

Konzept zur Modellierung des Einflusses photokatalytischer Oberflächen auf die Luftqualität an Verkehrswegen

Kolloquium „Luftreinhaltung durch Photokatalyse“
am 23. September 2015 in Bergisch Gladbach

Dr. Lina Neunhäuserer, Volker Diegmann
IVU Umwelt GmbH, Freiburg

Übersicht

- Motivation
- Vorgehensweise
- Datenaufbereitung
- Modellaufbau
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Übersicht

Motivation

Vorgehensweise

Datenaufbereitung

Modellaufbau

Ergebnisse

Zusammenfassung

Motivation

- 39. BImSchV:
Einhaltung der NO₂-Grenzwerte gefordert
- Straßenplanung muss Einhaltung der Grenzwerte ermöglichen
- Idee:
Bereitstellung photokatalytisch aktiver Oberflächen

Wie groß ist der Einfluss photokatalytischer Oberflächen
auf die Stickstoffkonzentration in der Luft?

⇒ BAST-Projekt FE 89.234/2008/AP
„Numerische Simulation der Stickoxidminderung durch
photokatalytische Oberflächen an Verkehrswegen“

Projektergebnisse:

Neunhäuserer, L. & Diegmann, V.: „Modellierung des Einflusses photokatalytischer Oberflächen auf die NO₂-Konzentration in der Luft an Verkehrswegen“;
In: BAST (Hrsg.): Luftqualität an Straßen 2011. Tagungsband. Kolloquium der Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), 30.-31.3.2011 in Bergisch Gladbach. 2011

Übersicht

Motivation

Vorgehensweise

Datenaufbereitung

Modellaufbau

Ergebnisse

Zusammenfassung

Vorgehensweise (1)

Durchführung von Ausbreitungsrechnungen

- Lagrange'sches Ausbreitungsmodell LASAT
- Ausbreitung passiver Spurenstoffe:
=> Berechnungen für NO_x
- auf der Mikroskala anwendbar
- Abbauprozess an photokatalytischen Oberflächen wird als Deposition beschrieben
- Berücksichtigung von meteorologischen Daten, Emissionen und Depositionsgeschwindigkeit als stündliche Zeitreihen
=> zeitliche Korrelation der Eingangsparameter bleibt erhalten
- Ausgabe der Ergebnisse als stündliche Zeitreihen
=> Jahreszeiten oder Tagesgänge können untersucht werden

Übersicht

Motivation

Vorgehensweise

Datenaufbereitung

Modellaufbau

Ergebnisse

Zusammenfassung

Folie 4

Vorgehensweise (2)

- Modellrechnungen auf der Basis realer Daten für:
 - Verkehr
(Zählstelle NW5040 Düsseldorf-Flehe (A46))
 - Meteorologie
(Windgeschwindigkeit und –richtung, Ausbreitungsklasse, Globalstrahlung, Berlin 2008)
 - Vorbelastung
(LANUV-Messstation Düsseldorf-Lörick, 2008)
- Emissionsberechnung auf Basis der Verkehrsdaten mit IMMIS^{em}
- Schwerpunkt Berechnung der UV-A-Intensität
 $UV-A = f(\text{Ausrichtung Oberfläche zu Strahlung})$
- Schwerpunkt Bestimmung der Depositionsgeschwindigkeit
 $v_{\text{dep}} = f(UV-A)$
- Bestimmung der NO₂-Gesamtbelastung aus der modellierten NO_x-Gesamtbelastung:
Romberg-Ansatz (Romberg et al., 1996)
in der Parametrisierung nach Bächlin et al., 2007

Übersicht

Motivation

Vorgehensweise

Datenaufbereitung

Modellaufbau

Ergebnisse

Zusammenfassung

Folie 5

UV-A-Intensität

- Zeitreihen der UV-A-Intensität unter Berücksichtigung der Ausrichtung der photokatalytischen Flächen gegenüber der Einfallrichtung der direkten Strahlung im Tagesverlauf
- Grundlage: Zeitreihe der Globalstrahlung Berlin-Dahlem
- UV-A-Anteil: Wellenlängenbereich 316 nm - 380 nm (VDI 3789 Blatt 3)

Trepte et al. (2004):
$$UVA = UVA_0 * (G / G_0)$$

Berechnung von G_0 und UVA_0 nach Berlage (1928)
und VDI 3789 Blatt 3

- Aufteilung UV-A in diffuse und direkte Strahlung:
 - diffuse Strahlung: 50 % für photokatalytische LSW
20 % für photokatalytische Fahrbahn
 - direkte Strahlung: Berücksichtigung der Ausrichtung der Fläche gegenüber der Einfallrichtung (VDI 3789, Blatt 3)

Übersicht

Motivation

Vorgehensweise

Datenaufbereitung

Modellaufbau

Ergebnisse

Zusammenfassung

Depositionsgeschwindigkeit (1)

- Modellansatz: Beschreibung des Stickoxidabbaus über einen Depositionsprozess
- Massenstromdichte Deposition:
$$M_{\text{dep}} = c \cdot v_{\text{dep}}$$
- Bestimmung v_{dep} als Summe von Teilwiderständen (VDI 3782 Blatt 5)

$$v_{\text{dep}} = 1/(r_a + r_b + r_c)$$

r_a : aerodynamischer Widerstand
=> Bestimmung nach VDI 3782 Blatt 5

r_b : quasi-laminarer Widerstand
=> Bestimmung nach VDI 3782 Blatt 5

r_c : photokatalytischer Widerstand
=> Bestimmung ?

=> v_{dep} abhängig von

- photokatalytischen Eigenschaften
- Turbulenzzustand der Atmosphäre und Schubspannungsgeschwindigkeit u^*

Depositionsgeschwindigkeit (2)

Ansatz:

- Verwendung von Daten aus Laborversuchen nach ISO 22197-1:2007
=> fest vorgegebene Reaktorgeometrie, laminare Strömung
- Bestimmung von u^* und damit von r_a und r_b im Labor:
- Impulssatz, Gleichungen für eine laminare Spaltströmung
- Bestimmung von r_c im Labor aus $v_{\text{dep}} = 1/(r_a + r_b + r_c)$ und v_{dep} aus Laborversuch
- Kehrwert von r_c („ $v_{\text{dep,pk}}$ “) linear abhängig von UV-A (Laufs et al., 2010)
=> Bestimmung von r_c im Feld mit Hilfe der UV-A-Zeitreihe
- Bestimmung von r_a und r_b im Feld mit Hilfe der meteorologischen Zeitreihe
- Bestimmung von $v_{\text{dep}} = 1/(r_a + r_b + r_c)$ im Feld als Zeitreihe

$$\text{LSW: } v_{\text{dep,pk,Labor}} = 0.0084 \text{ m/s bei UVA} = 9 \text{ W/m}^2$$

$$\text{Fahrbahn: } v_{\text{dep,pk,Labor}} = 0.0036 \text{ m/s bei UVA} = 10 \text{ W/m}^2$$

Modellgebiet

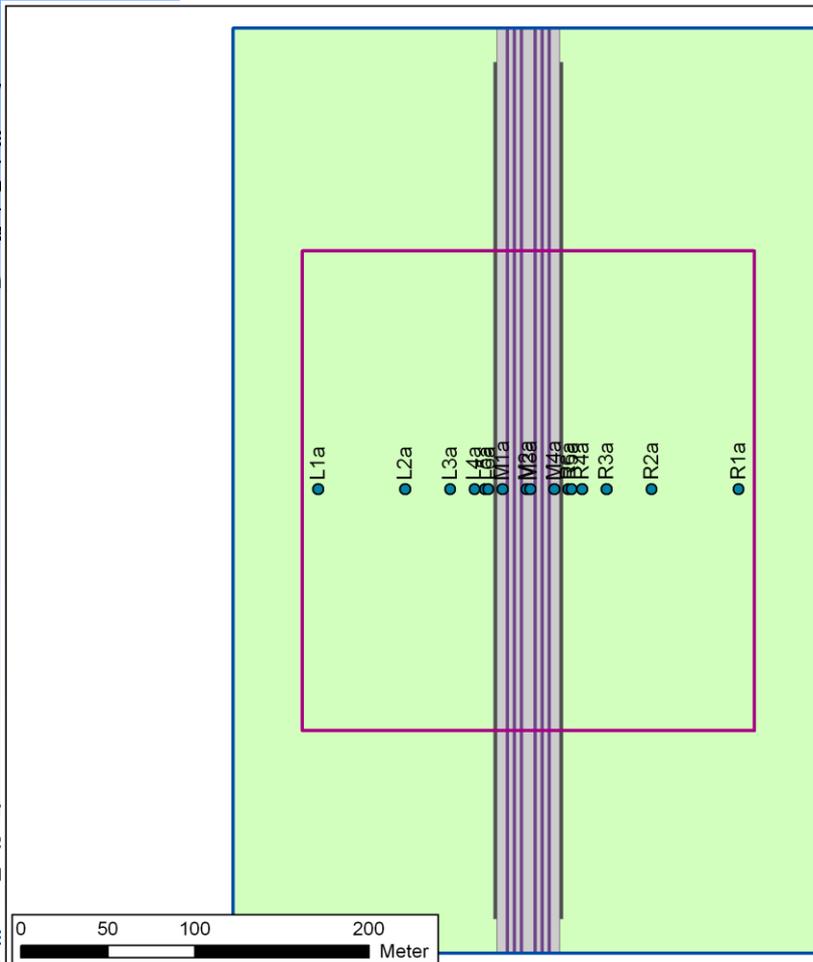
Modellgebiet:
340 m x 540 m

Untersuchungsgebiet:
260 m x 280 m

Fahrbahn:
Breite 36m, 6 Fahrstreifen

Lärmschutzwand:
Länge 500 m, Höhe 4 m

16 Monitorpunkte für Auswertung im
Querschnitt: Höhe 1.5 m



Legende

- Monitorpunkte
- Modellgebiet
- Untersuchungsgebiet
- Emissionsquellen
- Straßenfläche
- Lärmschutzwand
- Fläche Modellgebiet



Kartographie:
IVU Umwelt GmbH
Stand: August 2010

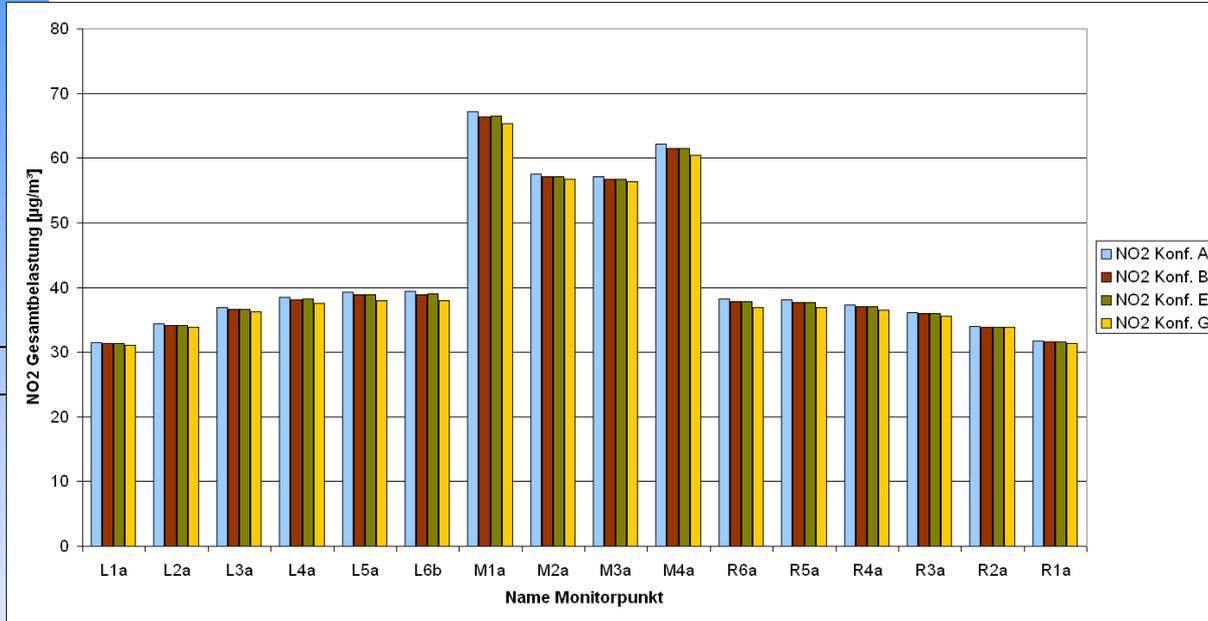
- Übersicht
- Motivation
- Vorgehens
- Datenaufbe
- Modellaufb**
- Ergebnisse
- Zusammen

Modellkonfigurationen

ID	LSW	Fahrbahn	photokatalytische Oberfläche	Depositionsgeschwindigkeit
A	unbehandelt	unbehandelt	--	--
B	behandelt	unbehandelt	Fläche LSW 8 032 m ²	Zeitreihe TS1 „Nord-Süd“
C	ohne	unbehandelt	--	--
D	ohne	behandelt	Fläche Fahrbahn 18 000 m ²	Zeitreihe TS4
E	wie B		Fläche LSW 8 032 m ²	Zeitreihe TS2 „West-Ost“
F	wie D		Fläche Fahrbahn 10 800 m ²	Zeitreihe TS4
G	wie B		Fläche LSW 8 032 m ²	Zeitreihe TS3 „Nord-Süd, tagsüber konst. 10 W/m ² “
H	wie D		Fläche Fahrbahn 18 000 m ²	Zeitreihe TS5 „v _{dep,pk} halbiert“

- Übersicht
- Motivation
- Vorgehensweise
- Datenaufbereitung
- Modellaufbau
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

NO₂-Gesamtbelastung, Monitorpunkte



mit LSW

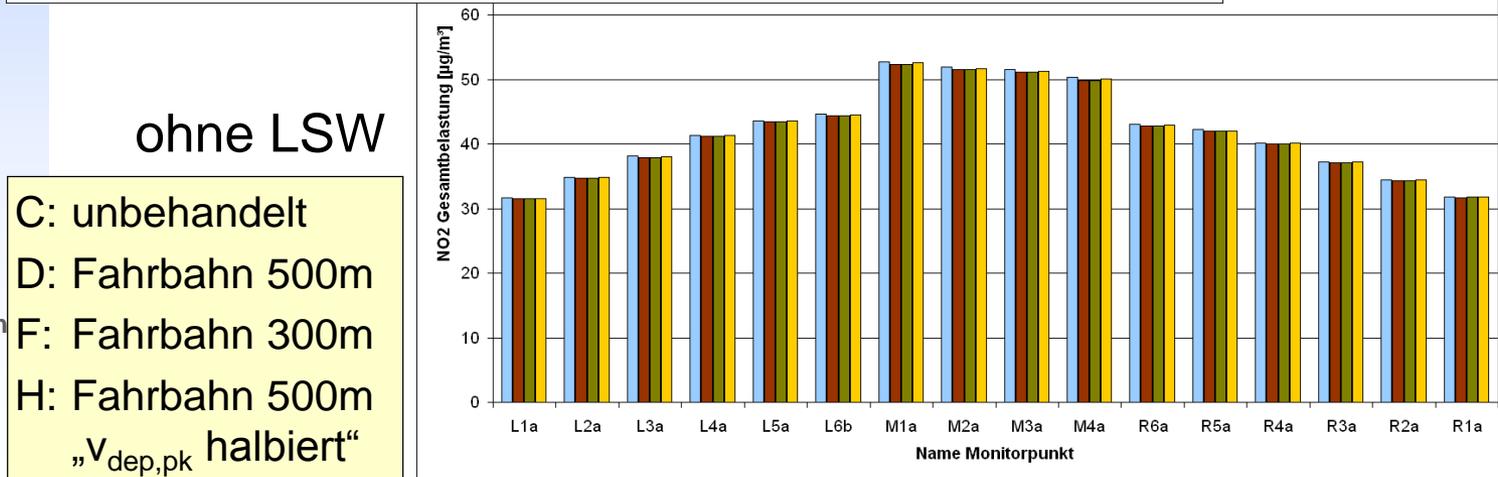
A: unbehandelt

B: Nord-Süd

E: „West-Ost“

G: Nord-Süd

„konst. 10 W/m²“



ohne LSW

C: unbehandelt

D: Fahrbahn 500m

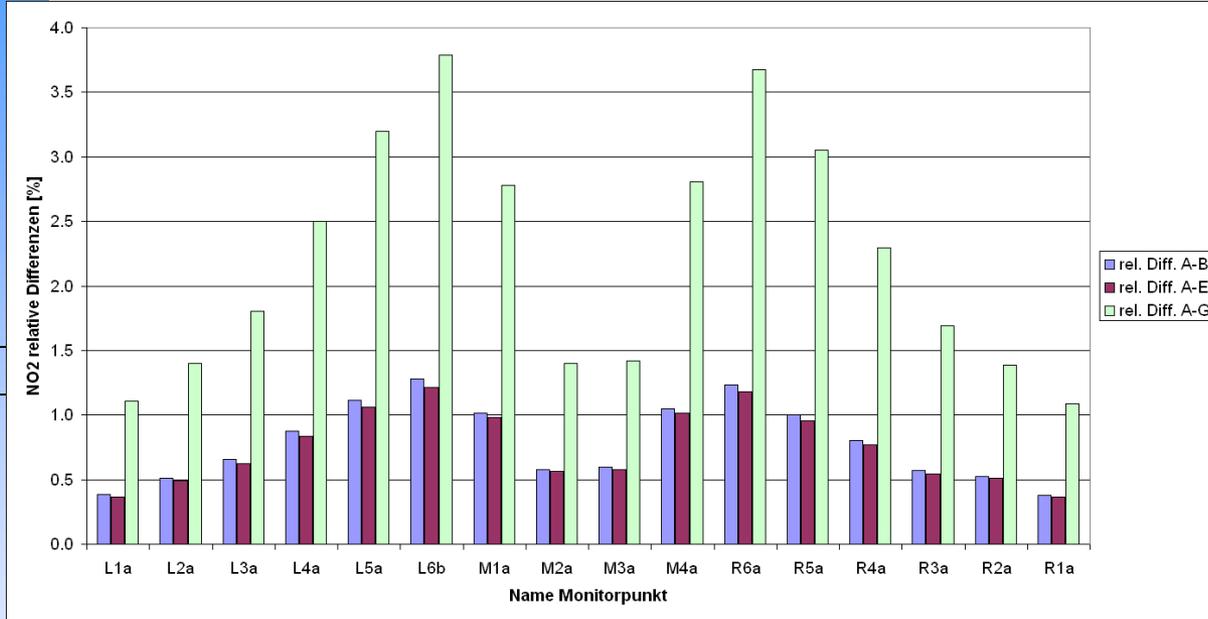
F: Fahrbahn 300m

H: Fahrbahn 500m

„ $v_{dep,pk}$ halbiert“

- Übersicht
- Motivation
- Vorgehensweise
- Datenaufbereitung
- Modellaufbau
- Ergebnisse**
- Zusammenfassung

NO₂ relative Differenzen, Monitorpunkte



mit LSW

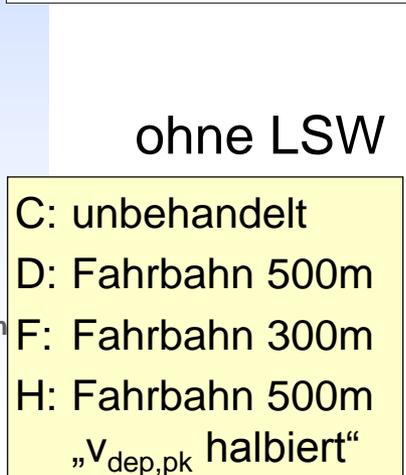
A: unbehandelt

B: Nord-Süd

E: „West-Ost“

G: Nord-Süd

„konst. 10 W/m²“



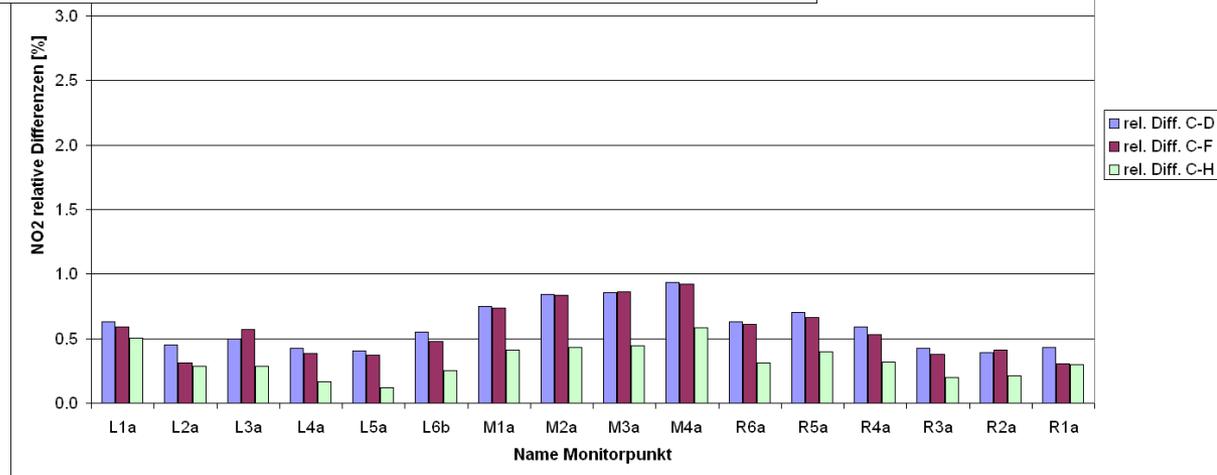
C: unbehandelt

D: Fahrbahn 500m

F: Fahrbahn 300m

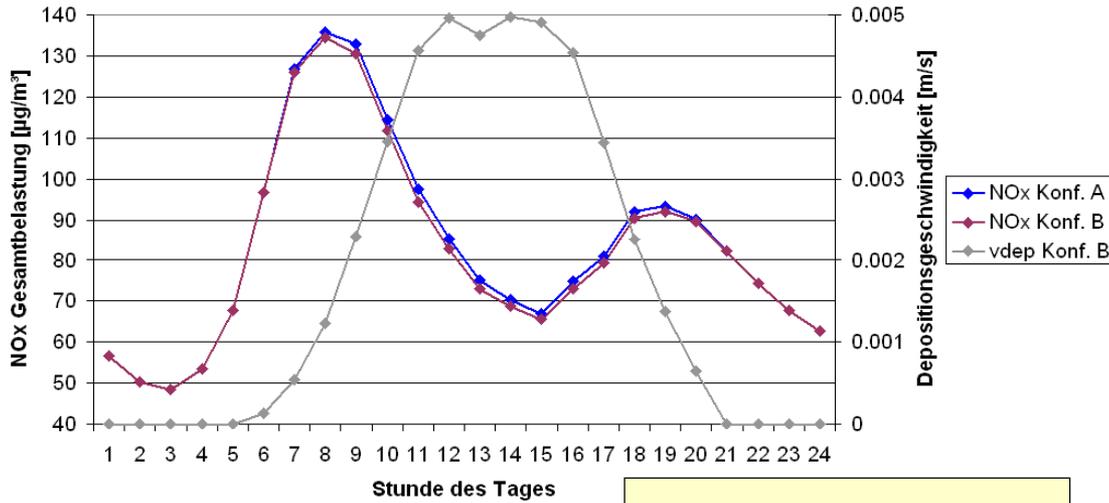
H: Fahrbahn 500m

„v_{dep,pk} halbiert“



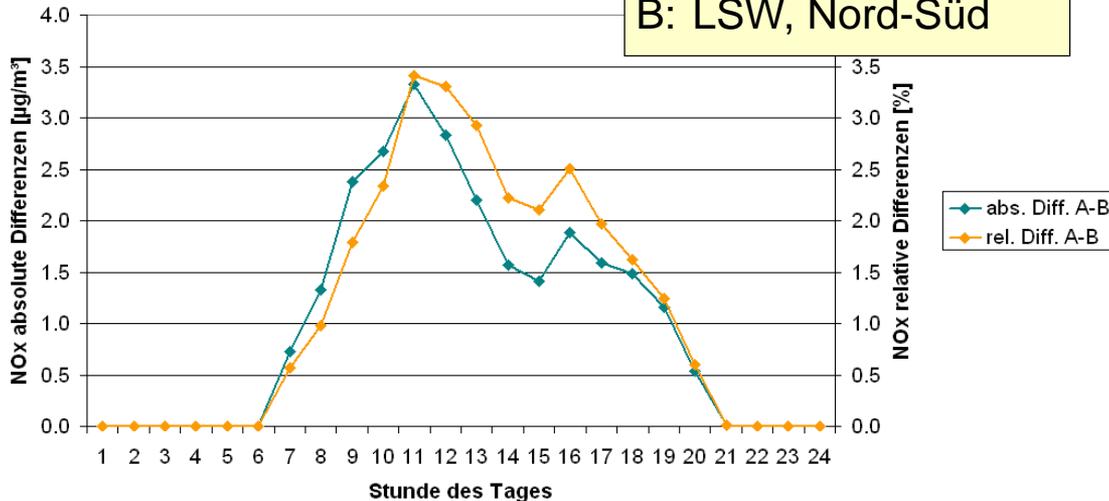
- Übersicht
- Motivation
- Vorgehensweise
- Datenaufbereitung
- Modellaufbau
- Ergebnisse**
- Zusammenfassung

Jahresgemittelter Tagesgang NO_x



Auswertung an
 Monitorpunkt L4a
 => Tagesgang der NO_x-
 Minderung hängt von
 Interaktion zwischen
 NO_x-
 Gesamtbelastung und
 Depositions-
 geschwindigkeit ab

A: LSW, unbehandelt
 B: LSW, Nord-Süd



Über:
 Motiv
 Vorg
 Datei
 Mode
 Ergel
 Zusa

Folie 13

Kollo
 "Luftr
 Photo
 23. Se
 in Ber
 Lina N
 www.i

Zusammenfassung

- vorgestelltes Konzept erlaubt Berücksichtigung von Zeitreihen (Eingangsdaten, Ausbreitungsrechnung)
- Depositionsgeschwindigkeit wurde in Abhängigkeit von der UV-A-Intensität als zeitlich variable Eingangsgröße bei der Modellierung berücksichtigt
- Ergebnisse liegen entsprechend als Zeitreihen vor
=> Jahres- oder Tagesgänge können untersucht werden

- Minderung der NO₂-Belastung um maximal knapp 1.5% (knapp 4% bei konstanter UV-A-Intensität von 10 W/m²)
=> $v_{\text{dep,pk}}$ von ~ 0.01 m/s bei 10 W/m² erforderlich für „messbare Wirkung“ unter den modellierten Bedingungen
- Interaktion zwischen Gesamtbelastung und Depositionsgeschwindigkeit im Tagesverlauf ist ein wesentlicher Faktor bei der Wirksamkeit photokatalytischer Oberflächen

Übersicht

Motivation

Vorgehensweise

Datenaufbereitung

Modellaufbau

Ergebnisse

Zusammenfassung

Konzept zur Modellierung
des Einflusses photokatalytischer Oberflächen
auf die Luftqualität an Verkehrswegen

***Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!***

Kolloquium „Luftreinhaltung durch Photokatalyse“
am 23. September 2015 in Bergisch Gladbach

Dr. Lina Neunhäuserer, Volker Diegmann
IVU Umwelt GmbH, Freiburg