

Fachinformationssystem IMMIKART-GIS für die flächen- deckende Immissionsabschätzung im Freistaat Sachsen – Modul IMMIKART – Außerortstraßen*

THOMAS BECKER, LUTZ MAERKER, ANTJE MOLDENHAUER, HELMUT LORENTZ,
ACHIM LOHMEYER & UWE WOLF, Dresden

Keywords: GIS, spatial informatics, dispersion modeling, report on ambient air quality, air quality assessment and management

Zusammenfassung: Es wird die Erstellung des Moduls IMMIKART-Außerortstraßen als Teilmodul des Fachinformationssystems IMMIKART-GIS beschrieben. Das Modul verbessert für Sachsen die Abschätzung von Schadstoffimmissionen an Hauptverkehrsstraßen außerhalb von Ortschaften und Kreuzungsbereichen. Grundlage sind die Luftqualitätsdaten aus dem Landesmessnetz sowie die Emissionsdaten aus dem dynamischen Emissionskataster Sachsen für den Verkehr. Als Ausbreitungsmodell wird das Verfahren nach MLuS 02 verwendet, die jahresmittlere Windgeschwindigkeit wird abhängig von der Geländehöhe und -rauigkeit angesetzt. Die Implementierung dieses Verfahrens in das Fachinformationssystem IMMIKART-GIS stellt dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) ein leistungsfähiges Werkzeug zur Verfügung, um die Bevölkerung über die Immissionsituation in Sachsen zu unterrichten und die Unterlagen für die Erfüllung der Berichtspflicht an die EU entsprechend Direktive 96/62/EC zu erarbeiten.

Summary: *IMMIKART-GIS is a program system for the estimation of the ambient air quality for the whole State of Saxony.* The implementation of a module to especially improve the estimation of the concentrations in the vicinity of roads outside of city centres and away from intersections is described. Basis are the data at the ambient air quality monitoring stations and the emission data, provided by the dynamic emission inventory for the State of Saxony. The dispersion modelling is based on the algorithm, described in MluS 02, the wind speed is provided as a function of the terrain height and its aerodynamic roughness. The system is used by the State of Saxony Agency for Environment and Geology (LfUG) to fulfil its obligation to inform the inhabitants of Saxony about the air pollutant concentrations and to work out the basis for the reports to the EU concerning ambient air quality according to Directive 96/62/EC.

* Das Programmsystem IMMIKART-GIS ist ein Fachinformationssystem zur Visualisierung und Modellierung von Schadstoffkonzentrationen, welches als Fachschale in das Geographische Informationssystem ArcGIS implementiert ist. Die Zugehörigkeit zu ArcGIS wird mit der Abkürzung „GIS“ im Programmnamen verdeutlicht.

1 Einleitung

Seit 1999 wird von der Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG im Auftrag des Sächsischen Landesamts für Umwelt und Geologie (LfUG) das Fachinformationssystem „IMMIKART-GIS“ entwickelt, welches Auskunft über die Luftschadstoffsituation in Sachsen gibt. Die Notwendigkeit zur Erstellung eines solchen Systems ergibt sich aus der Informationspflicht der Länder ge-

genüber der EU (EG-RL 96/62/EG) sowie gegenüber der Öffentlichkeit.

IMMIKART-GIS ist unter der Software ArcGIS™ der Firma ESRI™ ansteuerbar. Die Kompatibilität auch zu anderen GIS-Systemen ist durch die Datenhaltung im Geo-Format „Shape“ von ESRI, welches von den meisten GIS-Systemen verarbeitet werden kann, gegeben.

Das o.g. Fachinformationssystem soll Aussagen zur Luftschadstoffbelastung für Gebiete ermöglichen, in denen keine Messdaten erhoben werden. Es ist modular aufgebaut und beinhaltet unter anderem Verfahren zur Übertragung von punktuellen Messdaten auf die Fläche (Module IMMIKART Teil 1 und 2).

Im Dezember 2003 wurde das Modul IMMIKART-Außerortstraßen integriert, welches die Berechnung der Schadstoffbelastung an Außerortstraßen in Sachsen ermöglicht. Dieses Modul wird im Folgenden vorgestellt.

2 Emissionen

Den wichtigsten Eingangsdatensatz für die Immissionsbestimmung an den sächsischen Außerortsstraßen stellt eine Shape-Datei dar, die aus dem „Dynamisierten Emissionskataster für Sachsen“ für den Verkehr generiert wird. Zu diesem Zweck wurde von der TU Dresden ein entsprechender Exportfilter erstellt (TU Dresden 2003). Die Daten aus o.g. Emissionskataster enthalten zurzeit nur die auspuffbedingten Emissionen. Zusätzlich dazu treten noch nichtauspuffbedingte Emissionen auf. Diese entstehen infolge Abrieb¹ und Aufwirbelung² bzgl. PM₁₀ bzw. infolge Reifenabrieb bzgl. Ruß. Zur Ermittlung dieser Anteile kommen zum jetzigen Zeitpunkt die Verfahren von LOHMEYER & DÜRING (2001) für PM₁₀ und RAU-

TERBERG-WULFF (1998 und 1999) für Ruß zur Anwendung. Derzeit läuft ein Forschungsprojekt, das Möglichkeiten zur Integration nicht auspuffbedingter Partikelemissionen in das o. a. Emissionskataster untersucht.

3 Ausbreitungsmodell

Als Ausbreitungsmodell wird im Rahmen des Moduls IMMIKART-Außerortstraßen das Verfahren entsprechend dem Merkblatt MLuS 02 [„Merkblatt über Luftverunreinigungen an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung“, (FGSV 2002)] genutzt. Mit dem Merkblatt wird das Ziel verfolgt, die Abschätzung der Immissionsbelastungen an unbebauten oder höchstens locker bebauten Straßenabschnitten, also überwiegend an Außerortstraßen, zu ermöglichen, die außerhalb von engen Talbereichen liegen. In MLuS 02 ist ein parametrisiertes Konversionsmodell integriert, welches die Umwandlung des primär emittierten NO zu NO₂ beschreibt. So erfolgt die NO₂-Berechnung über einen exponentiellen Ansatz mit unterschiedlichen Koeffizienten für Mittelwert und Perzentil (Gleichung 1). Der NO-Wert berechnet sich dann aus der Differenz zwischen NO_x und NO₂ (Gleichung 2). Die Ergebnisse aus beiden Formeln werden in mg/m³ angegeben. Weiterhin sind im Folgenden die Gleichungen für inerte Schadstoffe aufgezeigt (Gleichungen 3 bis 5).

$$K_{(NO_2)} = B1 \cdot K_{(NO_2)}^{B2} \cdot e^{(B3 \cdot K_{(NO_2)})} \quad (1)$$

$$K_{(NO)} = K_{(NO_x)} - K_{(NO_2)} \quad (2)$$

$$K_i(s) = k_n \cdot e \cdot g(s) + f_u \quad (3)$$

$$g(s) = 1 - 0,166 \ln(1 + s) \quad (4)$$

$$f_u = 2,3/u \quad (5)$$

¹ Abrieb: Partikelablösungen, die infolge Reibung entstehen. Man unterscheidet u. a. Straßen-, Kuppelungs- und Bremsbelagsabrieb.
² Aufwirbelung: Mechanisches Hochwirbeln von auf der Straße liegenden Staubpartikeln durch vorbeifahrende Fahrzeuge.

$K_i(s)$ [mg/m³] = Konzentration des inerten Schadstoffes

k_n [h/m²] = bodennahe Konzentration, normiert mit dabei vorliegenden längenspezifischen

e_i [mg/m ³ *h]	= Emissionen der Straße = Längenspezifische Emission der Straße für Schadstoff i
$g(s)$	= Ausbreitungsfunktion der Schadstoffe
s [m]	= Abstand vom Fahrbahnrand
f_u [m/s]	= Funktion zur Berücksichtigung der Windgeschwindigkeiten
u [m/s]	= Mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe
B_1, B_2, B_3 [μg/m ³]	= Konstanten für die Berechnung der Konversion entsprechend MLuS 02

Das Modell MLuS 02 ist nur bei lockerer Bebauung des Straßenrandes und DTV > 5000 Kfz/24h einsetzbar. Aus diesem Grund werden Hauptverkehrsstraßen (Bundesstraßen und Autobahnen) lediglich außerhalb von Ortschaften betrachtet. Weitere Einsatzbeschränkungen des Modells (z. B. starke topographische Gliederung des Geländes sowie Dämme oder Einschnitte ≥ 15 m) werden hier vernachlässigt. Aus diesem Grund sind die Ergebnisse nicht im gleichen Maße belastbar wie spezielle gutachterliche Aussagen aus Einzeluntersuchungen.

Das Ausbreitungsmodell MLuS 02 ist entsprechend o.g. Gleichungen 1–5 für Einzelstrecken anwendbar. Im Programm MLuS 02 sind aber auch ein Kreuzungsmodul sowie ein Modul zur Berücksichtigung der besonderen Immissionsverhältnisse an Tunneln und Lärmschutzeinrichtungen integriert. Diese zusätzlichen Programmteile wurden nicht in das Modul IMMIKART-Außerortstraßen übernommen. Folglich sind damit nur Abschätzungen für freie Strecken (außerhalb von Kreuzungsbereichen) unter Vernachlässigung von Tunnellef-

ekten und Immissionsminderung infolge Lärmschutzeinrichtungen möglich.

4 Abschätzung der mittleren Windgeschwindigkeit

Die meteorologischen Verhältnisse gehen bei dem verwendeten Ausbreitungsmodell MLuS 02 entsprechend Gleichung 5 über die bodennahe mittlere Windgeschwindigkeit (in 10 m über Grund) in die Ausbreitungsrechnung ein. Dieser Parameter ist jedoch u.a. abhängig vom Oberflächenrelief und der Landnutzung und somit nicht in ganz Sachsen einheitlich.

Ein bedeutender Parameter bezüglich der bodennahen Windgeschwindigkeit ist die Höhe des betrachteten Gebietes über NHN. Allgemein nimmt die mittlere Windgeschwindigkeit bei sonst unveränderten Bedingungen mit der Höhe über NN zu. Um diesen Zusammenhang näher zu untersuchen, wurden sächsische Windmesswerte verschiedener Stationen (überwiegend DWD-Stationen) in Abhängigkeit von ihren jeweiligen Höhenlagen betrachtet.

Hierbei konnte obige Aussage bestätigt werden. Der aus den Messdaten abgeleitete Zusammenhang zwischen Höhe über NN und mittlerer Windgeschwindigkeit ist in Gleichung 6 dargestellt und wurde in den vorliegenden Untersuchungen so angewendet (BECKER 2004).

$$v_w = 2,3016 + 0,00545 \cdot h \quad (6)$$

$$v_w$$
 [m/s] = Windgeschwindigkeit

$$h$$
 [m] = Höhe über NN

Die Berechnungen für die mittleren Windgeschwindigkeiten wurden in Abstufungen von je 100 m durchgeführt, wobei der Bereich von 100 bis 1300 m über NN abgedeckt wurde. Die Ergebnisse bestätigen Größenordnungsmäßig die Aussagen von FLEMING (2001), der für Sachsen eine durchschnittliche Zunahme der mittleren Windgeschwindigkeit um ca. 0,3 m/s je 100 m angibt.

Gleichung 6 gilt für Bereiche, die überwiegend durch Freiland geprägt sind. Innerhalb von Wäldern sind die mittleren Windgeschwindigkeiten im Vergleich zum Freiland deutlich herabgesetzt, und außerdem ist MLuS 02 dort streng genommen nicht anwendbar. Um trotzdem abschätzende Aussagen auch für Wald- und Forstgebiete treffen zu können, wurde die Windgeschwindigkeit in überwiegend von Wald geprägten Bereichen um die Hälfte reduziert. Dies erfolgte entsprechend den Ausführungen in PLATE (1982) (Gleichung 7).

$$v_1 = v_0 \left(\frac{h_1}{h_0} \right)^c \quad (7)$$

v_1 [m/s] = zu berechnende Windgeschwindigkeit in der Höhe h_1 [m]

v_0 [m/s] = bekannte Windgeschwindigkeit in der Höhe h_0 [m]

c = von der Bodenrauigkeit abhängige Konstante

Dabei wurde für den Exponenten c ein Wert von 0,12 für Freiland und 0,4 für Wald eingesetzt. Aus den Ergebnissen dieser Berechnungen lässt sich ein Faktor von ca. 0,5 zwischen der Windgeschwindigkeit im Wald und der Windgeschwindigkeit über Freiland in 10 m Höhe über Grund ableiten (BECKER 2004).

Die oben aufgeführten Formeln ermöglichen die Berechnung der mittleren Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Höhe über NN, und zwar differenziert nach Bereichen mit überwiegend Freiland und Bereichen mit überwiegend Wald. Die vertikale Differenzierung der mittleren Windgeschwindigkeiten erfolgte rasterfein mit einer Rasterauflösung analog zu dem ebenfalls mit dem Fachinformationssystem IMMİKART-GIS (Modell IMMİKART Teil 1 und Teil 2) berechneten Immissionsrasterkarten (2,5 km × 2,5 km).

5 Umsetzung im Fachinformationssystem IMMİKART-GIS

Das hier vorgestellte Modul berechnet die Immissionsbelastungen an den sächsischen

Außerortstraßen außerhalb von Kreuzungsbereichen in zwei Schritten, sowohl für die Jahresmittel- als auch die 98-Perzentilwerte der Schadstoffkomponenten NO₂, PM₁₀, Benzol und Ruß.

Die Grundlage zur Berechnung der verkehrsbedingten Zusatzbelastung (Schritt 1) bildet die aus dem Emissionskataster generierte Shape-Datei, die bezüglich PM₁₀ und Ruß um die Anteile Aufwirbelung/Abrieb bzw. Reifenabrieb ergänzt wird, sowie das Merkblatt MLuS 02, auf dessen Basis die Belastungen bis in 200 m Entfernung zur Trasse ermittelt werden können (siehe Gleichungen 1 bis 5).

Schritt zwei beinhaltet die Verschneidung des betrachteten Straßennetzes mit den vom Modul IMMİKART Teil 2 berechneten Immissionsrasterkarten, bei der der in ArcGIS™ eingebundene „Geoprocessor“ zum Einsatz kommt. Die Ermittlung der Gesamtbelastung an den einzelnen Straßenabschnitten ergibt sich aus einer Überlagerung der Rasterwerte der sachsenweiten Immissionsrasterkarten mit der entsprechend oben beschriebenen Verfahren berechneten verkehrsbedingten Zusatzbelastung.

6 Ergebnisse

Die Erweiterung des Programmsystems IMMİKART-GIS um das Modul IMMİKART-Außerortstraßen ermöglicht die Berechnung und Darstellung der Immissionsbelastungen an den sächsischen Außerortstraßen außerhalb von Kreuzungsbereichen durch die Umsetzung des in MLuS 02 beschriebenen Algorithmus. Das Ergebnis der Berechnungen sind konservative Abschätzungen der Gesamtbelastungen an den o.g. Straßen. Konservativ ist diese Abschätzung, da in den flächendeckenden Rasterimmissionsdaten, die als Vorbelastung verwendet werden, bereits die Emissionen der betrachteten Straßen enthalten sind. Da die Rasterauflösung der Immissionskarten jedoch 2,5 km x 2,5 km beträgt, wird in den Immissionskarten der Beitrag einzelner Straßen auf eine große Fläche (6,25 km²) verteilt, sodass das Vorgehen im Sinne einer konservativen Abschätzung vertretbar erscheint.

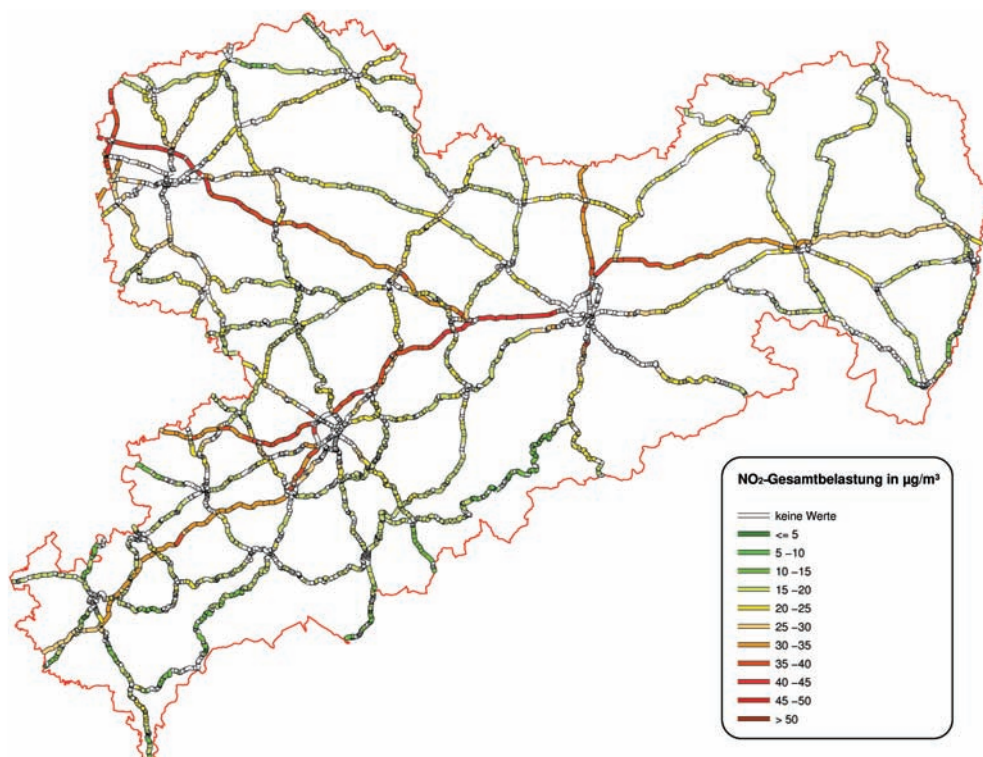


Abb. 1: Darstellung der NO₂-Belastungen (Jahresmittel) 2001 in Sachsen in einem Abstand von 25 m vom entsprechenden Straßenabschnitt.

Das erfolgreich in das Fachinformationssystem IMMIKART-GIS implementierte Modul IMMIKART-Außerortstraßen kam bereits für die Berechnungen der Immissionsbelastungen an Außerortstraßen in Sachsen zur Anwendung. In Abb. 1 ist als Beispiel die NO₂-Belastung (Jahresmittel) in einem Abstand von 25 m zur jeweiligen Trasse für 2001 dargestellt. Hierbei sind alle betrachteten Abschnitte (jeweils außerhalb von Kreuzungsbereichen und außerhalb von Städten) durch unterschiedliche Farben entsprechend der berechneten NO₂-Konzentrationen hervorgehoben.

Weitere Ergebnisse finden sich im Sächsischen Immissionsjahresbericht 2002 (LfUG 2003). Aktuelle Werte sind im Internet unter folgender Adresse abrufbar: http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/luft-laerm-klima_212.html

7 Ausblick

Das Fachinformationssystem IMMIKART-GIS befindet sich weiterhin im Ausbau. Vor Kurzem wurde das Modul IMMIKART-Ballungsräume (Berechnung von Luftschadstoffkonzentrationen an innerstädtischen Straßennetzen u.a. unter Berücksichtigung der Randbebauung) fertig gestellt. Dieses Modul soll dem Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie als Werkzeug zur Luftreinhalteplanung zunächst für die Ballungsräume Leipzig und Dresden dienen.

8 Danksagung

Die hier vorgelegte Veröffentlichung entstand auf der Grundlage von Ergebnissen der Diplomarbeit von Dipl.-Geogr. THOMAS BECKER an der TU Dresden, die er in Zu-

sammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG erstellte. Die Autoren danken den beiden Betreuern dieser Diplomarbeit, Prof. ARNO KLEBER, Institut für Geographie der TU Dresden, und Dr. INGO DÜRING, Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG, die stets Zeit für Fragen, Diskussionen und konstruktive Kritik aufbringen konnten.

9 Literaturverzeichnis

- BECKER, TH., 2004: Interpolationsverfahren für die Übertragung umweltmeteorologischer Parameter auf die Fläche – Überblick über verfügbare Systeme, Sensitivitätsstudie und Anwendungsprogrammierung für das System IMMİKART-GIS in ArcGIS. – Diplomarbeit TU Dresden, Institut für Physische Geographie/Regionale Geographie Mitteleuropas.
- FGSV, 2002: MLuS-2002, Teil: Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung – Ausgabe 2002. – 21 S., FGSV Verlag, Köln.
- FLEMMING, G., 2001: Angewandte Klimatologie von Sachsen – Basis- und Zustandsklima im Überblick. – Tharandter Klimaprotokolle Band 4, 154 S., TU Dresden, Institut für Hydrologie und Meteorologie.
- LfUG, 2003: Materialien zur Luftreinhaltung 2002, Jahresbericht zur Immissions-situation 2002. – 91 S., Hrsg. Freistaat Sachsen, Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden.
- LOHMEYER, A. & DÜRING, I., 2001: Validierung von PM₁₀-Immissionsberechnungen im Nahbereich von Straßen und Quantifizierung der Feinstaubbildung von Straßen. – 80 S., Auftraggeber: Senatsverwaltung für Stadtentwicklung Berlin und Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie. Juni 2001, Radebeul.
- PLATE, E. J., 1982: Engineering meteorology – Kapitel 13: Wind tunnel modelling of wind effects in engineering. – S. 573–639, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.
- RAUTERBERG-WULFF, A., 1998: Beitrag des Reifen- und Bremsenabriebs zur Rußemission an Straßen. – 188 S., Fortschrittsberichte des VDI, Reihe 15: Umwelttechnik Nr. 202. VDI Verlag, Düsseldorf.
- RAUTERBERG-WULFF, A., 1999: Determination of Emission Factors for Tire Wear Particles up to 10 µm by Tunnel Measurements. – Paper presented at 8th International Symposium Transport and Air Pollution, Graz, Österreich 31. Mai – 2. Juni 1999.
- TU Dresden, 2003: Erweiterung des Programmsystems Verkehrsdatenbank-Modul 1: Entwicklung einer Schnittstelle zur Datenübertragung ausgewählter Ergebnisse des Emissionskatasters an IMMİKART zur weiterführenden Immissionsberechnung. Projekt-Nr.: 160104/81, Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr/Verkehrsökologie.

Anschrift der Autoren:
Dipl.-Geogr. THOMAS BECKER
Dr. rer. nat. LUTZ MAERKER

Institut für Geographie, TU Dresden
Helmholtzstraße 10, D-01069 Dresden
Tel.: 0351-4633-6272
Fax: 0351-4633-7064, e-mail:
Thomas.Becker2@mailbox.tu-dresden.de
Lutz.Maerker@mailbox.tu-dresden.de

Dipl.-Met. ANTJE MOLDENHAUER
Dipl.-Ing. HELMUT LORENTZ
Dr.-Ing. ACHIM LOHMEYER
Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG
Mohrenstraße 14, D-01445 Radebeul
Tel.: 0351-839-1412 und 0351-839-1418 und 0351-839-1414
Fax: 0351-839-1459, e-mail:
Antje.Moldenhauer@lohmeyer.de
Helmut.Lorentz@lohmeyer.de
Achim.Lohmeyer@lohmeyer.de

Dipl.-Math. UWE WOLF
Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Projektgruppe Immissions- und Klimaschutz
Zur Wetterwarte 11, D-01109 Dresden
Tel.: 0351-8312-649, Fax: 0351-8312-652 e-mail:
Uwe.Wolf@lfug.smul.sachsen.de

Beitrag eingereicht: Oktober 2004
Angenommen: November 2004