

Vergleich verschiedener Modellierungsprogramme zur Berechnung von Immissionen von Luftschadstoffen

FA 2.305

Forschungsstellen: AVISO Aachener Verkehrs-Ingenieur-Sozietät GmbH, Aachen

Ingenieurbüro Rau, Heilbronn

Bearbeiter: Niederau, A. / Schneider, C. / Pelzer, M. / Turhan, S. / Rau, M. / Hüftle, F.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn

Abschluss: März 2015

1 Einleitung

Neben großräumig wirkenden Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität, die häufig einen Eingriff in das Verkehrsgeschehen bedeuten (zum Beispiel Lkw-Verbot, Umweltzone), wird als eine indirekt, eher lokal wirkende Maßnahme, die nicht in das Verkehrsgeschehen eingreift, die Umwandlung von NO_2 durch eine photokatalytische Reaktion an TiO_2 -dotierten Oberflächen diskutiert (zum Beispiel durch Beschichtung von geeigneten straßennahen Oberflächen oder durch Verwendung von TiO_2 -versetztem Beton in Bauwerken).

Aufgabe des hier beschriebenen Projekts war es, die Pilotstudie zur Untersuchung des NO_2 -Reduktionspotenzials der TiO_2 -dotierten Lärmschutzwände an der A 1 mit Modellrechnungen zu begleiten. Dazu wurde im Rahmen eines Modellvergleichs aus mehreren Modelltypen ein geeignetes Modell ausgewählt, mit dem Konzentrationen (NO_x , NO_2) im Nahbereich der Lärmschutzwände möglichst realistisch berechnet werden können. Dieses Modell wurde dann die Basis eines Online-Monitoring-Systems, das eine zeitnahe Visualisierung der Messdaten und Berechnung von Modelldaten erlaubt.

2 Untersuchung

2.1 Projektkonzeption

Im Rahmen dieses Projekts wurden zunächst drei Modelle, die sich einerseits hinsichtlich der Modellphysik unterscheiden und andererseits in der Lage sind, die photokatalytische Wirkung der TiO_2 -beschichteten Lärmschutzwand (LSW) geeignet abzubilden, ausgewählt und in den Vergleich und die Validierung aufgenommen.

Da die zu Projektbeginn zur Verfügung stehende Standardversion des weitverbreiteten mikroskaligen Modells MISCAM diese Möglichkeit noch nicht bietet, konnte dieses Modell nicht in die Auswahl aufgenommen werden. Es wurde aber zusätzlich als Referenzmodell im Rahmen dieses Projekts eingesetzt.

Es wurden die Modelle PRISMA (prognostisches Windfeldmodell, Euler'sches Ausbreitungsmodell), LASAT (diagnostisches Windfeldmodell, Lagrange'sches Ausbreitungsmodell) und Fluent (CFD-Modell) ausgewählt. Ein wesentlicher Unterschied dieser drei Modelltypen liegt vor allem in den unterschiedlichen Möglichkeiten der räumlichen Auflösung der Lärmschutzwand,

der kleinräumigen Topografie und der genauen Lage der Messstellen, die einen Einfluss auf die zu berechnenden Konzentrationen haben können.

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden die folgenden Arbeitsschritte durchgeführt:

- Detaillierte Aufnahme der realen Situation an den beiden Messquerschnitten an der A 1-Teststrecke
- Ermittlung der Verkehrsbelastung im Bereich der Messquerschnitte
- Darauf aufbauend die Ermittlung der Emissionsbelastungen in stundenfeiner Auflösung
- Die Prüfung und Aufbereitung der Immissionsmessdaten, zum einen als Vergleichsbasis für den Vergleich mit Berechnungen, zum anderen zur Ableitung eventueller Effekte durch die Beschichtung mit TiO_2 , die zur Bewertung der entsprechenden Wirkungen in den Modellrechnungen benötigt wurden
- Ermittlung der geeigneten Hintergrundbelastung für die Ermittlung der Gesamtbelastung im Zuge des Vergleichs der Messungen mit Berechnungen
- Ermittlung der Depositionsgeschwindigkeiten auf Basis von Ergebnissen aus Laboruntersuchungen für die Modellrechnungen
- Immissionsberechnungen mit den drei ausgewählten Modellen sowie Vergleich mit Messdaten ohne und mit Wirkung einer Depositionsgeschwindigkeit
- Auswahl des geeigneten Modells und die Ermittlung von Transmissionskoeffizienten für das Online-Monitoring-System
- Entwicklung und Bereitstellung des Online-Monitoring-Systems.

2.2 Teststrecke

Die Teststrecke an der A 1 (vgl. Bild 1) befindet sich ca. 7 km nordnordwestlich des Stadtzentrums Osnabrück im Bereich des Osnabrücker Ortsteils Pye (südlich der A 1) und der Gemeinde Wallenhorst im Norden. Die Teststrecke hat eine Länge von ca. 2 km. Sie verläuft geradlinig von WSW nach ONO (die Straßenachse ist etwa 70° im Uhrzeigersinn gegen Nord gedreht). Im nördlichen Teil der Teststrecke sind die beidseitigen Lärmschutzwände im Herbst 2011 mit einer TiO_2 -Suspension beschichtet worden. Messungen an verschiedenen Standorten an der Teststrecke sind von Sommer 2011 bis September 2014 durchgeführt worden.

Für das hier vorliegende Projekt standen validierte Messdaten für die zwei Jahre 2012 und 2013 zur Verfügung.

2.3 Verkehrsdaten

Die Güte der Modell-Berechnungsergebnisse hängt wesentlich von der Güte der verwendeten Eingangsdaten ab. Dies sind neben den meteorologischen Daten insbesondere die verkehrsbedingten Emissionen, die entlang des Autobahnstreckenabschnitts freigesetzt werden. Wesentliche Datenbasis stellen hier die Verkehrsdaten dar.

Ausgangspunkt zur Ermittlung der Zeitreihen der stündlichen Verkehrsstärken 2012 und 2013 für die Teststrecke stellten die Zeitreihen der stündlichen Verkehrsstärken der Dauerzählstelle Holdorf für 2012 und 2013 dar, differenziert nach Fahrzeugarten. Zusätzlich wurden Daten der Online-Verkehrszählrichtung für das 4. Quartal 2013 berücksichtigt. Weitere Daten zur Verteilung der Verkehrsstärken von zwei Fahrstreifen auf die drei Fahrstreifen wurden in Anlehnung an die Verteilung an den zwei ausgewählten dreistreifigen Querschnitten abgeleitet.

Im Jahr 2013 lag die jahresmittlere durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke bei 64 400 Kfz/24 h, der Anteil des Schwerverkehrs bei 20 %.

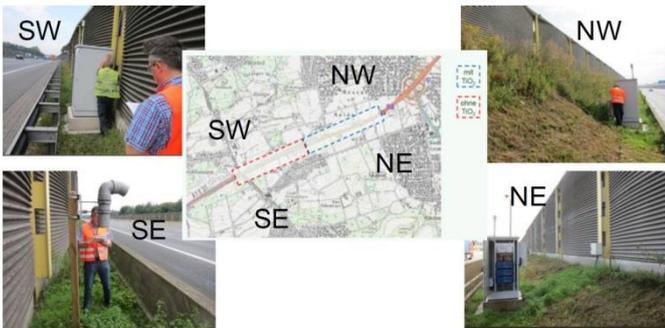


Bild 1: Standorte der vier kontinuierlichen Messstationen an der Teststrecke A 1 mit der im Rahmen dieses Projekts verwendeten Bezeichnung

2.4 Emissionen

Als Eingangsdaten für die Vergleiche zwischen Modellrechnungen und Messungen werden Daten zu stündlichen Emissionen pro Fahrstreifen benötigt. Diese Daten wurden auf Basis der stündlichen Verkehrsdaten berechnet.

Die Ergebnisse der Emissionsberechnungen zeigen, dass die schweren Nutzfahrzeuge einen Anteil von 44 % an den NO_x-Emissionen und von 22 % an den NO₂-Emissionen haben.

Bezüglich der Verteilung auf die Fahrstreifen zeigt sich, dass in beiden Fahrrichtungen auf den beiden rechten Fahrstreifen der Anteil an den gesamten Emissionen jeweils bei ca. 30 % für NO_x und 23 % für NO₂ liegt.

2.5 Messdaten

Ein weiterer wesentlicher Arbeitsschritt im Rahmen dieses Projekts war die Analyse und Auswertung der Immissionsmessungen innerhalb der Lärmschutzwände, und zwar sowohl der kontinuierlichen Aktivmessungen als auch der Passivsammlermessungen. Zum einen wurden die Messungen für die Modellvalidierung benötigt. Zum anderen wurde versucht, aus den gemessenen Daten gegebenenfalls einen NO_x-mindernden

Effekt durch die TiO₂-Beschichtung herauszuarbeiten. Dies war notwendig, um einen NO_x-mindernden Effekt, der sich bei den Modellrechnungen ergibt, bezüglich Plausibilität bewerten zu können.

Es wurden nur die Messzeiten für die Auswertungen berücksichtigt, für die an allen fünf Messstationen valide Werte zur Verfügung stehen.

Als Fazit der Auswertungen konnte tendenziell eine leichte NO_x-mindernde Wirkung der TiO₂-Beschichtung für die Ostseite abgeleitet werden. Für die Westseite sind keine Tendenzen einer Wirkung erkennbar.

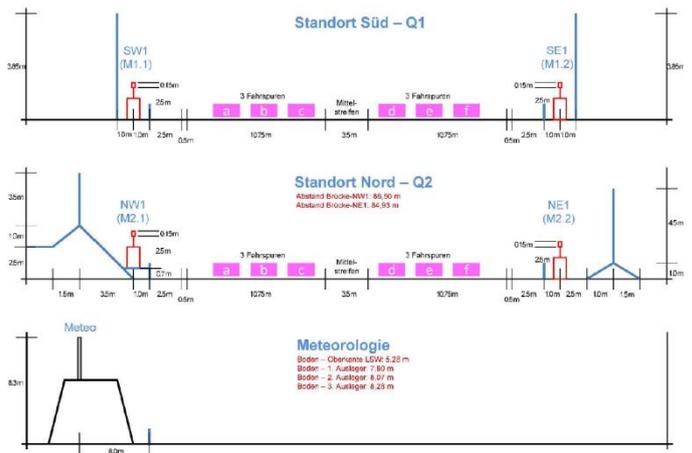


Bild 2: Darstellung der Messquerschnitte mit Lage der kontinuierlichen Messeinrichtungen

2.6 Modellvergleich

Es wurde sowohl ein Modellvergleich zwischen den Modellen durchgeführt als auch, zur Ermittlung der Güte der Modellrechnungen, ein Vergleich von Berechnungsergebnissen mit gemessenen Daten.

Für die zwei Modellquerschnitte (vgl. Bild 2) wurden mit den drei ausgewählten Modellen, die die Wirkung der beschichteten LSW berücksichtigen können, und dem Referenzmodell folgende Berechnungen für die beiden (idealisierten) Querschnitte Q1 und Q2 durchgeführt:

- Zwei Anströmrichtungen, und zwar jeweils senkrecht zur Straßenachse, entsprechend den Anströmrichtungen in der Natur aus SSO (160°) sowie NNW (340°)
- Eine Referenzwindgeschwindigkeit
- Ohne beziehungsweise mit drei charakteristischen Depositionsgeschwindigkeiten v_d (abgeleitet aus Laboruntersuchungen)
- Separate Berechnung der Immissionsbeiträge für die Emissionen jedes einzelnen Fahrstreifens

2.6.1 Vergleich Modellrechnungen ohne v_d

Der Vergleich der Berechnungsergebnisse der vier Modelle zeigt, dass die Immissionskonzentrationen an den Monitorpunkten stark durch die Strömungsstrukturen, die wiederum von der

Querschnittsgeometrie abhängen, geprägt sind (vgl. Bild 3). Das Konzentrationsniveau der jeweils in der Nachlaufzone in Lee der LSW liegenden Monitorpunkte hängt stark von den Dimensionen des sich ausbildenden Nachlaufwirbels ab. Das zeigt sich in den Strömungs- und Konzentrationsfeldern. Je länger der Nachlaufwirbel mit einem Modell abgebildet wird, desto mehr Emission wird in den Bereich des jeweilig leeseitigen Monitorpunktes an der luvseitigen LSW transportiert.

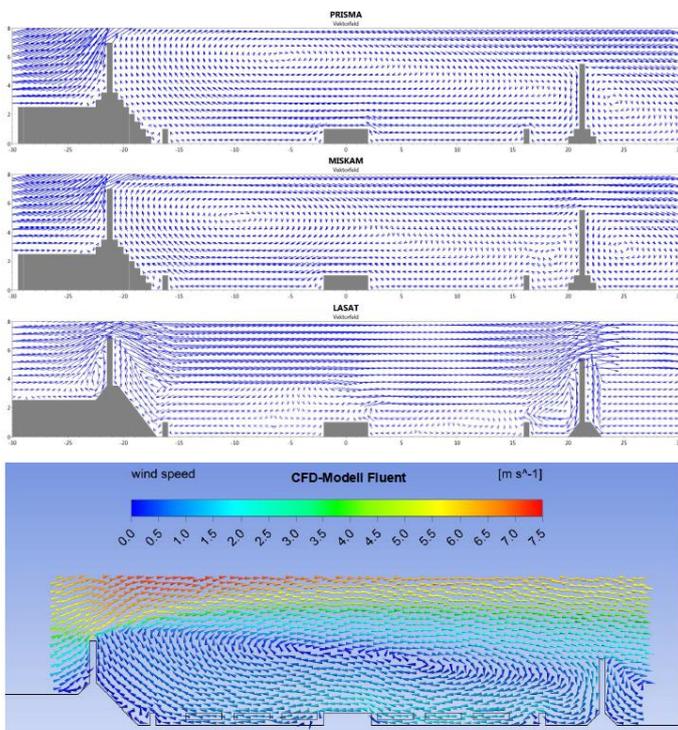


Bild 3: Strömungsfeld senkrecht zur LSW an Querschnitt Q2 bei Anströmung von links (340°). Ergebnisse der Modelle PRISMA, MISKAM, LASAT und CFD-Fluent.

Das von den einzelnen Modellen aufgrund der Unterschiede der Modellphysik unterschiedlich berechnete Geschwindigkeitsniveau aber auch die Turbulenz in der Nachlaufzone sowie der turbulente Diffusionskoeffizient prägen darüber hinaus das Immissionsniveau, das mit den einzelnen Modellen berechnet wird. Die Modelle zeigen dabei teilweise deutliche Unterschiede.

2.6.2 Vergleich mit Aktivmessungen

Um die Güte der Modellrechnungen bewerten zu können, wurde ein Vergleich von gemessenen mit berechneten Immissionskonzentrationen durchgeführt.

Die Analyse zwischen den Ergebnissen der Modellrechnungen und den Immissionsmessungen an den Monitorpunkten zeigt Differenzen, die mehrere Ursachen haben können. Die wichtigsten davon sind die Genauigkeit der berechneten Emissionen, die Genauigkeit der Windmessung, der Einfluss der Querschnittsgeometrien und deren Umsetzung in den Modellen, der Einfluss der verkehrserzeugten Turbulenz und die Güte der Messdaten der Konzentrationen.

Ein Vergleich der mittleren Konzentrationen für verschiedene Zeiträume zeigt für das letztendlich für das Online-Monitoring-

System ausgewählte Modell PRISMA maximale Differenzen zwischen Messwerten und Modellwerten < 30 % und kann damit als sehr gut bezeichnet werden.

2.6.3 Vergleich Modellrechnungen mit v_d

Mit den drei für den Vergleich ausgewählten Modellen wurden zusätzlich Berechnungen durchgeführt, bei denen charakteristische Depositionsgeschwindigkeiten zur Parametrisierung der NO_x -mindernden Wirkung der TiO_2 -Beschichtung an der LSW berücksichtigt wurden. Dabei wurden aus den vorliegenden Laboruntersuchungen ein Maximal-, ein Minimal- und ein Durchschnittswert für die Depositionsgeschwindigkeiten für die Modellberechnungen verwendet.

Für den Maximalwert der Depositionsgeschwindigkeit (1,4 cm/s) ergaben sich Minderungen der Konzentrationen im Vergleich zu den Berechnungen ohne Berücksichtigung von v_d zwischen 0,3 bis zu 4,3 %. Eine Systematik für die Höhe der berechneten NO_x -Minderung zwischen den Modellen, aber auch für die unterschiedlichen Querschnitte, ist dabei nicht zu erkennen.

Es ist aber festzustellen, dass die Lage der Monitorpunkte zu den LSW eine entscheidende Rolle spielt, um einen Minderungseffekt quantifizieren zu können. Mit zunehmender Entfernung der Monitorpunkte von einer beschichteten Wand nimmt die nachweisbare Deposition ab.

Um einen belastbareren Vergleich bezüglich der NO_x -Minderungswirkung aufgrund der TiO_2 -Beschichtung an den LSW zwischen den einzelnen Modellen zu haben, wurde zusätzlich eine Gesamtmassenbilanz erstellt. Hierzu wurde am leeseitigen Modellrand die Gesamtmasse für die Fälle mit unterschiedlicher Depositionsgeschwindigkeit bestimmt und mit dem Fall ohne Depositionsgeschwindigkeit verglichen. Aus dieser Gesamtbetrachtung ergibt sich der Prozentanteil, durch den insgesamt die emittierte NO_x -Menge durch die Wirkung der LSW reduziert wird. Bei einer niedrigen Depositionsgeschwindigkeit von 0,2 cm/s berechnen alle drei Modelle eine NO_x -Gesamtminderung von deutlich weniger als 1 %. Bei einer hohen Depositionsgeschwindigkeit von 1,4 cm/s prognostizieren die Modelle eine Gesamtwirkung bei senkrechter Anströmung von maximal 3,6 %.

2.7 Online-Monitoring-System

Ziel des Online-Monitoring-Systems ist es, stündliche Daten der Online-Monitoring-Messstationen zeitnah zu übernehmen, darzustellen und ergänzend Emissionen und die Immissions-Zusatzbelastung/-Gesamtbelastung für NO_2 für die vier Messstationen zu berechnen.

Für die Realisierung des Online-Monitoring-Systems wurde entschieden, dass die Immissionsberechnungen innerhalb des Online-Monitoring-Systems auf der Basis einer vorab erstellten Transmissionskoeffizienten-Datenbank (das heißt einer Datenbank mit vorab berechneten (und normierten) Konzentrationsfeldern) erfolgen sollen.

Wesentliche Systemmodule des Online-Monitoring-Systems sind:

- Auswahl des Betrachtungszeitraums
- Schnittstelle zum Einlesen von aktuellen Daten beziehungsweise Vorhalten einer Datenbank mit historischen Daten
- Berechnung stündlicher Emissionen und Immissionen (NO_x , NO_2) für die vier Monitorpunkte
- Darstellung und Ausgabe der Ergebnisse

3 Ausblick

Im Laufe des durchgeführten Forschungsprojekts haben sich einige Fragestellungen ergeben, deren weitergehende Analyse für zukünftige Aufgabenstellungen von Interesse sein kann. Dies betrifft zum einen eine umfassende und realistischere Bestimmung von NO_x -Depositionsgeschwindigkeiten, die zur Parametrisierung der NO_x -mindernden Wirkung der TiO_2 -beschichteten Wand eingesetzt wird. Zum anderen gehören dazu auch detaillierte Analysen einzelner Detailspekte der Modelle.

Letztendlich können auch die Möglichkeiten zum Einsatz des Online-Monitoring-Systems erweitert werden.