

Modellierung des Einflusses photokatalytischer Oberflächen auf die NO₂-Konzentration in der Luft an Verkehrswegen

Kolloquium „Luftqualität an Straßen“
am 30./31. März 2011 in Bergisch Gladbach

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

Übersicht

- Aufgabenstellung
- Vorgehensweise
- Eingangsdaten
- Datenaufbereitung
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Übersicht

Aufgabenstellung

Vorgehensweise

Eingangsdaten

Datenaufbereitung

Ergebnisse

Zusammenfassung

Aufgabenstellung

- 39. BImSchV:
Einhaltung der NO₂-Grenzwerte ab 2010 gefordert
- Straßenplanung muss Einhaltung der Grenzwerte ermöglichen
- Idee:
Bereitstellung photokatalytisch aktiver Oberflächen
- In-situ-Untersuchungen geplant
- im Vorfeld Modellrechnungen für Autobahnabschnitt:

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“

Übersicht

Aufgabenstellung

Vorgehensweise

Eingangsdaten

Datenaufbereitung

Ergebnisse

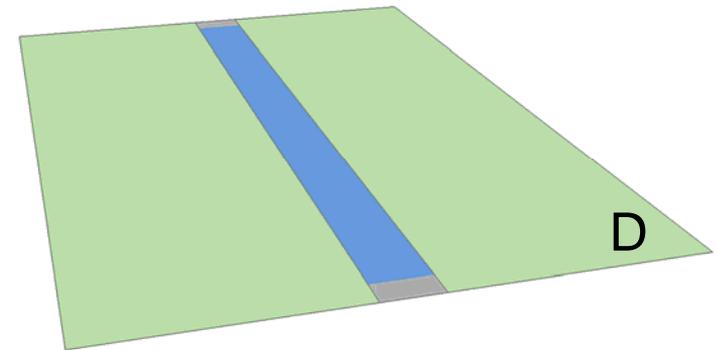
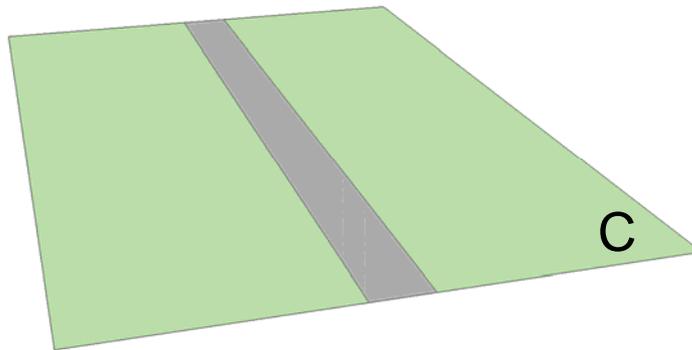
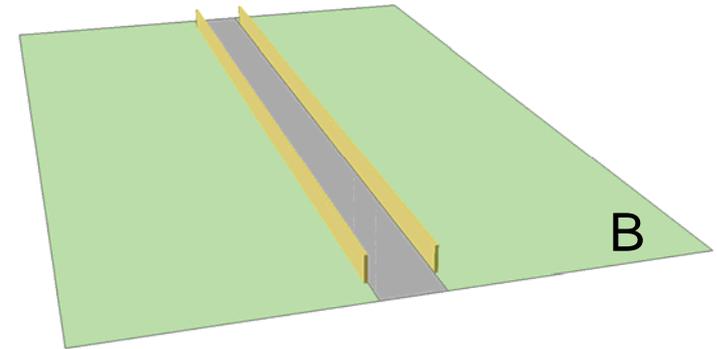
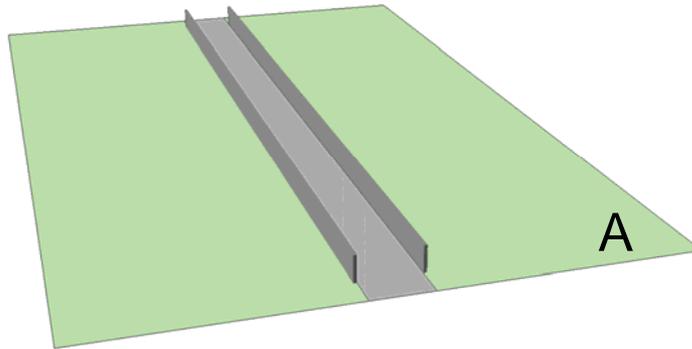
Zusammenfassung

Folie 3

Kolloquium
“Luftqualität an Straßen”
30./31. März 2011
in Bergisch Gladbach
Lina Neunhäuserer
www.ivu-umwelt.de

Vorgehensweise (1)

Modellrechnungen für 8 Konfigurationen eines fiktiven
Autobahnabschnitts:

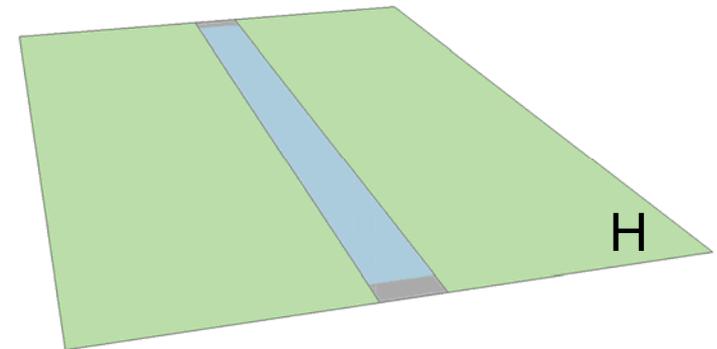
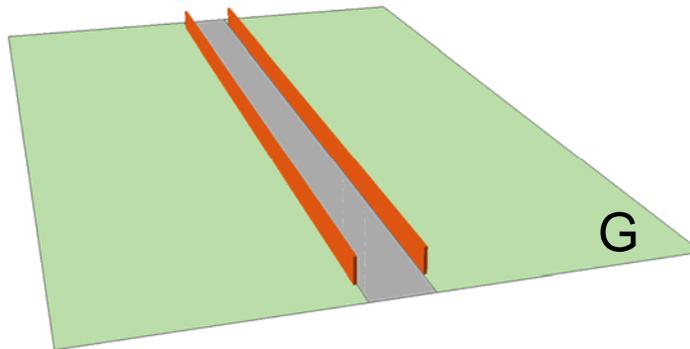
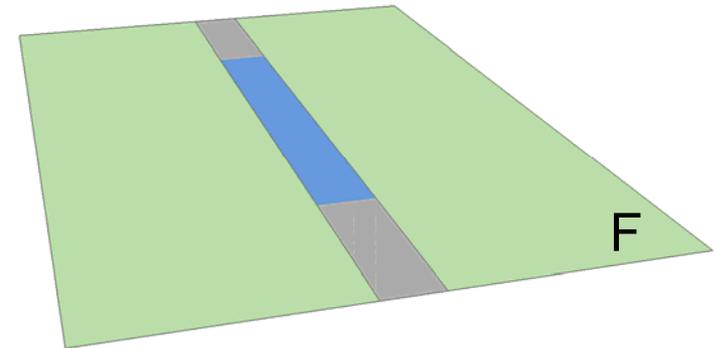
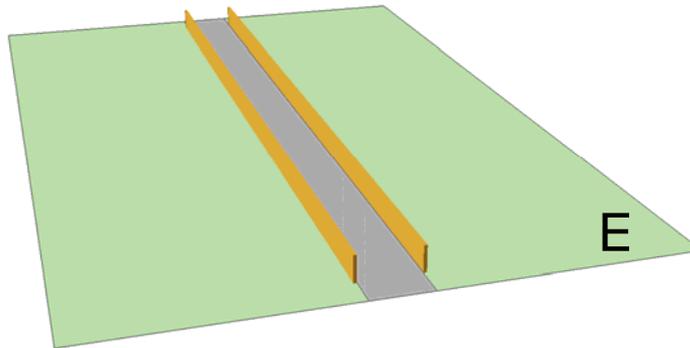


- Übersicht
- Aufgabenstellung
- Vorgehensweise
- Eingangsdaten
- Datenaufbereitung
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Folie 4

Vorgehensweise (2)

Modellrechnungen für 8 Konfigurationen eines fiktiven
Autobahnabschnitts (Fortsetzung):



photokatalytisch
wirksame Flächen:

B, E, G	D, H	F
8032 m ²	18000 m ²	10800 m ²

- Übersicht
- Aufgabenstellung
- Vorgehensweise**
- Eingangsdaten
- Datenaufbereitung
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Vorgehensweise (3)

Durchführung der Ausbreitungsrechnungen mit LASAT

- Lagrange'sches Ausbreitungsmodell
- 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

Aufgabenstellung

Vorgehensweise

Eingangsdaten

Datenaufbereitung

Ergebnisse

Zusammenfassung

Folie 6

Kolloquium
"Luftqualität an Straßen"
30./31. März 2011
in Bergisch Gladbach
Lina Neunhäuserer
www.ivu-umwelt.de

Vorgehensweise (4)

- Modellrechnungen auf der Basis realer Daten für:
 - Verkehr
 - Meteorologie
 - Vorbelastung
- Schwerpunkt Berechnung der UV-A-Intensität
UV-A = f(Ausrichtung Oberfläche zu Strahlung)
- Schwerpunkt Bestimmung der Depositionsgeschwindigkeit
 $v_{\text{dep}} = f(\text{UV-A})$
- 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

Aufgabenstellung

Vorgehensweise

Eingangsdaten

Datenaufbereitung

Ergebnisse

Zusammenfassung

Folie 7

Modellgebiet

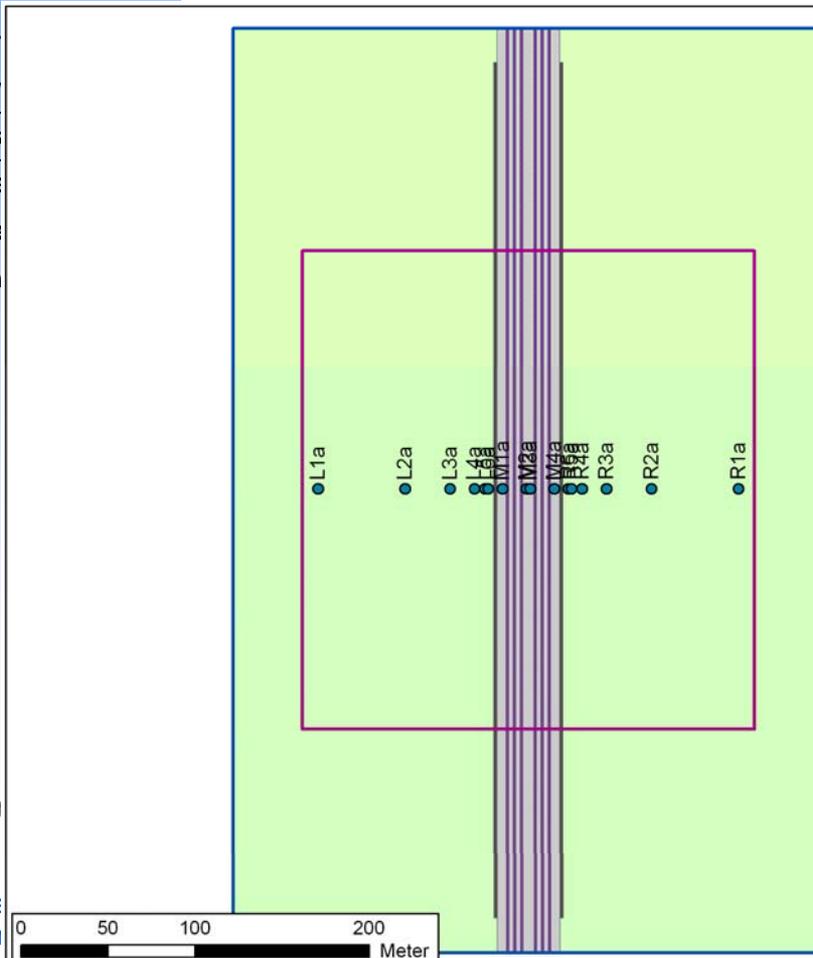
Modellgebiet:
340 m x 540 m

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



ivU Kartographie:
IVU Umwelt GmbH
Stand: August 2010

- Übersicht
- Aufgabens
- Vorgehens
- Eingangsd
- Datenaufbe
- Ergebnisse
- Zusammen

Folie 8

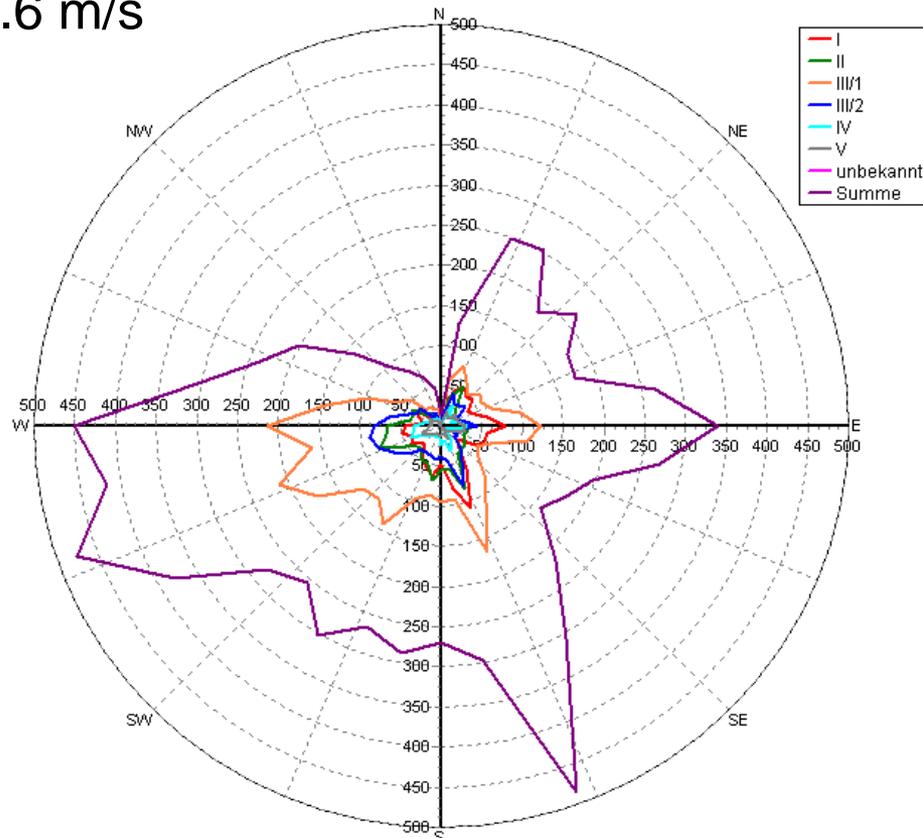
Kolloquium
"Luftqualität"
30./31. März
in Bergisch
Lina Neunh
www.ivu-um

Meteorologische Daten (1)

Meteorologische Daten Berlin 2008:

stündl. Zeitreihe für Windgeschwindigkeit, Windrichtung,
Ausbreitungsklasse

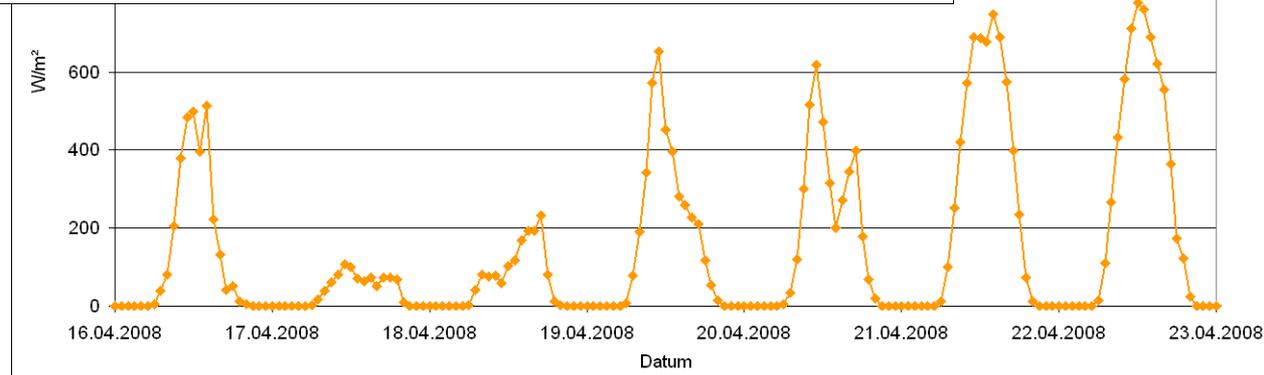
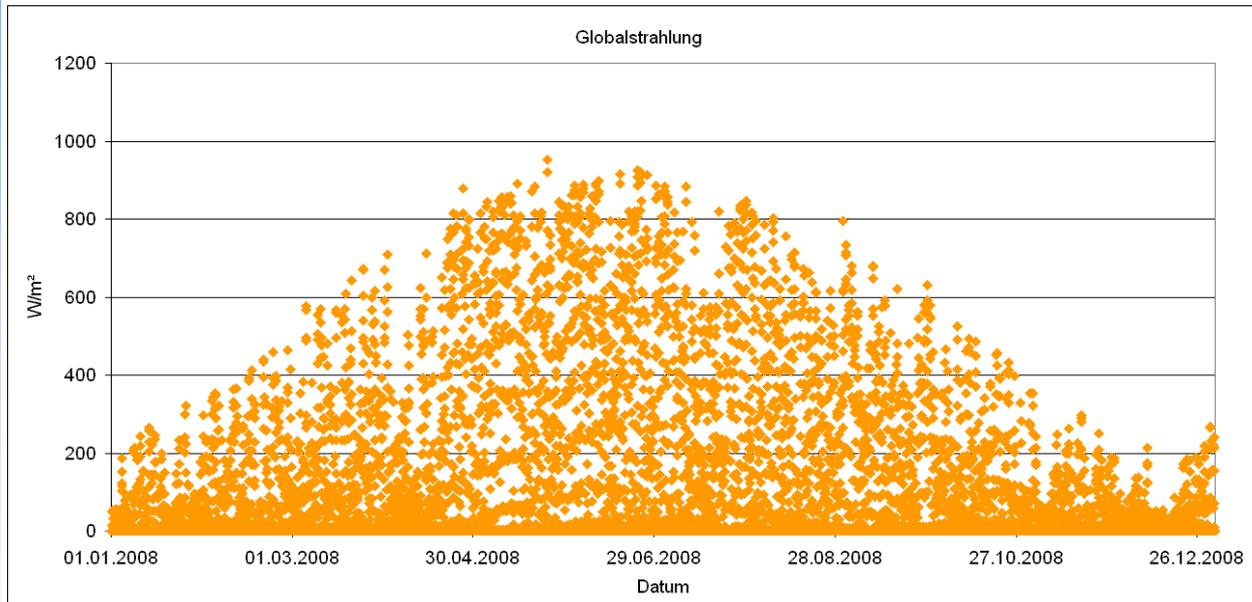
$$v_{\text{mittel}} = 2.6 \text{ m/s}$$



- Übersicht
- Aufgabenstellung
- Vorgehensweise
- Eingangsdaten**
- Datenaufbereitung
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Meteorologische Daten (2)

Meteorologische Daten Berlin-Dahlem 2008:
stündliche Zeitreihe für Globalstrahlung



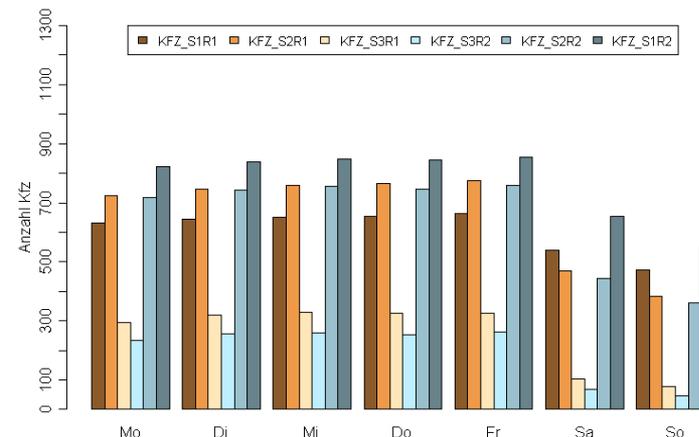
- Übersicht
- Aufgabenstellung
- Vorgehensweise
- Eingangsdaten**
- Datenaufbereitung
- Ergebnisse
- Zusammenfassung

Verkehrsdaten

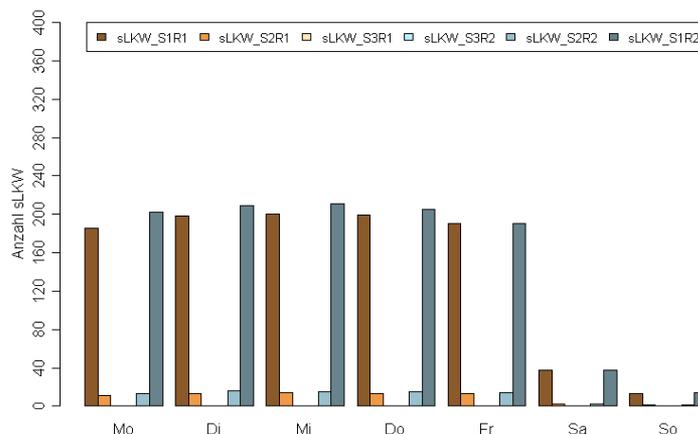
Gesucht: „durchschnittliche sechsstreifige Autobahn“
=> Zählstelle NW5040 Düsseldorf-Flehe (A46)

- stunden- und fahrstreifenfein
- unterteilt nach Fahrzeuggruppen/-arten

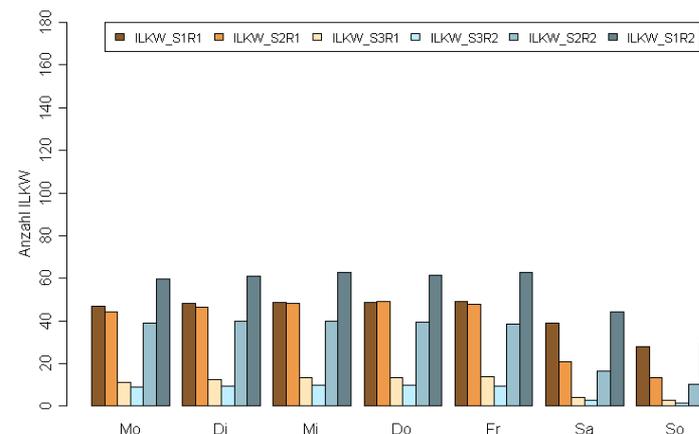
DTV [Kfz/d]	75395
sLKW-Anteil [%]	10.2
ILKW-Anteil [%]	6.0



Wochengang Kfz



Wochengang sLKW



Wochengang ILKW

Übersicht

Aufgabenstellung

Vorgehensweise

Eingangsdaten

Datenaufbereitung

Ergebnisse

Zusammenfassung

UV-A-Intensität (1)

- 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)

UV-A-Intensität (2)

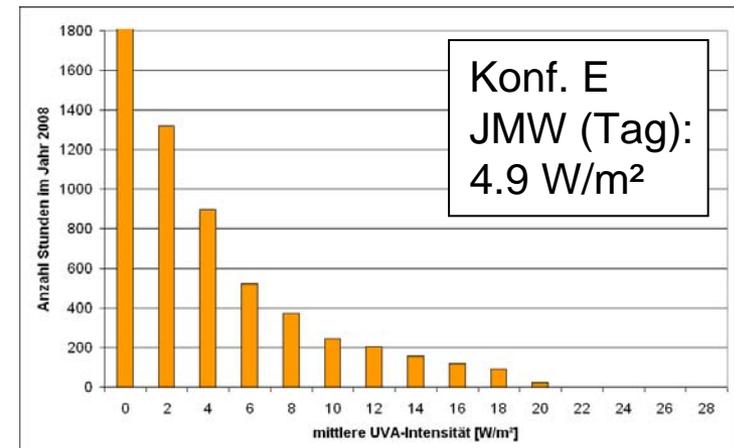
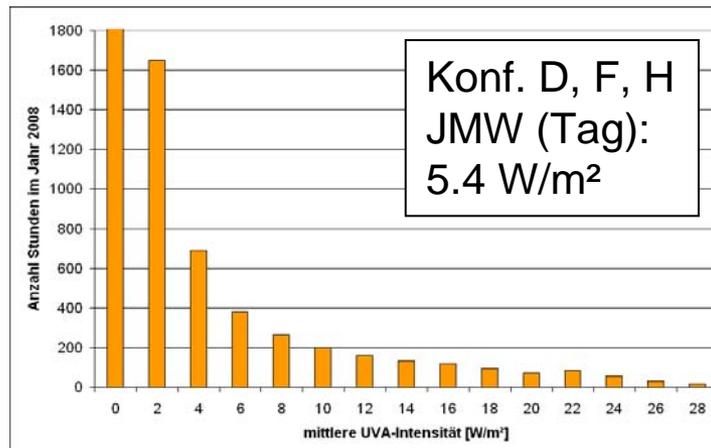
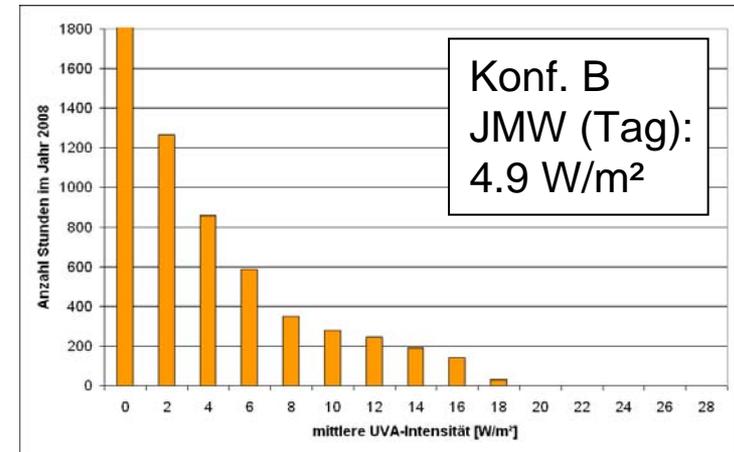
3 Zeitreihen der UV-A-Intensität:

- Konf. B: LSW (Nord-Süd)
- Konf. E: LSW („West-Ost“)
- Konf. D, F, H: Fahrbahn

+

1 Zeitreihe mit konstant
10 W/m² (Tag-Stunden)

- Konf. G: LSW (Nord-Süd)



Depositionsgeschwindigkeit (1)

- Modellansatz: Beschreibung des Stickoxidabbaus über einen Depositionsprozess
- Massenstromdichte Deposition:

$$M_{\text{dep}} = c * v_{\text{dep}}$$

=>

Aufgabe: Bestimmung v_{dep}

- Hersteller- und Literaturrecherche zu v_{dep} mit heterogenem Ergebnis
 - + Daten lassen auf positive Wirkung photokatalytischer Oberflächen schließen
 - häufig nur Angabe des prozentualen Abbaus
 - Randbedingungen häufig nicht ausreichend
 - unterschiedliche Zielsetzungen und Durchführung der Versuche
 - z. T. integrale Werte über mehrere Stunden/Tage
 - Daten häufig für Abbau NO oder NO₂, nicht NO_x

Übersicht

Aufgabenstellung

Vorgehensweise

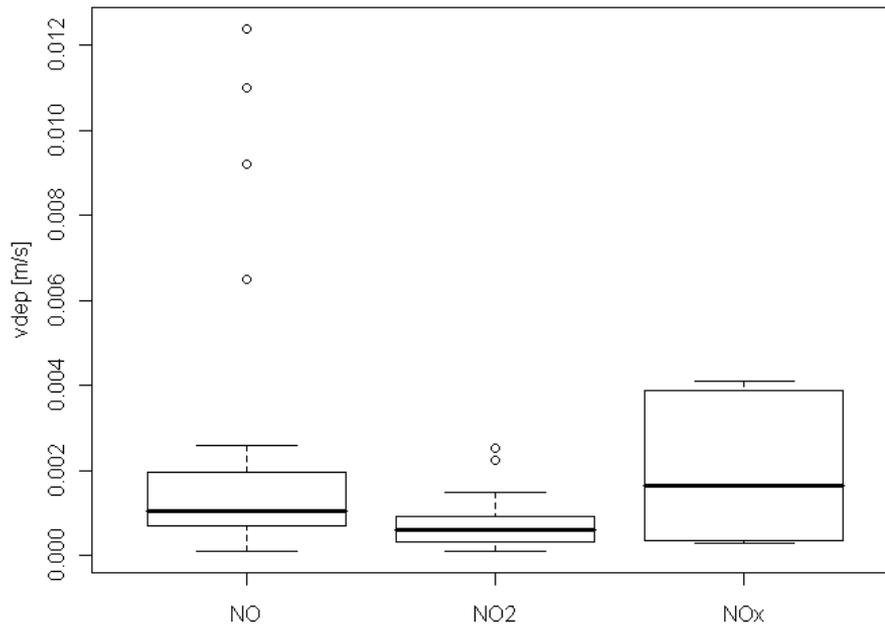
Eingangsdaten

Datenaufbereitung

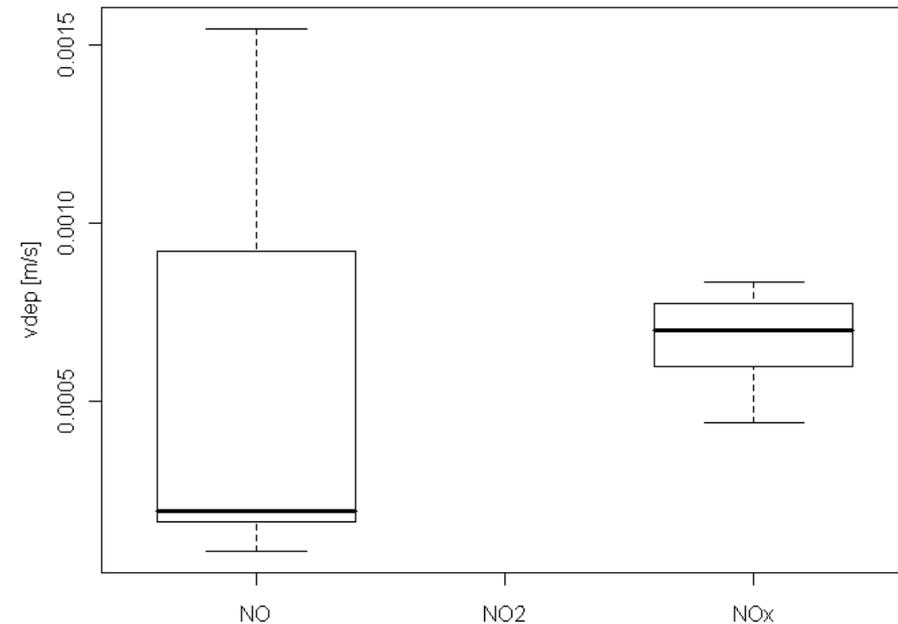
Ergebnisse

Zusammenfassung

Depositionsgeschwindigkeit (2)



v_{dep} Beschichtung



v_{dep} Beton

- berechnete Werte nur bedingt miteinander vergleichbar
- Übertragbarkeit der Werte und funktionalen Zusammenhänge ($f(\text{UV-A})$) vom Labor ins Feld?

Depositionsgeschwindigkeit (3)

Depositionsgeschwindigkeit 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^*

Übersicht

Aufgabenstellung

Vorgehensweise

Eingangsdaten

Datenaufbereitung

Ergebnisse

Zusammenfassung

Depositionsgeschwindigkeit (4)

Ansatz:

- nur 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
- für Kehrwert von r_c lineare Abhängigkeit von UV-A gefunden
=> 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

Depositionsgeschwindigkeit (5)

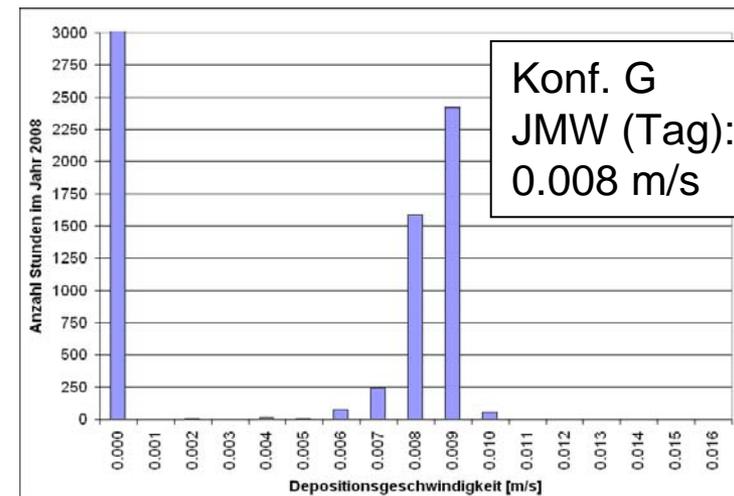
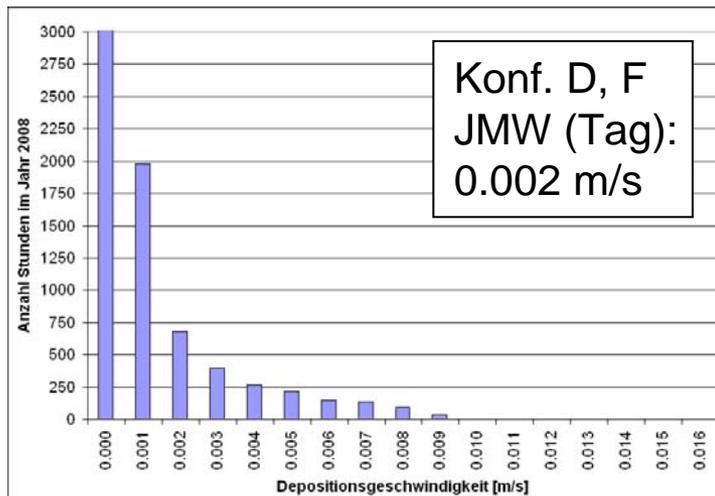
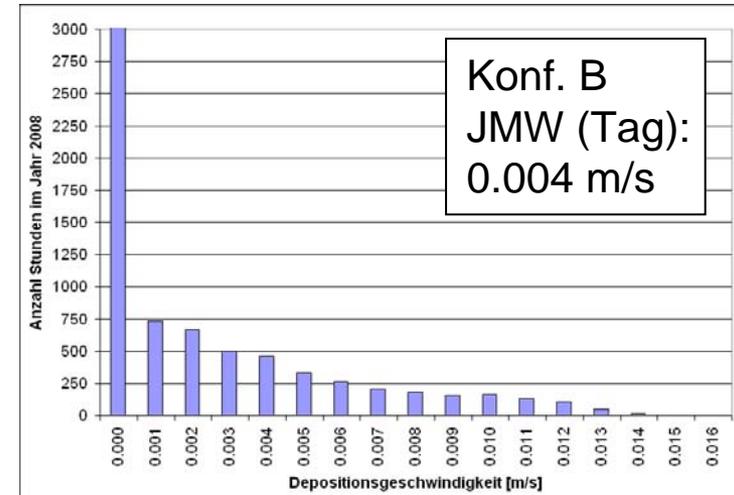
insgesamt 5 Zeitreihen der Depositionsgeschwindigkeit:

Basis $v_{\text{dep,pk}} = 0.0084 \text{ m/s}$ bei 9 W/m^2

- Konf. B: LSW (Nord-Süd)
- Konf. E: LSW („West-Ost“)
- Konf. G: LSW (Nord-Süd)
(„konstant 10 W/m^2 “)

Basis $v_{\text{dep,pk}} = 0.0018 \text{ m/s}$ bei 10 W/m^2

- Konf. D, F: Fahrbahn
- Konf. H: Fahrbahn



Datenaufbereitung: Emissionsmodellierung

Emissionsmodellierung mit IMMIS^{em} 5.1

- auf Basis des HBEFA 3.1
- mit den Verkehrsdaten der Zählstelle NW5040
- Berechnung der spur- und stundenfein aufgelösten Zeitreihen der NO_x-Emissionen

=> NO_x-Emissionen im Modellgebiet im Bezugsjahr 2008:
14670 kg

Übersicht

Aufgabenstellung

Vorgehensweise

Eingangsdaten

Datenaufbereitung

Ergebnisse

Zusammenfassung

Deponierte Masse

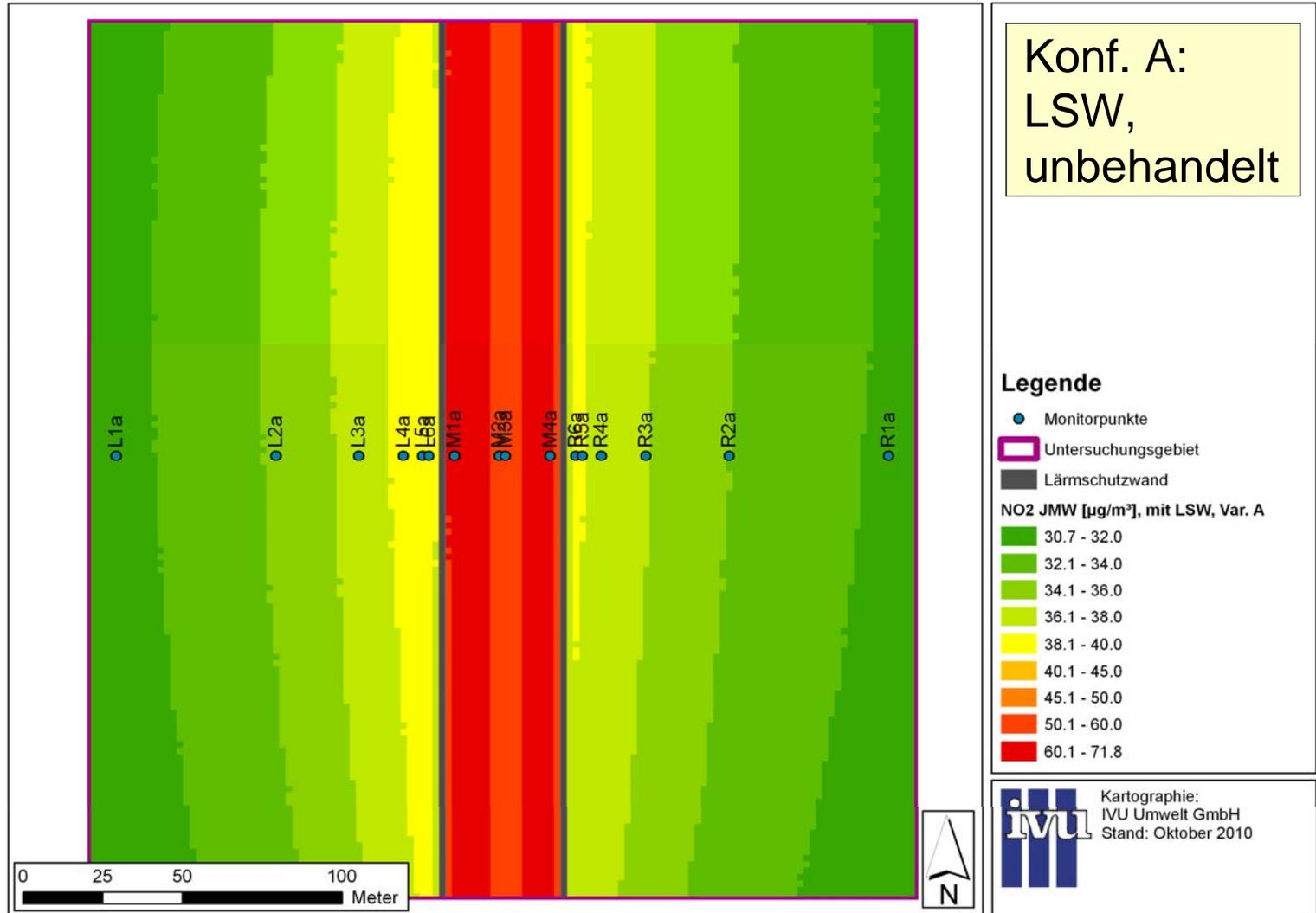
Konf.	deponierte Masse NO _x [kg/a]	Anteil an emittierter Masse [%]	deponierte Masse NO _x [kg/(ha*a)]
B	58.5	0.40	72.8
E	57.7	0.39	71.9
G	131.4	0.90	163.6
D	49.0	0.33	27.2
F	29.9	0.20	27.7
H	26.0	0.18	14.4

- Ausrichtung der LSW zur Einfallsrichtung der UV-A-Strahlung hat keinen nennenswerten Effekt
- deponierte Masse von G im Verhältnis zu B, E überproportional hoch => Einfluss der zeitlichen Verteilung
- Faktor 2 in Zeitreihen D, F zu H findet sich in den deponierten Massen wieder => Limitierung durch r_c
- Anteil deponierter an emittierter Masse < 1%

- Übersicht
- Aufgabenstellung
- Vorgehensweise
- Eingangsdaten
- Datenaufbereitung
- Ergebnisse**
- Zusammenfassung

NO₂-Gesamtbelastung, Konfiguration A

- Übersicht
- Aufgabenstellung
- Vorgehensweise
- Eingangsdaten
- Datenaufbereitung
- Ergebnisse**
- Zusammenfassung

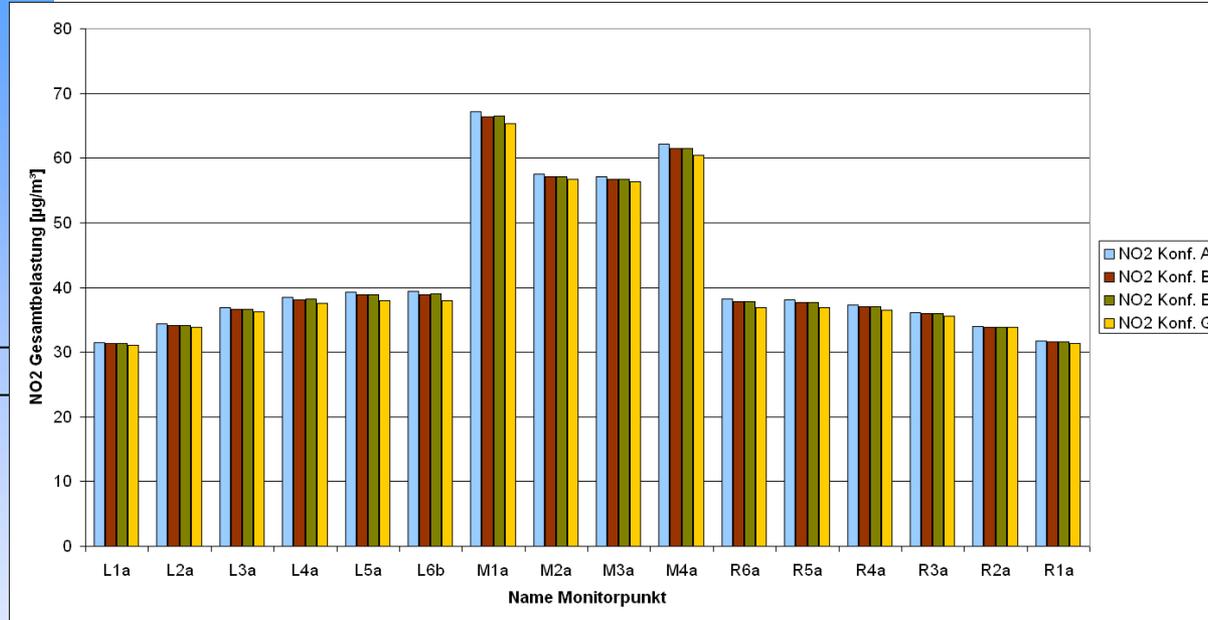


Folie 21

Kolloquium
"Luftqualität an Straßen"
30./31. März 2011
in Bergisch Gladbach
Lina Neunhäuserer
www.ivu-umwelt.de

Jahresmittelwert der NO₂-Gesamtbelastung, Höhe 1.5 m über Grund

NO₂-Gesamtbelastung, Monitorpunkte



mit LSW

A: unbehandelt

B: Nord-Süd

E: „West-Ost“

G: Nord-Süd

„konst. 10 W/m²“

ohne LSW

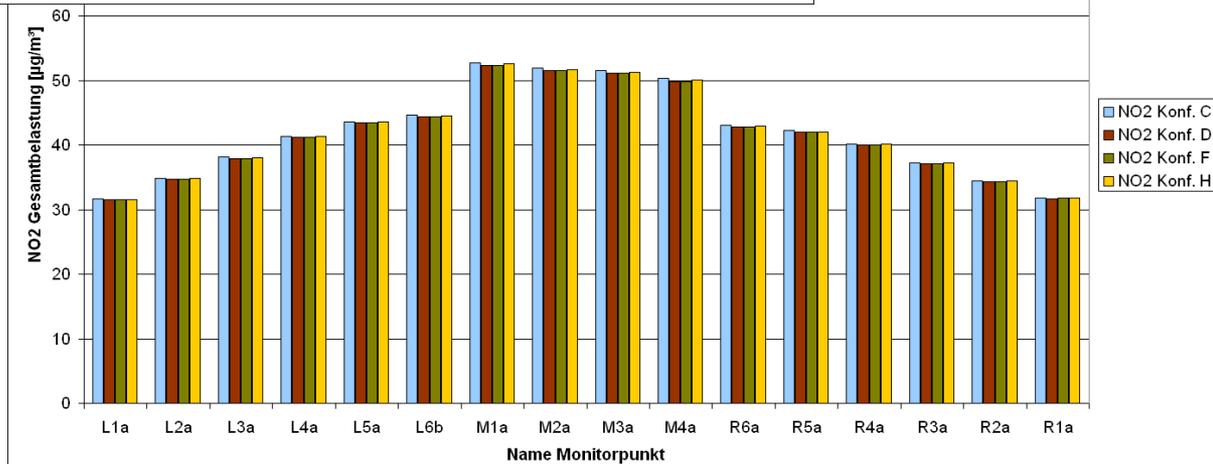
C: unbehandelt

D: Fahrbahn 500m

F: Fahrbahn 300m

H: Fahrbahn 500m

„V_{dep,pk} halbiert“



- Übersicht
- Aufgabenstellung
- Vorgehensweise
- Eingangsdaten
- Datenaufbereitung
- Ergebnisse**
- Zusammenfassung

NO₂ absolute Differenzen, Monitorpunkte

mit LSW

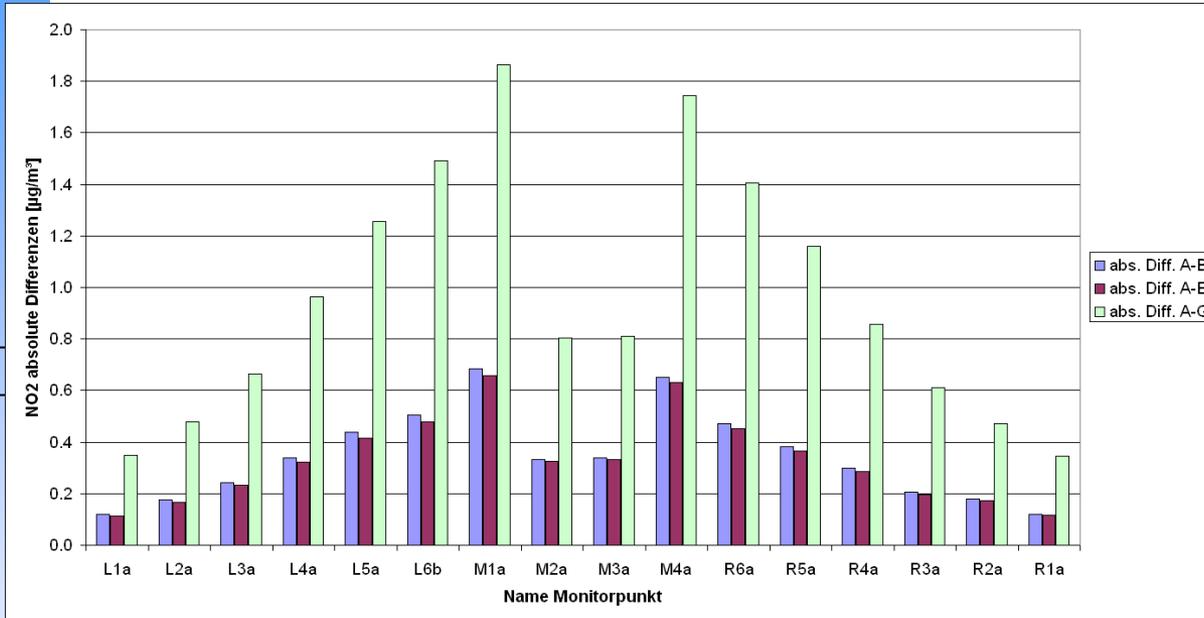
A: unbehandelt

B: Nord-Süd

E: „West-Ost“

G: Nord-Süd

„konst. 10 W/m²“



ohne LSW

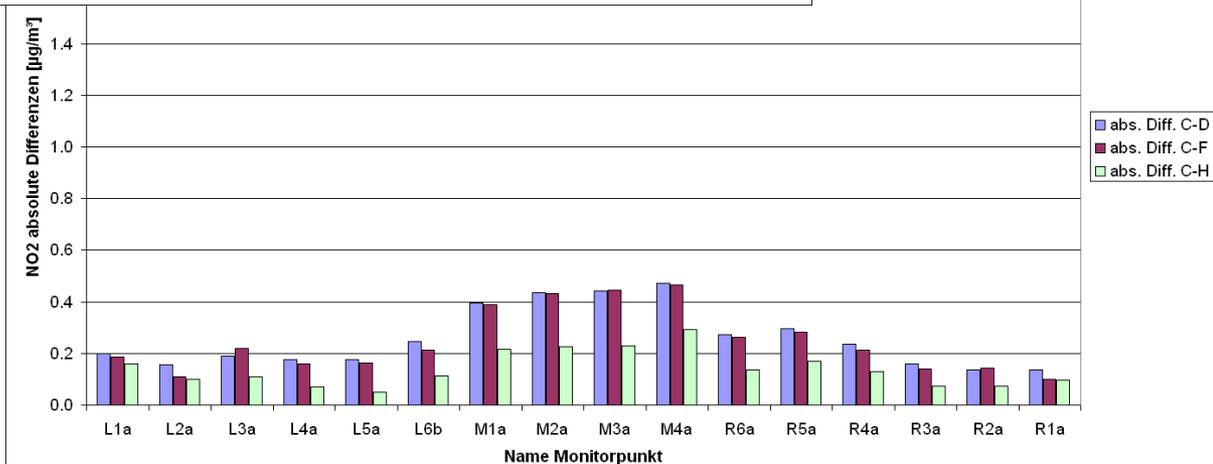
C: unbehandelt

D: Fahrbahn 500m

F: Fahrbahn 300m

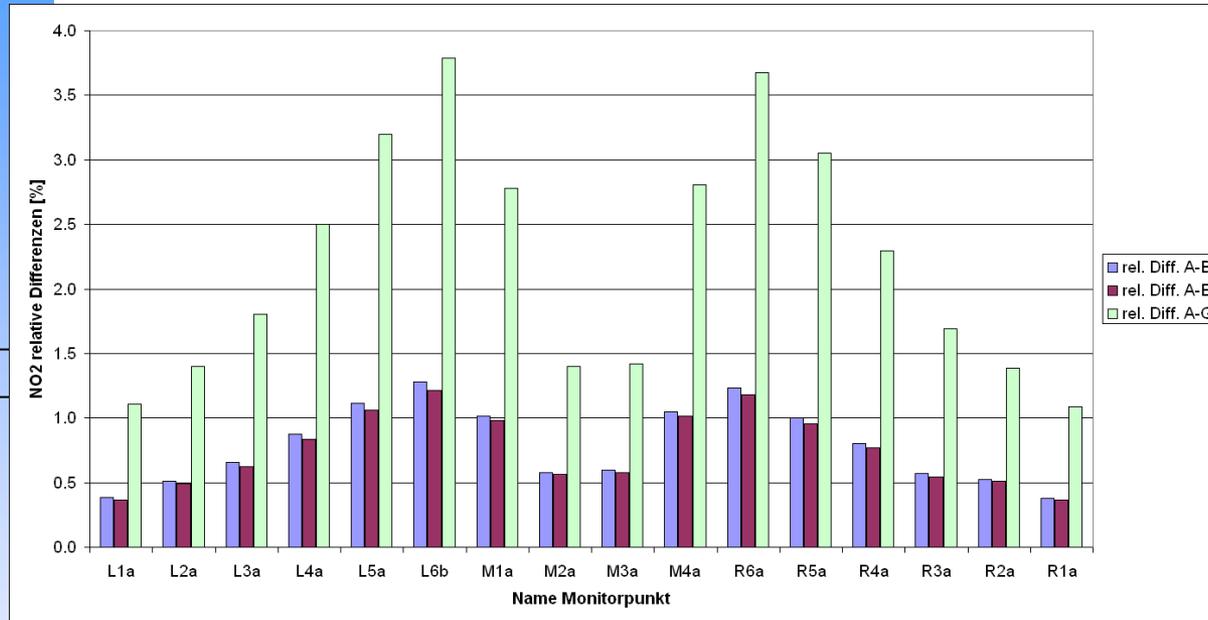
H: Fahrbahn 500m

„V_{dep,pk} halbiert“



- Übersicht
- Aufgabenstellung
- Vorgehensweise
- Eingangsdaten
- Datenaufbereitung
- Ergebnisse**
- Zusammenfassung

NO₂ relative Differenzen, Monitorpunkte



mit LSW

A: unbehandelt

B: Nord-Süd

E: „West-Ost“

G: Nord-Süd

„konst. 10 W/m²“

ohne LSW

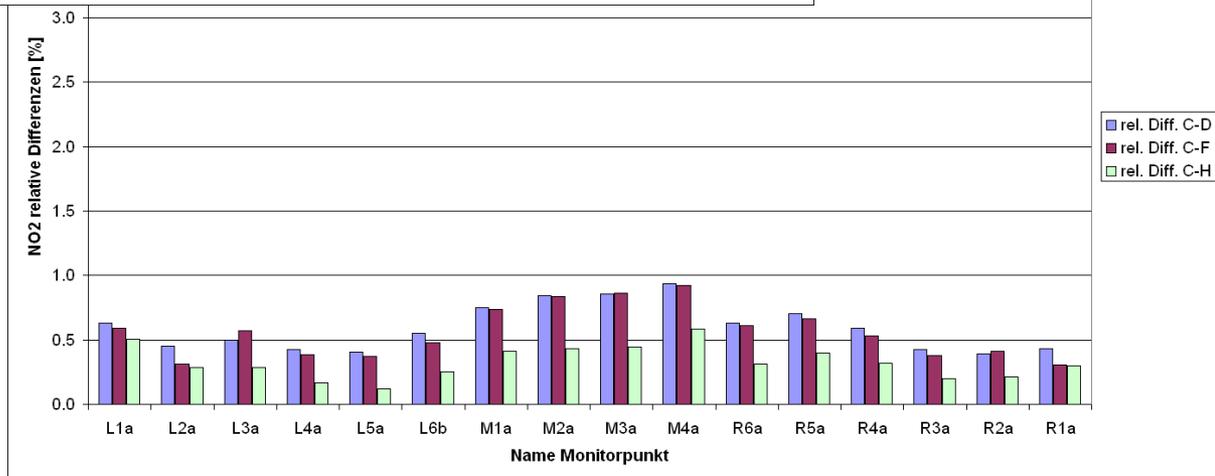
C: unbehandelt

D: Fahrbahn 500m

F: Fahrbahn 300m

H: Fahrbahn 500m

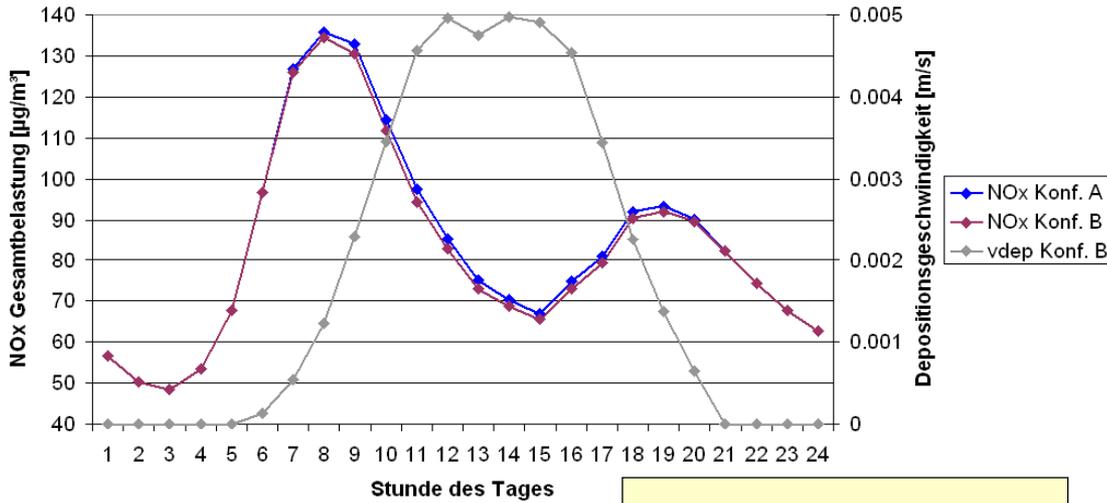
„V_{dep,pk} halbiert“



- Übersicht
- Aufgabenstellung
- Vorgehensweise
- Eingangsdaten
- Datenaufbereitung
- Ergebnisse**
- Zusammenfassung

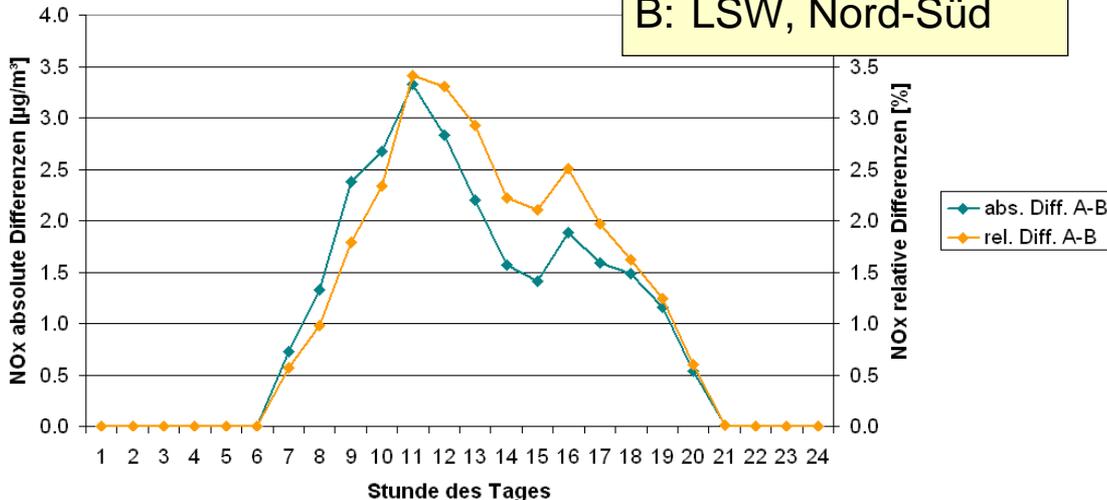
Folie 24

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



Zusammenfassung

- mittlere UV-A-Intensität: ~ 5 W/m²
- mittlere Depositionsgeschwindigkeit: 0.001 - 0.008 m/s
- Anteil deponierter an emittierter Masse < 1%
- 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
- Länge des photokatalytisch behandelten Abschnitts wirkt sich zwar auf Gesamtsumme der deponierten Masse aus, nicht aber auf Konzentration im Querschnitt
- Tagesverläufe der NO₂-Belastung mit ausgeprägtem Morgen- und Abendmaximum sind eher ungünstig für optimalen Stickoxidabbau
=> Ausrichtung der photokatalytischen Flächen gegenüber der Einfallrichtung der Strahlung ist dann eher von untergeordneter Bedeutung

Übersicht

Aufgabenstellung

Vorgehensweise

Eingangsdaten

Datenaufbereitung

Ergebnisse

Zusammenfassung

Folie 26

Kolloquium
“Luftqualität an Straßen”
30./31. März 2011
in Bergisch Gladbach
Lina Neunhäuserer
www.ivu-umwelt.de

Modellierung des Einflusses
photokatalytischer Oberflächen auf die
NO₂-Konzentration in der Luft an Verkehrswegen

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

Kolloquium „Luftqualität an Straßen“
am 30./31. März 2011 in Bergisch Gladbach

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