal husbandry (e.g. cows, pigs etc.), and the emissions that occur during agricultural activity on arable land and pastures. An important data source for spatial distribution is the data of the Thünen Institute, which annually determines the emissions from agriculture at district level for Germany. In addition, emissions from stables that underlay reporting obligations are reported in the PRTR database. They only cover a small proportion of national emissions in agriculture. To derive the distribution parameters used in the Gridding Tool for the affected NFR sectors, the data of the Thünen Institute and from the PRTR database were taken into account.

Other NFR Sectors

There are some more NFR sectors, e.g.: 1A4ciii (national fishing), 1B2av (distribution of oil products) and 1A3ei (pipeline compressors), which do not belong to the source groups already described. The distribution parameters for these sectors are based on different data; emissions are predominantly spatially distributed as area sources.

Software Gridding Tool (GRETA – Gridding Emission Tool for ArcGIS)

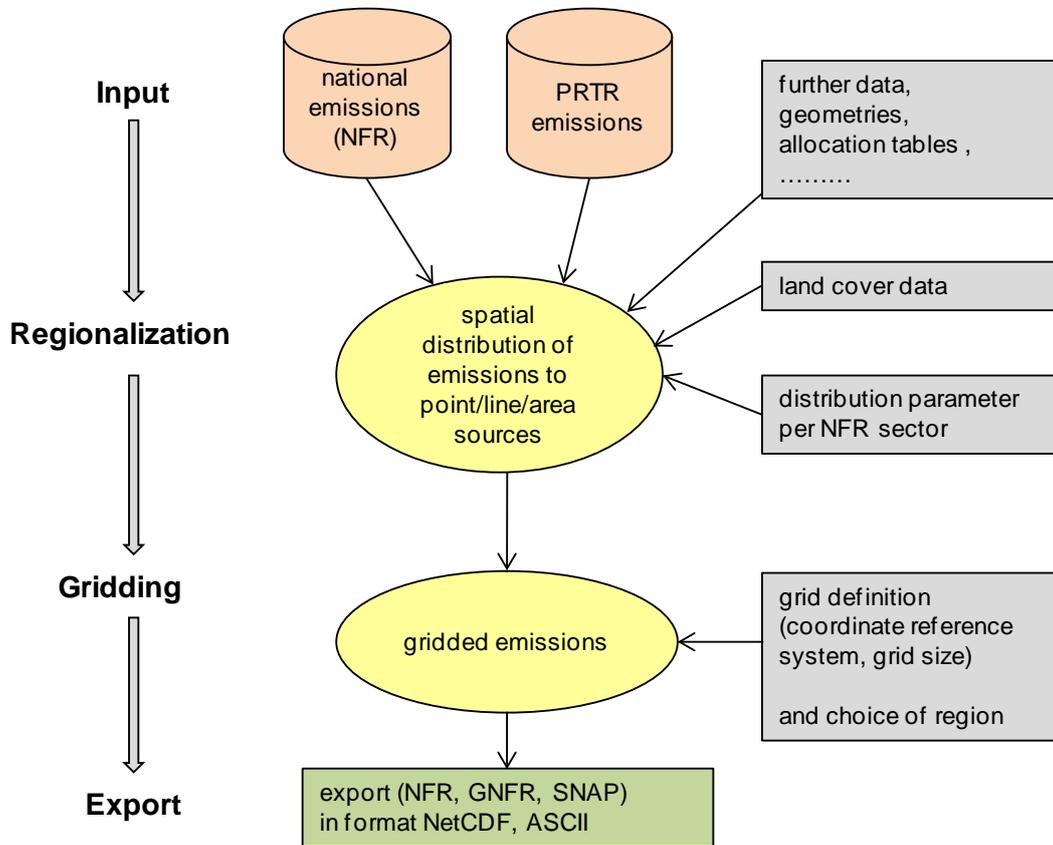
The methodology as to spatial distribution of national emissions described above has been implemented when developing the Gridding Tool GRETA. All the following descriptions and considerations refer to GRETA version 1.0.3.1. Essential aspects in the development of the software and its programming were the following:

- ▶ In the course of the project, the GIS Software ESRI ArcGIS10.1 was used initially and changed into the current version ArcGIS 10.3.1.
- ▶ The development was implemented as "add-in" (framework in ArcGIS desktop to create and integrate own adjustments and functional extensions) using ArcObjects SDK (software development kit).
- ▶ The programming language used is VB.NET.
- ▶ The programming environment is Microsoft Visual Studio.NET.
- ▶ Program access to the Gridding Tool is carried out on the ArcGIS interface via a separate tool button.
- ▶ The entire data is stored in a file geodatabase (ArcGIS internal database format to store the geometry and attribute data).
- ▶ For the documentation of the software, the Wiki System by GitHub was used (web-based service for managing GIT repositories). There, all the programming of the Gridding Tool concerning agreements, definitions and explanations (use cases, data-management and -structures, user management, definition of test cases, programming conventions, runtime environment) are stored.
- ▶ All comments in documentation upon the source code were done by using the Microsoft-recommended XML tags. It was created an overview of all functions (internally or with user interaction), which are implemented by the Gridding Tool.
- ▶ The separation of data, user interface and functional part of the Gridding Tool follows the principle of the MVC concept (Model View Controller).
- ▶ In the Gridding Tool all distribution parameters of the same type are encapsulated in their own classes. The concept of "distribution parameter machine" makes it possible to integrate new distribution parameters as separate classes.

An overview of the processes taking place in the Gridding Tool is shown in Figure 7. All relevant input data are provided by the database. The spatial distribution and gridding, as explained above, is

carried out in two steps. The distribution parameters needed are available in the tool, whereat a standardized pre-configuration for each NFR sector exists.

Figure 7: Process overview Gridding-Tool



The Gridding Tool is implemented as a class library, which is available within an ArcMap session as a user-defined window acting as an interface between user and tool functions. It works with the objects provided by ArcMap. The tool provides the workflow for emission distributing and gridding, but it is still possible to work “alongside” at any time with the data, e.g. to perform evaluations and presentations of intermediate results.

View and Controller are separated to a large extent, however, parts of the Controller are transcribed by the tool’s window-object respectively by the control elements, and in particular their event treatment routines provided therein. The View here functions as a kind of application controller and controls the processes within the tool.

The three components (MVC) are described in the Gridding Tool as follows:

Model:

Data management and control of data access (to the ArcGIS objects); no strict separation from the View, since in principle within an ArcMap session access to the databases of the Gridding Tool is possible (via standard ArcGIS functions);

View:

ArcMap session with the embedded Gridding Tool; here both, the review and transfer of user input take place, as well as event handling / forwarding the tool window-related events by accessing the appropriate classes respectively their methods in the controller. There, the further processing and application of the program logic are carried out. The event handling by the tool is solely based on the tool window; all other event handlers are within ArcMap internally and will not be intercepted.

Controller:

The functional core of the Gridding Tool; here the program logic is implemented by responding to events from the View and the Model's data being processed and modified accordingly.

As a result, a very extensive separation of user interface and functional part is achieved. All classes of the tool are organized into namespaces. Here, there was a focus on the defined use cases, i.e. a grouping by function / usage. Each namespace is filed in a separate directory.

The data management of the Gridding Tool is based on the ArcGIS data format "file geodatabase". A file geodatabase is a collection of geographic and non-geographic datasets and is stored in a folder in the file system.

The filing of all input data used by the tool (tables or layers) is carried out on three levels:

- ▶ 1st level: generally valid data (e.g. layer of administrative boundaries)
- ▶ 2nd level: data that are valid only for a particular reference year (e.g. emissions)
- ▶ 3rd level: data of which contents can be changed by the user (e.g. distribution parameter)

Access to the data is basically carried out also in this staggered way. If a table or a feature layer is needed for displaying / editing, the search is carried out initially in the current user database (level 3). If the data does not exist there, then search will be executed on level 2 (reference year) and finally on level 1 (global). All result data produced are stored always in the current user database in the results section

For the development of the Gridding Tool, 2010 was established as the reference year. There is a filled database for this reference year. This contains all the data (differentiated by NFR sectors) needed for the spatial distribution of national emissions. For each NFR sector, distribution parameters which had been determined in advance from a diverse range of input data set, were preconfigured and their use is recommended as standard assignment. These values can be changed by users of the Gridding Tool.

In addition, import tools are available for relevant input data, which may change for different reference years, e.g. for importing national emissions or PRTR emissions.

Various sample calculations were performed with the Gridding Tool. Amongst others, NO_x emissions of all NFR sectors (with PRTR emissions and under consideration of TREMOD data according to the energy balance principle) were distributed spatially and gridded within a 5 km x 5 km grid (see Figure 8).

Evaluation

To evaluate the Gridding Tool, emissions calculated with the Gridding Tool have been compared with emissions from other data sources.

Comparisons of the grid emissions were performed with the following data sets.

- ▶ PAREST emissions Germany (1 km x 1km - raster)
- ▶ MACC III emissions Germany (1/8 ° x 1 / 16th ° - raster)
- ▶ PRTR emissions Germany from diffuse sources (3 km x 3 km - raster)
- ▶ emissions from selected small-scaled emission inventories (different raster sizes)

Comparisons were carried out for selected pollutants and source groups and have always been done in the same manner. The grid size of national emissions with the Gridding Tool was set identical to the comparative data sets. Then the accumulated emission totals for selected pollutants and areas have been compared to the other data sets. In addition, histograms of the differences in emissions per grid element were created and correlation between the raster data ("pattern matching") determined. The direct comparison of gridded emissions finally took place in the form of a differential plot. Possible reasons for striking differences in the spatial distributions were analyzed.

In summary, it was found that emission gridding data sets, produced with the Gridding Tool, basically show a quite similar spatial distribution structure as comparative data sets. When comparing data sets, specified differences originate from the use of different distribution parameters and geometric data sets.

Figure 8: spatial distribution of NO_x emissions Germany, all NFR sectors, reference year 2010 (with consideration of PRTR emissions and of TREMOD data (energy balance principle))

