

Sehr geehrte Damen und Herren,

das Jahr geht mit schnellen Schritten seinem Ende entgegen und klimatologisch gesehen war 2014 ein Jahr der Extreme. Nach einer Statistik des Deutschen Wetterdienstes waren bis auf den August alle Monate des Jahres zu warm.

Die Projekte, über die wir Ihnen heute in unserer Hauszeitung berichten, können zwar auch im übertragenen Sinne nicht unbedingt als „extrem“ bezeichnet werden, jedoch heben sie sich durchaus von der Vielzahl der Projekte und Gutachten ab, die wir in 2014 für Sie durchführen und erstellen durften.

Die rechnerische Modellierung der Schadstoffimmission gehört zu unserem Kerngeschäft. So sind wir immer wieder dankbar, wenn Messdaten zur Verfügung stehen, um unsere Simulationsergebnisse mit diesen vergleichen und unsere Modellauswahl auf solche Vergleiche stützen zu können. Über einen solchen Vergleich der Immissionssituation in dichter Bebauung berichten wir in unserem ersten Beitrag

auf Seite 2.

Wie ist der optimale Fluchtweg aus U-Bahnstationen im Brandfall oder bei einer möglichen Kontamination mit Gefahrstoffen? Diese Fragestellung war u.a. Gegenstand des Programms „Forschung für die zivile Sicherheit“ im Rahmen der High-Tech-Strategie der Bundesregierung im Bereich „Schutz von Verkehrsinfrastrukturen“. Über die Einbindung von Online-Strömungs- und Ausbreitungssimulationen in dynamische Fluchtweglenkungssysteme für die Selbstrettungsphase aus U-Bahnstationen berichten wir auf Seite 3.

Auch bei Bauarbeiten in Tunneln ist der Immissionsschutz gefragt. Die i.A. dieselbetriebenen Baumaschinen und Fahrzeuge emittieren Schadstoffe und für die Einhaltung vorgeschriebener Luftqualitätsstandards muss eine ausreichende Belüftung sichergestellt sein. Mit optimierten Bewetterungskonzepten lassen sich die Kosten für die Bewetterungstechnik senken. Hierzu



geben wir auf Seite 4 weitere Informationen.

Ich hoffe, Ihr Interesse zum Lesen der Beiträge geweckt zu haben.

Zusammen mit allen Mitarbeitern der Büros in Karlsruhe und in Radebeul wünsche ich Ihnen frohe Weihnachten und ein gesundes Neues Jahr 2015.

*JLw
A. Lohmeyer*

AKTUELLES IN KÜRZE

Mitteilungen:

- Die von der Bundesanstalt für Straßenwesen und der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen gemeinsam initiierte Kolloquiumsreihe „Luftqualität an Straßen“ bietet ein Forum zur Darstellung von aktuellen Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der Luftqualität an Verkehrswegen sowie von verkehrlichen Maßnahmen im Zuge von Luftreinhalteplanungen. Die nächste Veranstaltung findet am 4. und 5. März 2015 in Bergisch Gladbach statt. Unser Büro ist mit mehreren Beiträgen vertreten. Weitere Informationen unter: http://www.fgsv.de/veranstaltungen_fgsv.html
- Der Fachausschuss Umweltmeteorologie (FA UMET) der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft (DMG) e.V. und der Deutsche Wetterdienst (DWD) laden zur Fachtagung METTOOLS IX ein, die vom 17. bis 19. März 2014 in der DWD-Zentrale in Offenbach am Main stattfindet. Themenkomplexe der METTOOLS IX sind Modellierung umweltmeteorologischer Größen, Monitoringprogramme und Messkampagnen für umweltmeteorologische Fragestellungen, Nutzungspotenzial fernerkundungsbasierter Daten für umweltmeteorologische Anwendungen, urbane und regionale Anpassung an den Klimawandel, Klimatologie und Luftreinhaltung für Städte und Gemeinden sowie Luft- und Lärmbelastung in Gegenwart und Zukunft. Weitere Informationen unter: <http://www.dmg-ev.de/fachausschuesse/umet/veranstaltungen.htm>

INHALT

Vergleich von Immissionssimulationen in dichter Bebauung mit Messwerten.....S. 2

Online Strömungs- und Ausbreitungssimulationen zur Gefahrenabwehr in U-Bahnhöfen.....S. 3

Bewetterungskonzepte für Baustellen in Tunneln.....S. 4

Ingenieurbüro Lohmeyer GmbH & Co. KG
 Aerodynamik, Klima, Immissionsschutz und Umweltsoftware
www.lohmeyer.de (Lohmeyer *aktuell* in Farbe)

Büro Karlsruhe:
 An der Roßweid 3, 76229 Karlsruhe
 Tel.: 0721 / 625 10 0
 Fax: 0721 / 625 10 30
 E-Mail: info.ka@lohmeyer.de

Büro Dresden:
 Mohrenstraße 14, 01445 Radebeul
 Tel.: 0351 / 839 14 0
 Fax: 0351 / 839 14 59
 E-Mail: info.dd@lohmeyer.de

VERGLEICH VON IMMISSIONSSIMULATIONEN IN DICHTER BEBAUUNG MIT MESSWERTEN

Verkehrsbedingte Immissionsberechnungen für die Luftreinhalteplanung zeigen an Straßen mit dichter Randbebauung oft gute Übereinstimmungen mit Messwerten an den Hauptverkehrsstraßen und dienen als Grundlage für flächenhafte Darstellungen (z.B. LUBW, 2010). Letztere weisen jedoch abseits des Straßenraumes der jeweiligen Hauptverkehrsstraße je nach angewendetem Modell deutliche Unterschiede auf.

MODELLVERGLEICH

Für Ausarbeitungen zur Landshuter Allee in München (Lohmeyer, 2012) an der Dauermessstelle des Lufthygienischen Landesüberwachungssystems Bayern (LÜB), an der ein NO_2 -Jahresmittelwert von $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2011 gemessen wurde, konnte das LfU Bayern auch Messwerte in abzweigenden Straßenräumen zur Verfügung stellen (LfU, 2012). Dies wurde zum Anlass genommen, mit den Modellen MISKAM (Version 5.02) und LASAT (Version 3.2 mit vorgeschaltetem zugehörigen diagnostischen Windfeldmodell) eine flächendeckende Modellierung im Bereich dieser Messstellen vorzunehmen und die berechneten Werte mit Messdaten zu vergleichen.

Aus den Verkehrsbelegungsdaten (DTV 140 000 Kfz/24h, Lkw-Anteil 6,8% auf 8 Fahrspuren) wurden unter Berücksichtigung der vom Umweltbundesamt zum Zeitpunkt der Modellierung aktuell veröffentlichten Emissionsfaktoren (HBEFA 3.1; UBA, 2010), von Messfahrten zur Bestimmung der Verkehrssituationen und der Flottenzusammensetzung von München die motorbedingten Emissionen für NO_x und $\text{NO}_{2,\text{direkt}}$ auf allen Straßenabschnitten berechnet (vgl. Lohmeyer, 2012).

Die horizontale Auflösung des Rechengitters betrug bei MISKAM im Zentrum des Untersuchungsgebietes im Bereich der Messstellen 2 m,

nach außen hin wurde sie vergrößert. Bei LASAT wurde mit einer horizontalen Maschenweite von 2,5 m gearbeitet.

Diese Abweichung in der Vorgehensweise beruht auf der technischen Notwendigkeit, die Auflösung so fein wie möglich und gleichzeitig das Rechengebiet so groß wie möglich zu machen, um die umliegenden Emissionen auf anderen Hauptverkehrsstraßen ausreichend zu berücksichtigen.

Die vertikale Auflösung wurde bei beiden Modellen bis in eine Höhe von 3 m mit 0,6 m festgelegt. Bis in 30 m Höhe nahm die vertikale Maschenweite bis auf 3 m zu. Darüber wurde bis zur Gesamthöhe von 500 m eine gröbere Auflösung gewählt.

Die Berechnung des NO_2 -Jahresmittelwertes berücksichtigt eine lokalrepräsentative Windverteilung (Station München Lothstraße, Messhöhe: 32 m über Grund, Hauptwindrichtung Südwest, Nebenmaximum bei östlichen Winden, mittlere Windgeschwindigkeit ca. 3 m/s) und eine aus Messungen im Stadtgebiet von München abgeleitete NO_2 -Hintergrundbelastung von $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (temporäre Messdaten an einer Hintergrundmessstation im Untersuchungsgebiet selbst lagen bei Durchführung der Berechnungen noch nicht vor).

Die fahrzeugerzeugte Turbulenz wurde bei der Modellierung mit MISKAM durch eine vertikale Anfangsverdünnung der Emissionen sowie durch die windgeschwindigkeitsabhängige Skalierung der Konzentration entsprechend Schädler et al. (1996) berücksichtigt. Bei LASAT wurde sie mit einer Parametrisierung nach Bäumer (2003) sowie Stern und Yamartino (2001) berücksichtigt. Für die Berechnung der NO - NO_2 -Umwandlung wird das vereinfachte Chemiemodell nach Düring et al. (2011) verwendet.

Die **Abb. 1** zeigt die Berechnungsergebnisse für die Modellierung mit MISKAM und LASAT jeweils im

Vergleich mit den Messungen. Die Umrisse der Gebäude sind grün dargestellt, die NO_2 -Gesamtbelastungen in verschiedenen Grautönen. Einen Überblick über den Vergleich mit Messdaten zeigt der Scatterplot in **Abb. 2**. In dem von der Hauptverkehrsstraße abgeschirmten Hinterhof der Landshuter Allee werden die NO_2 -Immissionen von beiden Modellen um etwa 25% überschätzt. Sowohl MISKAM als auch LASAT treffen den Messwert an der Dauermessstelle an der Landshuter Allee sehr gut (absolute Abweichungen kleiner oder gleich 6%). Für die MISKAM-Rechnung trifft dies mit wenigen Ausnahmen auch auf die Bereiche der Nebenstraßen zu. Die mittlere relative Abweichung von den Messdaten ist ohne Hinterhofstandort bei MISKAM kleiner als 10%.

Mit dem Modell LASAT wird die Schadstoffbelastung in allen Bereichen überschätzt. In den Nebenstraßen ist diese Überschätzung sehr deutlich und beträgt im Mittel fast 40% der Gesamtbelastung. So werden in den Nebenstraßen bei Entfernungen bis zu 150 m von der Landshuter Allee Grenzwertüberschreitungen prognostiziert, während MISKAM und die Messdaten in den Nebenstraßen nur bis in maximal 50 m Entfernung Grenzwertüberschreitungen aufweisen.

Fazit: Die mit dem prognostischen Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM berechneten Ergebnisse stimmen überwiegend sehr gut mit Messdaten überein. Mit LASAT, bei dem die Windfelder mit einem diagnostischen Strömungsmodell berechnet werden, wird vor allem in den Nebenstraßen eine deutliche Überschätzung der berechneten Belastungen prognostiziert. Im Bereich von Straßenschluchten mit einer Vielzahl von Gebäuden und komplexen gebäudebedingten Strömungsbeeinflussungen ist deshalb eine prognostische Modellierung der Gebäudeumströmungsverhältnisse zu bevorzugen.

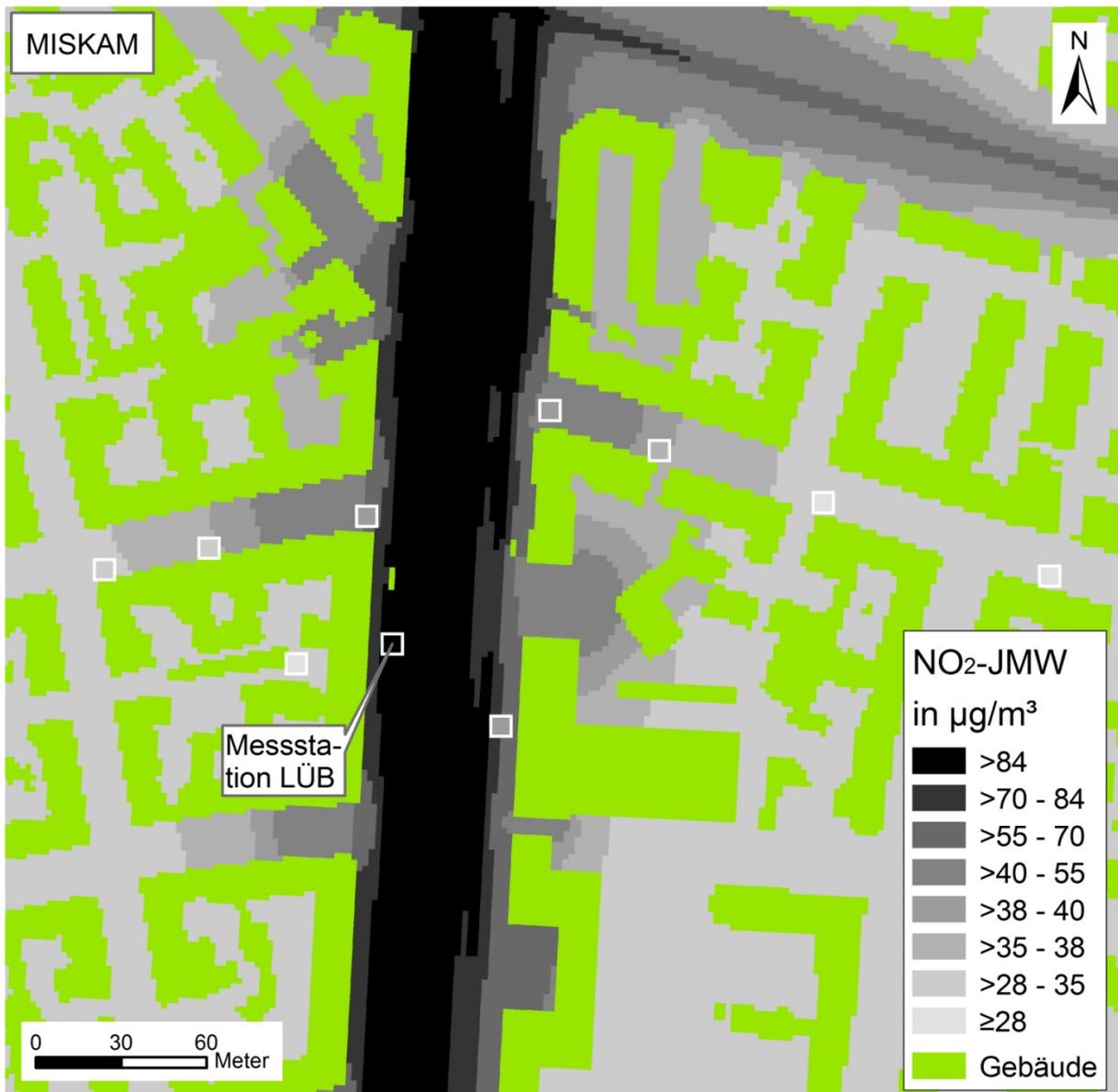


Abb. 1a: Mit dem Modell MISKAM berechneter NO₂-Jahresmittelwert im Bereich der Landshuter Allee in München im Vergleich zu den Messdaten (weiß umrandete Quadrate) im Untersuchungsgebiet

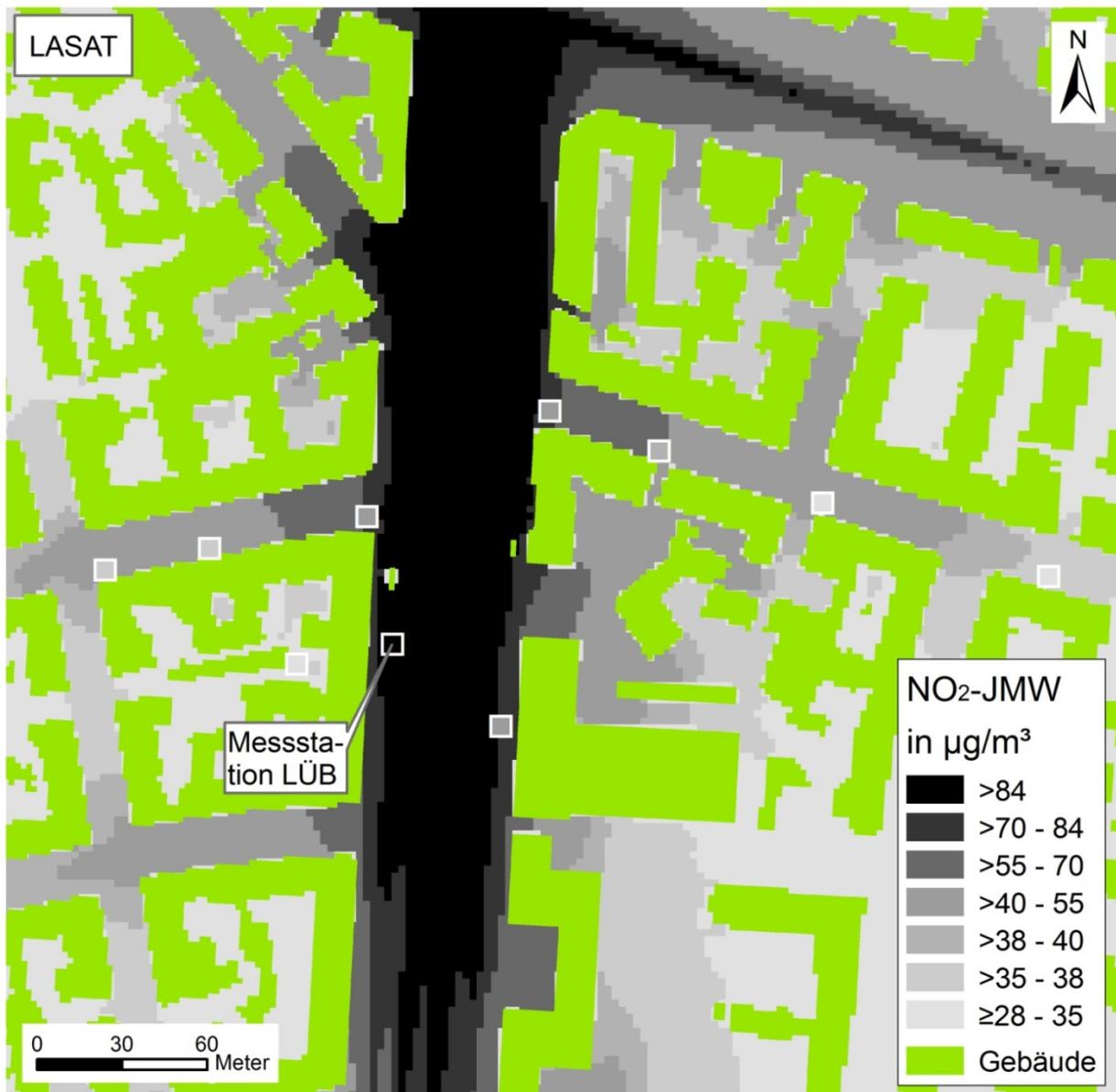


Abb. 1b: Mit dem Modell LASAT berechneter NO₂-Jahresmittelwert im Bereich der Landshuter Allee in München im Vergleich zu den Messdaten (weiß umrandete Quadrate) im Untersuchungsgebiet

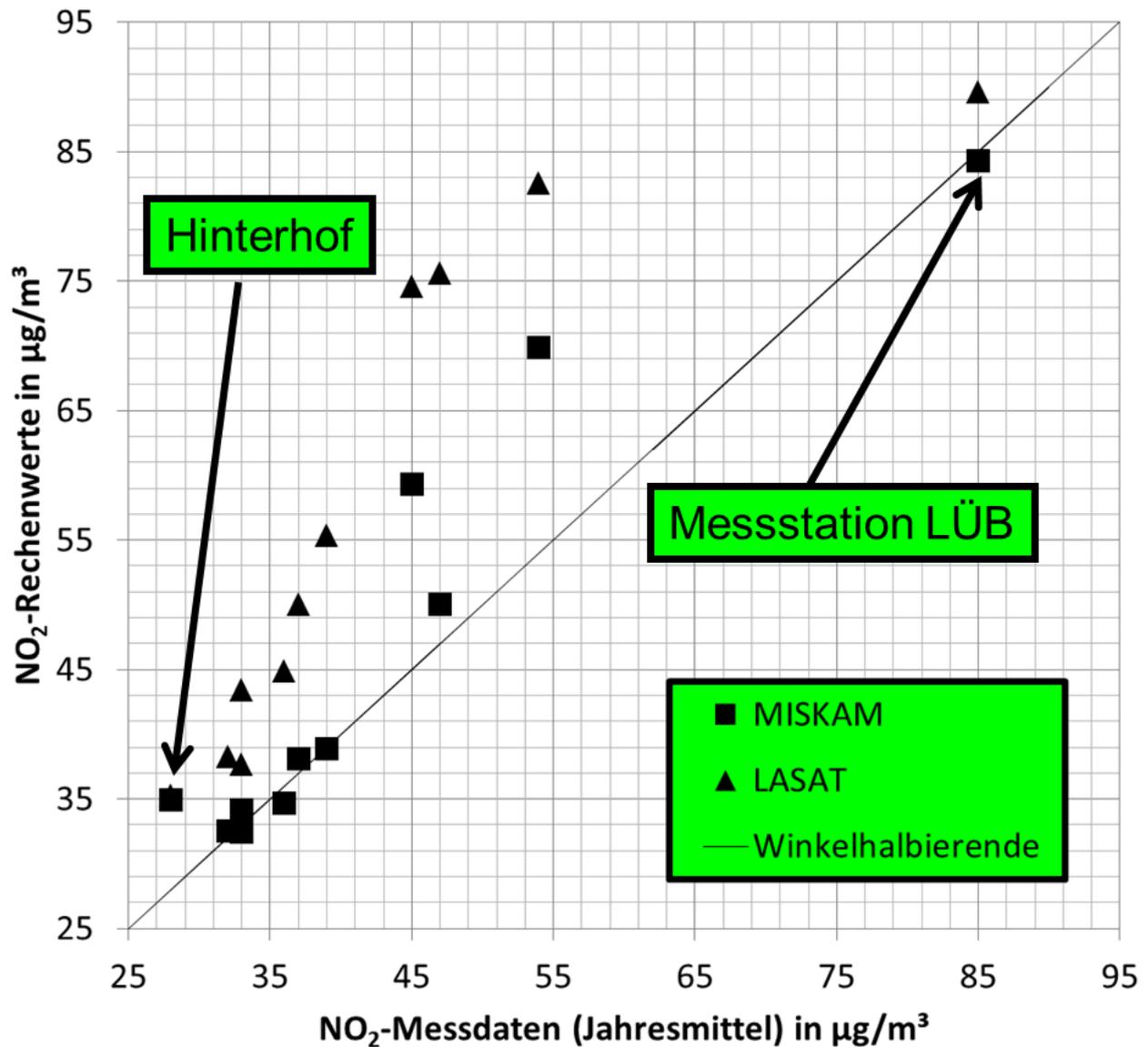


Abb. 2: Vergleich Messung-Rechnung für die Messdaten im Untersuchungsgebiet

Literatur:

Düring, I., Bächlin, W., Ketzler, M., Baum, A., Friedrich, U., Würzler, S. (2011): A new simplified NO/NO₂ conversion model under consideration of direct NO₂-emissions. Meteorologische Zeitschrift, Vol. 20, 67-73.

LfU (2012): NO_x-Projekt (LfU-Vorhaben TLK 01U-10540): Untersuchung der räumlichen Verteilung der NO₂-Belastung im Umfeld von vorhandenen, hoch belasteten Luftmessstationen (unveröffentlicht).

Lohmeyer (2012): Verkehrsbedingte Immissionen - Wirksamkeit eines Tempolimits auf einer Stadtautobahn in München. Im Auftrag Bayer. Landesamt für Umwelt Referat "Luftgütemessungen Südbayern Luftreinhalte beim Verkehr". (www.muenchen.de/rathaus/

dms/Home/Stadtverwaltung/Referat-fuer-Gesundheit-und-Umwelt/Dokumente/Luft_und_Strahlung/Luftreinhalteplan/5_Irp_anlage_3.pdf).

UBA (2010): Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs, Version 3.1, Januar 2010. Hrsg.: Umweltbundesamt Berlin.

LUBW (2010): Modellierung verkehrsbedingter Immissionen – Anforderungen an die Eingangsdaten – Grundlage HBEFA 3.1, Leitfaden. IVU Umwelt GmbH, Freiburg. Download unter: www.lubw.baden-wuerttemberg.de.

Schädler, G., Bächlin, W., Lohmeyer, A., van Wees, T. (1996): Vergleich und Bewertung derzeit verfügbarer mikroskaliger Strö-

mungs- und Ausbreitungsmodelle. In: Berichte Umweltforschung Baden-Württemberg (FZKA-PEF 138).

Bäumer, D. (2003): Transport und chemische Umwandlung von Luftschadstoffen im Nahbereich von Autobahnen – Numerische Simulationen. Wissenschaftliche Berichte des Instituts für Meteorologie und Klimaforschung der Universität Karlsruhe Nr. 32. Juni 2003.

Stern, R., Yamartino, R.J. (2001): Development and first evaluation of micro-calgrid: a 3-D, urban-canopy-scale photochemical model. Atmospheric Environment 35, 149-165.

Online-Strömungs- und Ausbreitungssimulationen zur Gefahrenabwehr in U-Bahnhöfen

In den Forschungsprojekten OrGaMIR und OrGaMIR^{PLUS} war das Ingenieurbüro Lohmeyer in die

FORSCHUNG

Konzeption von Online-Strömungs- und Ausbreitungssimulationen in komplexen U-Bahnstationen und in deren Realisierung und Durchführung für die Demonstrator-U-Bahnstation Berlin Alexanderplatz involviert. Ergebnisse von Online-Strömungs- und Ausbreitungssimulationen in komplexen U-Bahnstationen können in dynamische Fluchtweglenkungssysteme für die Selbstrettungsphase eingebunden werden. Bei derartigen Systemen wird der Fluchtweg aus U-Bahnstationen nicht statisch vorab festgelegt, sondern neben verschiedenen Faktoren auch in Abhängigkeit einer möglichen Kontamination mit Rauchgasen oder sonstigen Gefahrstoffen dynamisch berechnet.

Eine vollständige Simulation der dreidimensionalen Strömung in einer U-Bahnstation mit einer CFD-Software benötigt auf leistungsfähigen PCs je nach Komplexität Rechenzeiten von Stunden bis Tagen. Für den Einsatz in dynamischen Fluchtweglenkungssystemen sind derartige Simulationen somit nicht geeignet; in dem hier interessierenden Kontext wird eine Berechnungszeit in der Größenordnung von einer Minute erwartet.

Im Forschungsprojekt wurden verschiedene Methoden untersucht, um die für die Berechnung der dreidimensionalen Strömung in einer U-Bahnstation erforderliche Zeit zu reduzieren. Es konnte gezeigt werden, dass

- eine Zerlegung des U-Bahnhoofs in Teilräume,
 - eine dreidimensionale Online-Simulation der Strömung in den Teilräumen und
 - eine Kopplung der Teilräume mit einem Widerstandsnetzmodell
- auch bei komplexen U-Bahnstationen gut funktioniert. Widerstands-

netzmodelle sind z.B. in der Lüftungstechnik bekannt.

Defizite des gewählten vereinfachten numerischen Verfahrens liegen nicht in den getroffenen Vereinfachungen selbst, sondern sind dadurch bedingt, dass nicht genügend Geschwindigkeitsmessungen vorliegen, die als Randbedingungen in das numerische Modell einfließen. Dies wird im Folgenden näher ausgeführt.

Grundsätzlich sind Online-Strömungssimulationen ausschließlich in Verbindung mit Online-Geschwindigkeitsmessungen an verschiedenen Stellen in einer U-Bahnstation möglich. Notwendigerweise muss die Geschwindigkeit (oder besser der Volumenstrom) in allen Tunnelstrecken, die in die U-Bahnstation münden, online gemessen und für die numerische Simulation bereitgestellt werden. In der Demonstrator-U-Bahnstation Berlin Alexanderplatz kreuzen sich drei U-Bahnlinien, jede U-Bahnlinie hat zwei in die U-Bahnstation mündende Tunnelstrecken. Somit ergeben sich als Minimalausstattung sechs Geschwindigkeitsmessstellen.

An den Ausgängen der U-Bahnstation ins Freie ist es aus numerischer Sicht nicht zwingend erforderlich, dem numerischen Modell Geschwindigkeiten vorzuschreiben, sondern es kann auch der Umgebungsdruck (bzw. die Abweichung hiervon, auch Stördruck genannt) vorgegeben werden. Die Geschwindigkeit an den Ausgängen der U-Bahnstation ins Freie, im Speziellen die Richtung der Strömung, d.h. Einströmen in oder Ausströmen aus dem U-Bahnhof, ist dann ein Ergebnis der Strömungssimulation.

Es zeigt sich jedoch, dass derartige Randbedingungen sowohl für das in diesem Forschungsprojekt gewählte vereinfachte numerische Verfahren, als auch für die in einem anderen Forschungsprojekt (Projekt MAusKat, FKZ: 13N11676) eingesetzte detaillierte, wirbelauflösende LES--

Strömungsmodellierung unbefriedigende Ergebnisse an den Ausgängen der U-Bahnstation ins Freie liefern. Grund hierfür ist z.B., dass der Stördruck von der umgebenden Randbebauung beeinflusst ist. Bei deutlich unterschiedlichen Höhen der Ausgänge kann auch der „Kamineffekt“, d.h. eine temperaturbedingte Druckdifferenz, eine Rolle spielen.

Gerade aber die Information, ob es an den Ausgängen der U-Bahnstation ins Freie ein- oder ausströmt, ist von essentieller Bedeutung für die Frage, ob der Ausgang als Fluchtweg zur Verfügung steht. Das ist i.d.R. der Fall, wenn Luft an dem betreffenden Ausgang in die U-Bahnstation einströmt.

Die im Projekt in den Tunnelstrecken eingesetzten Ultraschallgeschwindigkeitsmessgeräte lassen sich im Bereich der Ausgänge der U-Bahnstation ins Freie, z.B. wegen Vandalismus, nicht einsetzen. Andere robuste und wartungsfreie Sensoren zur Messung der Strömungsgeschwindigkeit (oder besser des Volumenstroms) an den Ausgängen der U-Bahnstation stehen derzeit nicht zur Verfügung.

Es kann zusammengefasst gesagt werden, dass die Funktionalität von Online-Strömungs- und Ausbreitungssimulationen für die komplexe U-Bahnstation Berlin Alexanderplatz im Rahmen der Forschungsprojekte OrGaMIR und OrGaMIR^{PLUS} auch unter Einhaltung der Rechenzeitvorgaben erfolgreich demonstriert werden konnte.

Die Genauigkeit der Simulationsergebnisse wird derzeit jedoch dadurch begrenzt, dass nicht hinreichend viele Online-Messungen der Strömungsgeschwindigkeit (oder besser des Volumenstroms) an den Ausgängen der U-Bahnstation vorliegen. Für eine Weiterentwicklung von dynamischen Fluchtweglenkungssystemen wird daher auch Forschungsbedarf gesehen in der Entwicklung operationell arbeiten-

der Sensoren zur Bestimmung des Volumenstroms im Bereich der Ausgänge der U-Bahnstation ins Freie. Derartige Sensoren, eingesetzt zwischen den Teilräumen einer komplexen U-Bahnstation, könnten dann auch das Widerstandsnetzmo-

dell ersetzen und somit die Genauigkeit an dieser Stelle gleichermaßen erhöhen.

Danksagung:

OrGaMIR war Teil des Programms „Forschung für die zivile Sicherheit“ im Rahmen

der High-Tech-Strategie der Bundesregierung und wurde im Bereich „Schutz von Verkehrsinfrastrukturen“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) unter der Projekträgerchaft des VDI Technologiezentrums gefördert (FKZ: 13N9625 und 13N11526). Für die Unterstützung danken wir.

Bewetterungskonzepte für Baustellen in Tunneln

Für Bauarbeiten in Tunneln werden im Allgemeinen dieselbetriebene Baumaschinen und Fahrzeuge eingesetzt, die unter anderem Feinstaubpartikel (PM10), Stickoxide (NO_x) und Kohlenmonoxid (CO) emittieren.

Verfügen Tunnel über keine mechanische Belüftung (z.B. Eisenbahntunnel) oder ist deren Einsatz durch die Baumaßnahmen selbst nicht möglich, so ist zu prüfen, ob und ggf. wie eine ausreichende Belüftung/Bewetterung der Baustellen sichergestellt werden kann.

Unser Büro erstellt hierzu entsprechende Bewetterungskonzepte. Diese sind gezielt auf die zu betrachtende Baustelle abgestimmt und optimiert. Die örtlichen und meteorologischen Gegebenheiten werden ebenso in die Betrachtungen einbezogen wie auch der konkret geplante Maschineneinsatz aus den entsprechenden Bauablaufplänen.

Insbesondere versetzt uns auch die Berücksichtigung des konkreten Maschineneinsatzes gegenüber z.B. pauschalen (auf die Motornennleistung bezogenen) Ansätzen der BG Bau in die Lage, den Einsatz moderner, abgasgeminderter Baumaschinen in der Bewetterungskonzeption explizit zu berücksichtigen und

damit Kosten für die Installation von Bewetterungstechnik (z.B. Strahlventilatoren, Lutten etc.) sowie deren Betriebskosten zu senken. Wir profitieren hierbei von unserem interdisziplinär zusammengesetzten Mitarbeiterteam und insbesondere von unseren Spezialkenntnissen in der Strömungsmechanik, der Emissionsmodellierung für mobile Maschinen und Geräte, Fahrzeuge sowie der Emissionsmodellierung diffuser Staubemissionen aus Bautätigkeiten und Transportvorgängen. Weitere Informationen zu unseren Leistungen bzgl. Tunnellüftung und Bewetterung finden Sie auf unserer Homepage.

Literatur:

DFG (2014): Deutsche Forschungsgemeinschaft MAK- und BAT-Werte-Liste 2014, Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, Mitteilung 50.

TRGS 900 (2014): Technische Regeln für Gefahrstoffe: TRGS 900, Arbeitsplatzgrenzwerte.

BG Bau (2012): Tiefbauarbeiten. Sicher arbeiten - gesund bleiben. Broschüre der Berufsgenossenschaft der Bauwirtschaft.

TUNNELLÜFTUNG

Für den Gesundheitsschutz der arbeitenden Personen im Tunnel gibt es vorgeschriebene Luftqualitätsstandards, die einzuhalten sind. Diese sind in den „Technischen Regeln für Gefahrstoffe: TRGS 900, Arbeitsplatzgrenzwerte“ bzw. in der MAK- und BAT-Werte-Liste der Deutschen Forschungsgemeinschaft / Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe festgelegt. Weiterhin geben Berufsgenossenschaften der Bauwirtschaft (BG Bau) Hinweise zu Vorkehrungen für den Erhalt gesunder Arbeitsbedingungen, u.a. auch im Tiefbau.



Wir bedanken uns für interessante Projekte, inspirierende Gespräche
und die vertrauensvolle Zusammenarbeit!
Frohe Weihnachten und ein glückliches Neues Jahr!

