

Fortschreibung RLuS

FA 2.375

Forschungsstellen: BSV Büro für Stadt- und Verkehrsplanung
Dr.-Ing. Reinhold Baier GmbH

Institut für Verbrennungskraftmaschinen
und Thermodynamik (IVT) der TU Graz,
(Prof. Dr. R. Almbauer)

IVU Umwelt GmbH, Freiburg

Bearbeiter: Baier, M. M. / Diegmann, V. / Pfäfflin,
F. / Tautz, F. / Wursthorn, H. / Uhr-
ner, U.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digi-
tale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: August 2022

1 Einführung und Aufgabenstellung

Die "Richtlinien zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung" (RLuS) dienen den zuständigen Behörden der Straßenbauverwaltung in Planfeststellungsverfahren zur Abschätzung der zu erwartenden Luftschadstoffbelastung. Darüber hinaus werden die RLuS bei bestimmten Fragestellungen der Maßnahmenplanung an schon bestehenden Verkehrswegen eingesetzt. Die RLuS müssen daher immer auf möglichst aktuellem Stand bezüglich der Grundlagendaten und eingesetzten methodischen Ansätze sein. Die vorletzte Veröffentlichung der RLuS erfolgte mit der Ausgabe 2012 und entspricht in wichtigen Teilen nicht mehr dem aktuellen Wissensstand.

Mit dem hier dokumentierten Projekt "Fortschreibung RLuS" (FE 02.375/2014/IRB) wurden über einen Zeitraum von fünf Jahren hinweg die folgenden Aktualisierungen und Erweiterungen in die RLuS eingearbeitet:

- Neucodierung der programmtechnischen Umsetzung der RLuS,
- Aktualisierung des Emissionsmoduls auf jeweils aktuelle Versionen des Handbuchs für Emissionsfaktoren (HBEFA),
- Überprüfung der Emissionsfaktoren für B[a]P,
- Aktualisierung des Tunnelmoduls,
- Integration eines Kreisverkehrsmoduls und
- Aktualisierung der Vorbelastungen aus Datenbanken für flächenhafte Berechnungen.

2 Aktualisierung des Emissionsmoduls

2.1 Aktualisierung der Benzo[a]pyren-Emissionsfaktoren

Für Benzo[a]pyren (B[a]P) ist in der 39. BImSchV ein Zielwert als Marker für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) definiert. Im HBEFA sind weder für B[a]P noch für PAK insgesamt Emissionsfaktoren angegeben, obgleich der Kfz-Verkehr dafür eine Quelle darstellt. Der Ansatz zur Bestimmung der B[a]P-Emissionen der bisherigen RLuS entspricht dem von der European Environment Agency (EEA) im "EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook" veröffentlichten Ansatz. In der aktuellen Ausgabe dieses Guidebooks aus dem Jahr 2019 ist dieser unverändert. Da im Rahmen einer Literaturstudie und durch Expertenbefragungen keine neueren Ansätze zur Bestimmung der B[a]P-Emissionen identifiziert werden konnten, können die bisherigen B[a]P-Emissionsfaktoren bis auf Weiteres die Grundlage für die RLuS bleiben.

2.2 Anpassung des Emissionsmoduls

Die Grundlage der Modellierung Kfz-bedingter Emissionen in Deutschland ist seit vielen Jahren das Handbuch für Emissionsfaktoren, das seit 2019 in der gegenwärtig aktuellen Version 4.1 vorliegt. Die bisherigen RLuS 2012 in der Ausgabe von 2012 basieren auf der Version 3.1 des HBEFA aus dem Jahr 2010. Im Rahmen dieses Projekts wurden zunächst Aktualisierungen auf die HBEFA-Versionen 3.2 aus dem Jahr 2014 und 3.3 aus dem Jahr 2017 durchgeführt, die jedoch nie als RLuS-Versionen veröffentlicht wurden.

Die im Folgenden skizzierte Anpassung des Emissionsmoduls auf die gegenwärtig aktuelle Version 4.1 des HBEFA ist in den "Richtlinien zur Ermittlung der Luftqualität an Straßen ohne oder mit lockerer Randbebauung – RLuS 2012, Fassung 2020" umgesetzt, die mit dem Allgemeinen Rundschreiben 3/2021 des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur am 11. Januar 2021 eingeführt wurden.

Die Änderungen im HBEFA von Version 3.1 über 3.2 und 3.3 und insbesondere zur gegenwärtig aktuellen Version 4.1 sind vielfältig und beinhalten insbesondere Aktualisierungen aller Emissionsfaktoren für den betriebswarmen Zustand. Für die Anpassungen der RLuS auf das HBEFA 4.1 wurden aus diesem die Basisemissionsfaktoren und die Fahrzeugflotten für die Bezugsjahre 2005 bis 2040 extrahiert und zur Nutzung in den RLuS aufbereitet und entsprechend aggregiert.

Die nicht motorbedingten Partikelemissionen, die durch Straßen-, Kupplungs- und Bremsbelagabrieb, Aufwirbelung von auf der Straße aufliegendem Staub etc. hervorgerufen werden, sind in der aktuellen Version 4.1 im HBEFA enthalten und wurden aus diesem übernommen. Sie entsprechen weitgehend den Ansätzen in den bisherigen RLuS, weisen jedoch Differenzie-

rungen der PM₁₀-Emissionsfaktoren hinsichtlich der Verkehrssituationen auf. Dies führt teilweise zu anderen Zahlenwerten, die für schlechtere Verkehrsqualitätsstufen (ab LOS 3 beim Leichtverkehr und insbesondere ab LOS 2 beim Schwerverkehr für zulässige Höchstgeschwindigkeiten ≤ 70 km/h) höher sind als in den bisherigen RLuS.

Grundsätzlich hat sich mit dem HBEFA 4.1 an der Konzeption des "Level of Service" (LOS) und seiner Ermittlung beziehungsweise Verwendung nichts geändert. Allerdings wurde mit Einführung des HBEFA 4.1 die bisherige Verkehrsqualitätsstufe LOS 4 ("Stop & Go") differenziert, in dem ihr mit LOS 5 ("Heavy Stop & Go") eine weitere Stufe mit noch schlechterer Verkehrsqualität an die Seite gestellt wurde. Zur Berücksichtigung des neuen LOS 5 in den RLuS wird das Verfahren entsprechend der Hinweise im HBEFA Development Report verwendet und aus dem bisherigen LOS 4 ein Teil der Fahrleistung auf LOS 5 verschoben.

Im Zuge der Aktualisierung des Emissionsmoduls wurden auch die intern in den RLuS hinterlegten Anteile leichter Nutzfahrzeuge am Verkehr sowie die Aufteilung des Schwerverkehrs in schwere Nutzfahrzeuge, Linienbusse und Reisebusse auf Basis der TREMOD-Version 6.03 aktualisiert.

Gegenüber den bisherigen RLuS auf Basis des HBEFA 3.1 hat sich durch die Aktualisierungen die Emissionssituation zum Teil drastisch geändert. Die Veränderungen folgen dabei keinem einheitlichen Muster und variieren zwischen den Jahren, zwischen den Schadstoffen und zwischen den Kfz-Arten. Dabei sind die Änderungen sowohl absolut als auch relativ bei den NO_x/NO₂-Emissionen besonders relevant. Bei den PM-Abgasemissionen gibt es ebenfalls relevante relative Änderungen, allerdings bewegen sich diese Emissionen durchgehend auf einem deutlich geringeren Niveau. Ohnehin werden die PM-Emissionen des Straßenverkehrs bei modernen Fahrzeugen durch die nicht-motorbedingten Emissionen dominiert. Da diese im HBEFA 4.1 weitgehend den bisher in den RLuS angesetzten ähneln, sind die Auswirkungen der Änderungen der Emissionen in den neuen RLuS für die PM-Konzentrationen in den meisten Fällen deutlich weniger ausgeprägt als bei NO_x/NO₂.

3 Aktualisierung Tunnelmodul

Das Tunnelmodul der bisherigen RLuS basiert auf Erkenntnissen und Daten mit Stand vor 1999 und wurde in Form eines Formelwerks umgesetzt. Aufgrund von Fortschritten in der Modellierung der Strömungsverhältnisse und der Ausbreitung stehen inzwischen validierte operationelle Modelle für Immissionsberechnungen im Umfeld von Tunnelportalen zu Verfügung. Für die hier vorgenommene Aktualisierung des Tunnelmoduls kam das Modellsystem "GRAMM/GRAL" zum Einsatz.

Da es sich bei den RLuS um ein Screening-Modell handelt, wurde darauf Wert gelegt, eine typische, jedoch einfache Portal-Geometrie und -topografie abzubilden, die eine gerade Tunnelein- und -ausfahrt in einer Tieflage von 6 m mit Rampe auf-

weist. Mit dem Modell wurden für insgesamt zwölf verschiedene Parameterkombinationen der Windgeschwindigkeit sowie der Tunnelabluftgeschwindigkeit Strömungs- und Konzentrationsfelder mit 2 m Horizontalauflösung für diese Geometrie berechnet. Die Windrichtungen wurden entsprechend dem sonstigen Vorgehen in den RLuS als gleichverteilt angesetzt.

Diese Konzentrationsfelder wurden als Bibliothek von tunnelbedingten Basiskonzentrationen in die RLuS übernommen. Mit dieser Bibliothek kann für vorgegebene Windgeschwindigkeit, Tunnelabluftgeschwindigkeit und Portalemission die Immissionszusatzbelastung für einen vorgegebenen Aufpunkt berechnet werden. Die Tunnelabluftgeschwindigkeit und die Portalemissionen ergeben sich dabei aus Parametern wie Verkehrsstärke, Schwerverkehrsanteil und Fahrgeschwindigkeit sowie der Anzahl der Fahrstreifen und der Geometrie des Portals.

In diesem Rahmen wurden auch die Strömungswiderstandskoeffizienten und Querschnittsflächen der Pkw und der schweren Nutzfahrzeuge, die ebenfalls für die Ermittlung der Tunnelabluftgeschwindigkeit erforderlich sind, aktualisiert.

Die mit dem neuen Tunnelmodul berechneten tunnelbedingten Konzentrationen wurden systematisch mit denen des bisherigen sowie mit für den Vergleich geeigneten verfügbaren Messwerten und Detailmodellierungen verglichen. Der neue Ansatz liefert eine gute Übereinstimmung mit Messwerten und eine deutlich realitätsnähere Abbildung der Immissionssituation als der bisherige.

Der Vergleich mit Messwerten zeigt dabei, dass der Ansatz der RLuS, mit gleichverteilten Windrichtungen zu rechnen, nicht grundsätzlich als konservativ angesehen werden kann. Dementsprechend wird in Abstimmung mit dem FGSV-Arbeitskreis 2.12.3 "RLuS" und dem forschungsbegleitenden Ausschuss zum Projekt empfohlen, für die RLuS als Screeningmodell einen Sicherheitszuschlag für den Konzentrationsbeitrag des Tunnels zu integrieren, um im Sinne eines Screenings weitgehend konservative Ergebnisse zu erhalten.

4 Integration eines Kreisverkehrsmoduls

In der aktuellen Entwurfspraxis werden im Außerortsbereich verstärkt Kreisverkehre geplant und gebaut. Diese lassen sich mit den bisherigen RLuS jedoch hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Luftqualität nicht bewerten. Deshalb wurden die RLuS um ein Modul zur Abschätzung der Wirkung von Kreisverkehren auf die Luftschadstoffbelastung erweitert.

Dazu wurden zunächst in einem zweistufigen Prozess drei repräsentative Kreisverkehre identifiziert, an denen dann umfangreiche Mitfahrten durchgeführt wurden. Auf Basis der so erhobenen Fahrprofile wurden, entsprechend der Methodik des HBEFA 4.1, mit dem Modell PHEM der TU Graz Emissionsfaktoren für die verschiedenen Teilabschnitte Zufahrt, Kreisfahrt und Ausfahrt von Kreisverkehren mit unterschiedlichen zulässigen Höchstgeschwindigkeiten ermittelt. Dabei wurden insbesondere

re auch die variablen Fahrdynamiken auf diesen Teilabschnitten mit Ausroll- und Bremsvorgängen sowie möglichen Stop-&-Go-Situationen in der Zufahrt und variablen Beschleunigungsregimes in der Ausfahrt differenziert berücksichtigt.

Beispielhafte Vergleiche zeigen, dass in staufreien Zufahrten deutlich geringere spezifische Kraftstoffverbräuche und Emissionen entstehen als gemäß HBEFA bei freier Fahrt auf einer durchschnittlichen Außerortsstraße. Hingegen sind durch die Beschleunigung in der Kreisfahrt und insbesondere bei der Ausfahrt dort die Emissionen zum Teil um ein Mehrfaches gegenüber einer durchschnittlichen Außerortsstraße erhöht.

Zur immissionsseitigen Bewertung von Kreisverkehren wurde auf Basis eines Ausbreitungsmodells eine räumlich differenzierte Bibliothek von Zuschlägen auf die Standardkonzentrationen einer RLuS-Straße erstellt. Entsprechend der Auswertungen aus den Mitfahrten wurden die Zu- und Abfahrten dabei jeweils in mehrere Segmente unterteilt, denen je nach Stau beziehungsweise Beschleunigungssituation unterschiedliche Emissionen zugeordnet sind.

Zur Nutzung des Moduls wurde das RLuS-Berechnungsprogramm erweitert und eine Oberfläche bereitgestellt, mit der im Rahmen der RLuS zwei-, drei- und vierarmige Kreisverkehre mit 90°- beziehungsweise 120°-Versatz der Arme immissionsseitig bewertet werden können.

Ein Vergleich im Sinne eines methodisch abgesicherten Variantenvergleichs zwischen einer Kreuzung und einem Kreisverkehr ist in den RLuS damit allerdings nicht möglich, da das Kreisverkehrsmodul methodisch deutlich aufwendiger ist und auch die Fahrdynamik berücksichtigt, während das RLuS-Kreuzungsmodul nur planfreie Kreuzungen ohne Brems- und Beschleunigungsvorgänge abbilden kann.

5 Aktualisierung der Vorbelastung

Die Vorbelastung hat bei Planungsvorhaben, wie sie beispielsweise mit den RLuS beurteilt werden sollen, einen relevanten Einfluss auf die Ermittlung der Gesamtkonzentration von Luftschadstoffen. Die Vorbelastungswerte einzelner Luftschadstoffkomponenten können dabei eine hohe räumliche Variation aufweisen. Aufgrund des Anwendungsbereichs der RLuS für Planungen sind für die sachgerechte Anwendung auch Prognosen von Anhaltswerten der Vorbelastung erforderlich. Zudem soll es mit den RLuS möglich sein, auch Situationen in vergangenen Jahren zu berechnen, sodass auch die Bereitstellung von Anhaltswerten der Vorbelastung für vergangene Jahre erforderlich ist.

Zur Ermittlung dieser Anhaltswerte der Vorbelastung wurde ein neuer Ansatz entwickelt, der auf flächendeckenden deutschlandweiten Messdaten und Modellwerten zur Luftschadstoffbelastung beruht, wie sie vom Umweltbundesamt (UBA) ermittelt beziehungsweise veröffentlicht werden. Als Bezugsgebiete für die räumliche Differenzierung wurden die Gemeinden gewählt und so eine hohe räumliche Differenzierung erreicht, die dem

Anwendungsbereich der RLuS entspricht. Das Basisjahr für die Ermittlung der Anhaltswerte der Vorbelastung ist das Jahr 2015. Die Prognosen und die Werte für zurückliegende Jahre wurden anhand von Basisdaten in 5-Jahres-Schritten ermittelt und für die dazwischen liegenden Jahre jeweils linear interpoliert.

Um die Anhaltswerte der Vorbelastung neu zu ermitteln, wurden zwei Ansätze verfolgt. Für die Schadstoffe NO_x, NO₂, PM10, PM2.5 und Ozon, für die differenzierte Grundlagendaten vorliegen, wurden räumlich differenzierte Anhaltswerte der Vorbelastung für das Basisjahr 2015 auf Basis von Modellrechnungen ermittelt. Zur Ermittlung der Anhaltswerte der Vorbelastung für die vorangegangenen Jahre wurden für jede Gemeinde in Deutschland für jeden der fünf Schadstoffe NO_x, NO₂, PM10, PM2.5 und Ozon auf 2015 bezogene differenzierte Änderungsfaktoren der Vorbelastung für 2010 und 2005 zur Verwendung in den RLuS ermittelt.

Für die vier Schadstoffe SO₂, Benzol, CO und B[a]P liegen keine Modelldaten in der Detaillierung wie für die anderen fünf Schadstoffe vor. Für eine Aktualisierung der Vorbelastungswerte für diese Schadstoffe wurden daher entsprechende Messdaten für den Zeitraum 2010 bis 2019 ausgewertet.

Als Grundlage für die Prognosen der Anhaltswerte für die Vorbelastung von NO_x, NO₂, Ozon, PM10 und PM2.5 wurden Modelldaten aus dem "Nationalen Luftreinhalteprogramm der Bundesrepublik Deutschland" verwendet. Da es über das Jahr 2030 hinaus keine weiteren belastbaren Prognosen der Entwicklung der nationalen Schadstoffbelastung gibt, wird vorgeschlagen, in den RLuS die Prognosewerte für 2030 unverändert bis 2040 anzusetzen. Für die Schadstoffe SO₂, Benzol, CO und B[a]P liegen keine entsprechenden deutschlandweiten Prognoseberechnungen vor. Für diese Schadstoffe wird auf Basis der Analyse von Messdaten vorgeschlagen, die Anhaltswerte der Vorbelastung für Jahre nach 2015 auf den jeweiligen Wert von 2015 zu setzen.

Mit der in diesem Projekt neu entwickelten Methodik zur Bestimmung von Anhaltswerten der Vorbelastung werden dem Anwender insbesondere hinsichtlich der regionalen Einordnung belastbarere Werte an die Hand gegeben. Die Prüfung, ob diese Anhaltswerte im konkreten Fall für die regionale Belastung sachgerecht sind und insbesondere auch die Berücksichtigung etwaiger lokaler Einflüsse, obliegt auch mit diesem neuen Ansatz dem Anwender.

