

BASt-Kolloquium „Luftreinhaltung durch Photokatalyse“ am 23.09.2015 in Bergisch Gladbach

Modellrechnungen zur Abschätzung der maximalen Wirkung einer LSW mit photokatalytischer Oberfläche - Vergleich unterschiedlicher Modelle

Matthias Rau



Christiane Schneider



Zielsetzung

Vorstellung von Ergebnissen aus der Untersuchung:

„Vergleich verschiedener Modellierungsprogramme zur Berechnung von Luftschadstoffen“

Untersuchung wurde begleitend zu der Pilotstudie

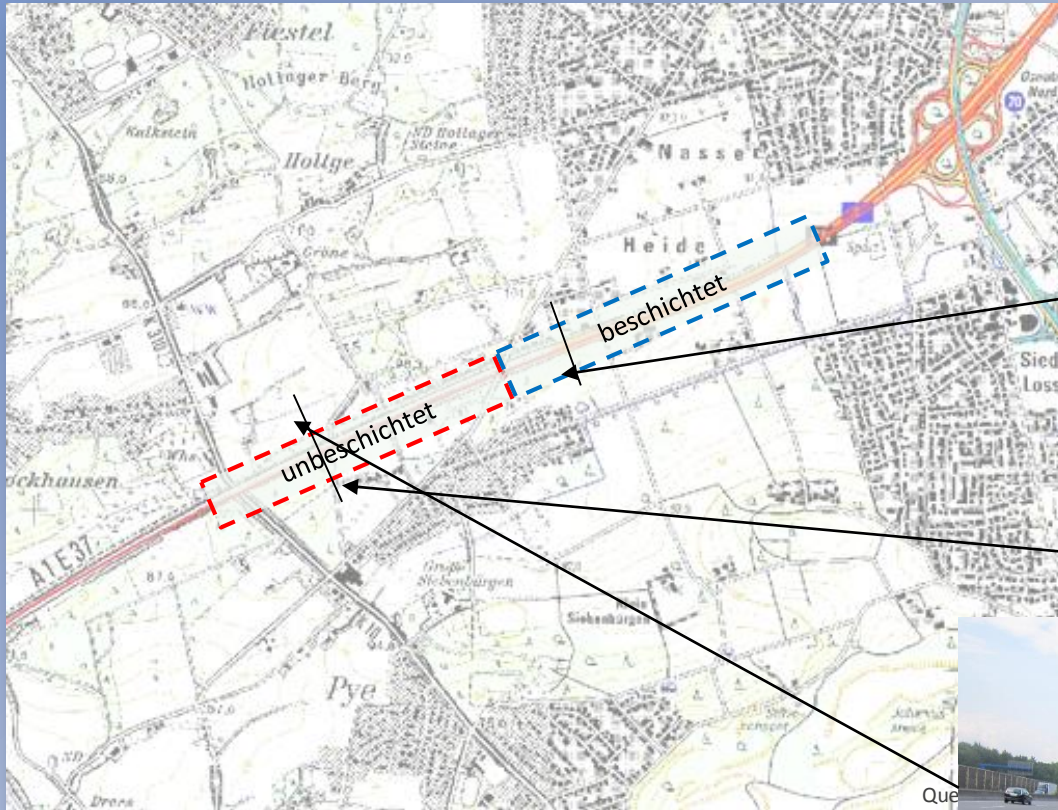
NO₂-Reduktion an TiO₂-dotierten LSW an der A1

durchgeführt.

Projektziel:

- Vergleich von drei Ausbreitungsmodellen
- Auswahl eines geeigneten Modells für ein Online-Monitoring-System
- Entwicklung eines Online-Monitoring-Systems

Messstationen an der Teststrecke A1



mit
 TiO_2

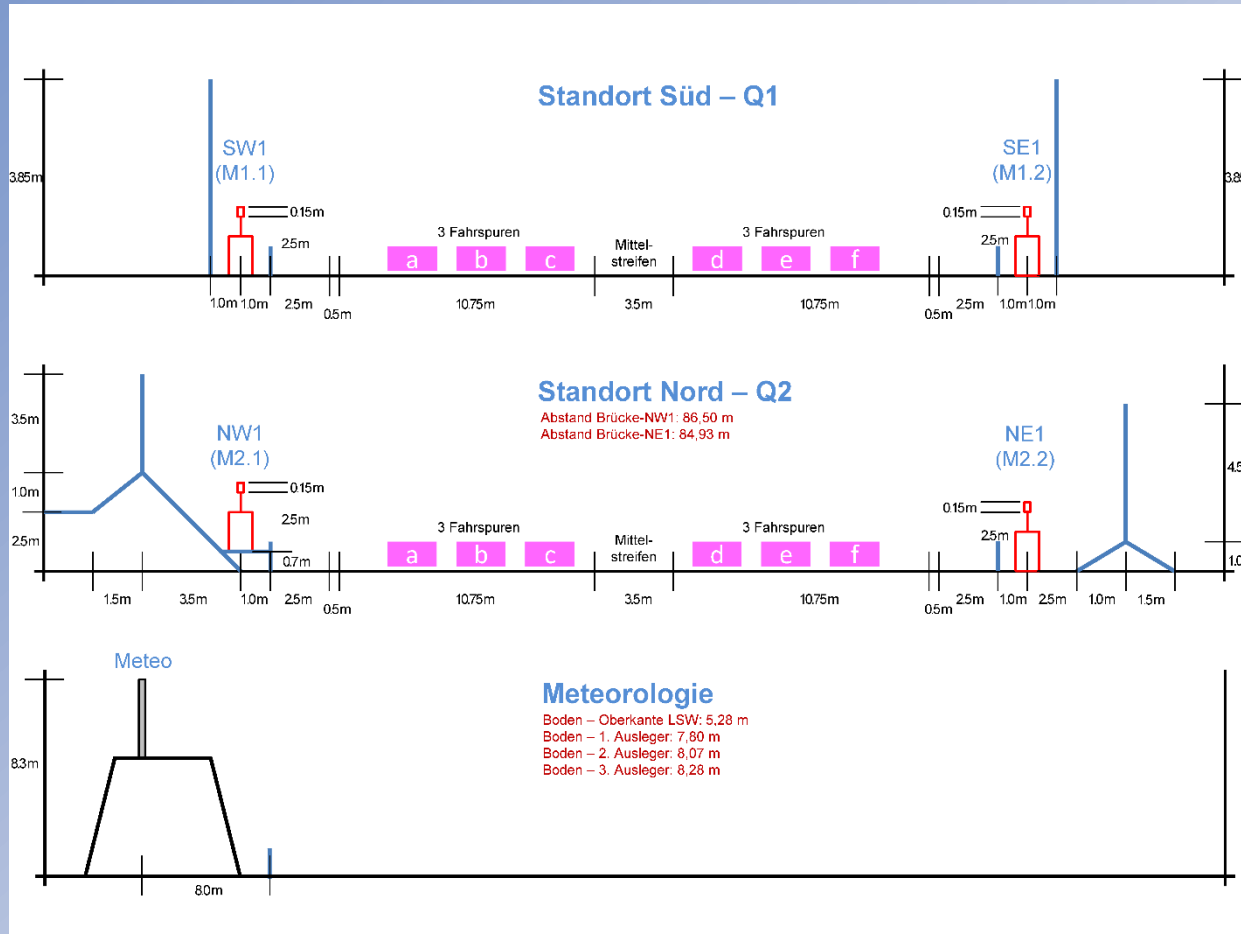
ohne
 TiO_2



Übersichtsdarstellung zur Lage der Teststrecke an der A1



Messquerschnitte schematisiert



Markante Unterschiede:

Unterschiedl. Geländehöhe außerhalb der LSW in Bezug zur Trasse

Differenzierte Anströmsituation:
Q1: beidseitig Baumbestand
Q2: westlich freie Anströmung, östl. lokale Beeinflussung

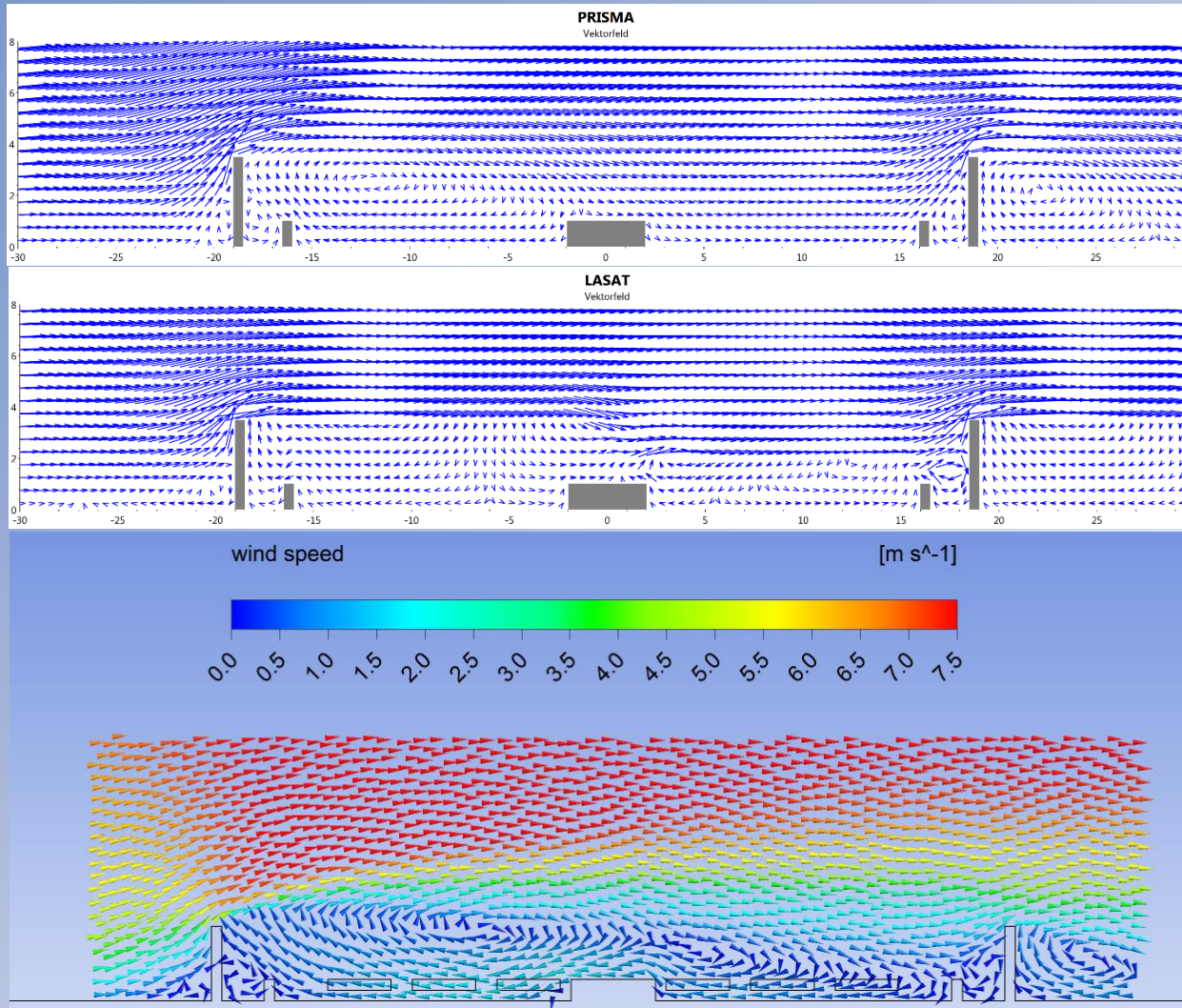
Abweichende Lage (Höhe, Abstand) der Messfühler zur jeweiligen LSW

→ Auswirkungen bzgl. Umsetzung in den Modellen und bzgl. des Vergleichs Messung - Rechnung

Projektkonzeption sowie Randbedingungen

- Auswahl von drei Modellen:
 - PRISMA (3-D prognostisches mikroskaliges Strömungsmodell für die Atmosphäre)
 - LASAT (Lagrange-Simulation von Aerosol-Transport)
 - CFD-Modell (Computational Fluid Dynamic Model Fluent; TNO)
- Anforderung an die Modelle: Abbildung der photokatalytischen Wirkung einer TiO₂-beschichteten LSW (Depositionsprozess)
- Modellvergleich
 - geeignete Randbedingungen für einen aussagefähigen Vergleich (*idealisierte Querschnitt, uref, drei vd, senkrechte Anströmung*)
- Modellvalidierung durch Vergleich Rechnung – Messung
 - umfangreiche Analyse und Plausibilisierung der Messdaten
 - hohe Qualität der Verkehrsdaten → Emissionsberechnungen

Ergebnisse Modellrechnungen (Beispiel) ohne Deposition



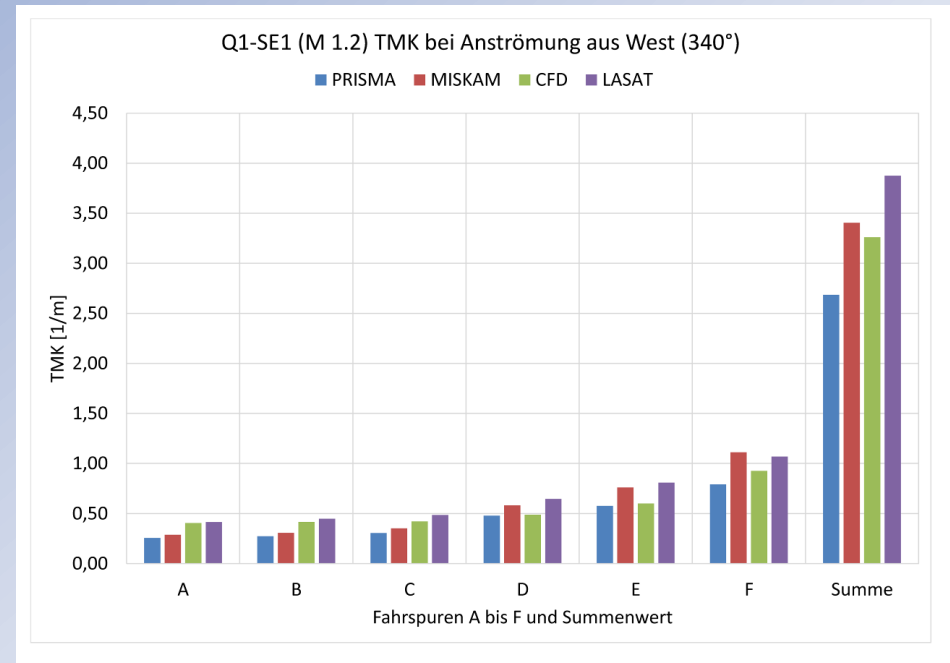
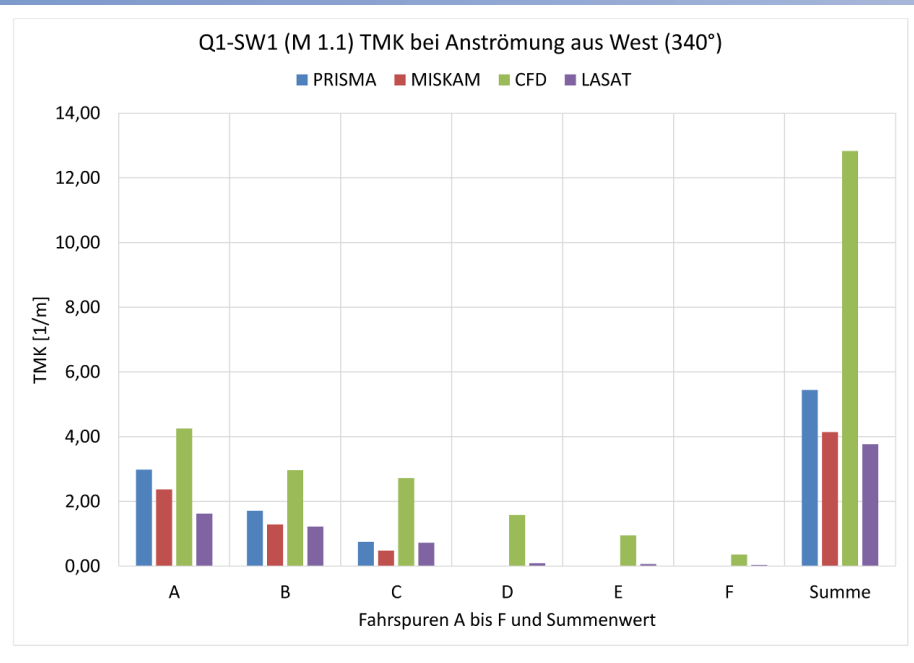
Idealisierter Querschnitt Q1
(unbeschichtet)

Anströmung von links (senkrecht
zur LSW)

teilweise deutliche Unterschiede
in der Ausbildung und
Ausdehnung der Nachlaufwirbel

→ Auswirkungen auf das
Konzentrationsniveau im
Bereich der Messpunkte

Ergebnisse Modellrechnungen (Beispiel) ohne Deposition



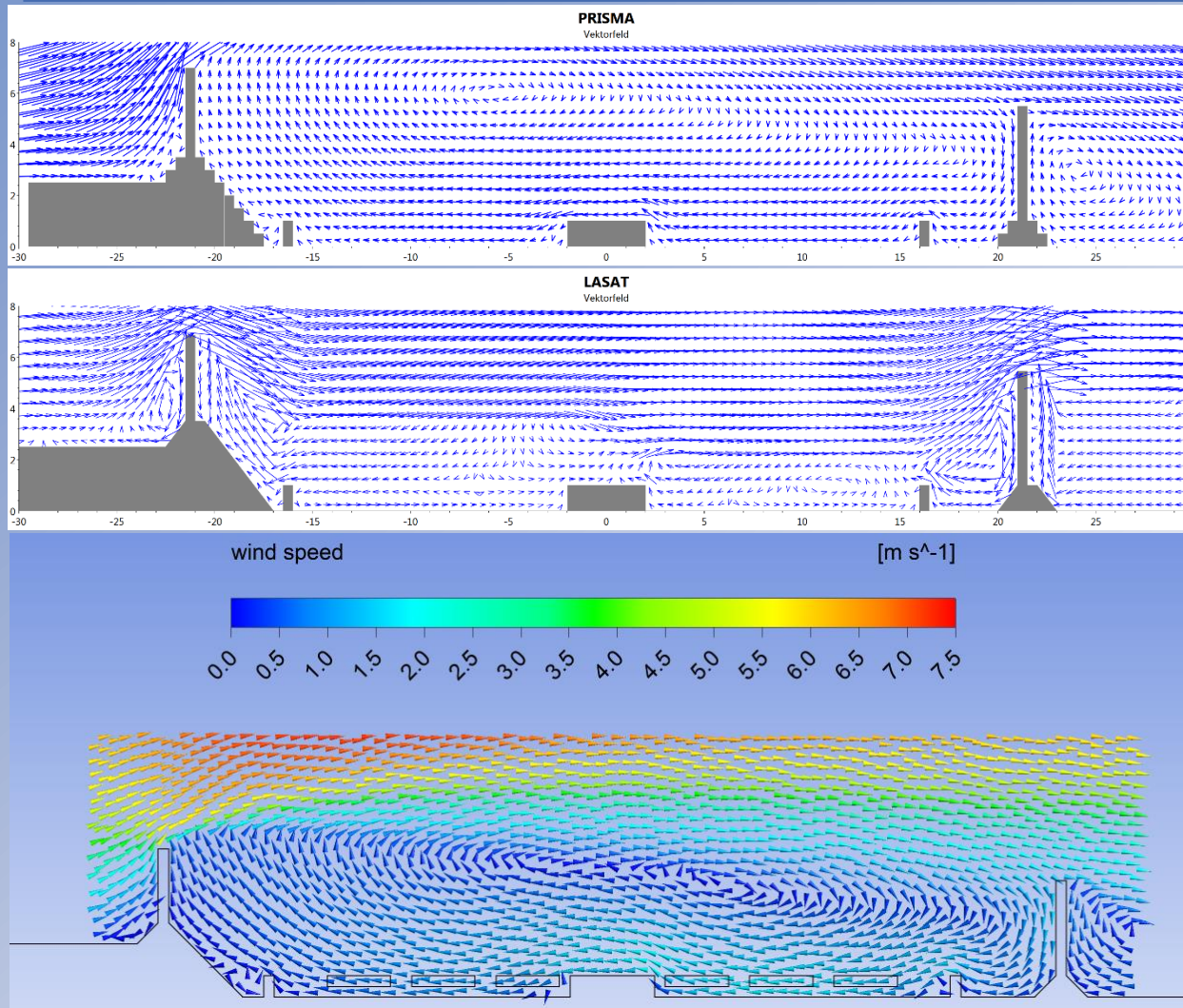
Messpunkt in Lee der luvseitigen Wand
am idealisierten Querschnitt Q1
(unbeschichtet)

Anströmung von links (senkrecht zur LSW)

Messpunkt in Luv der leeseitigen Wand
am idealisierten Querschnitt Q1
(unbeschichtet)

Anströmung von links (senkrecht zur LSW)

Ergebnisse Modellrechnungen (Beispiele) ohne Deposition



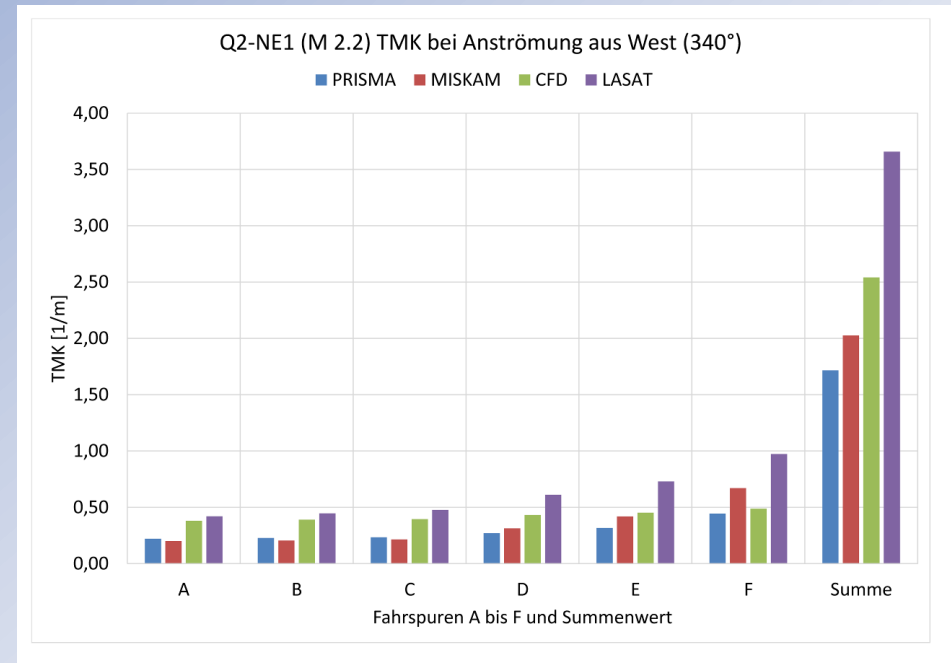
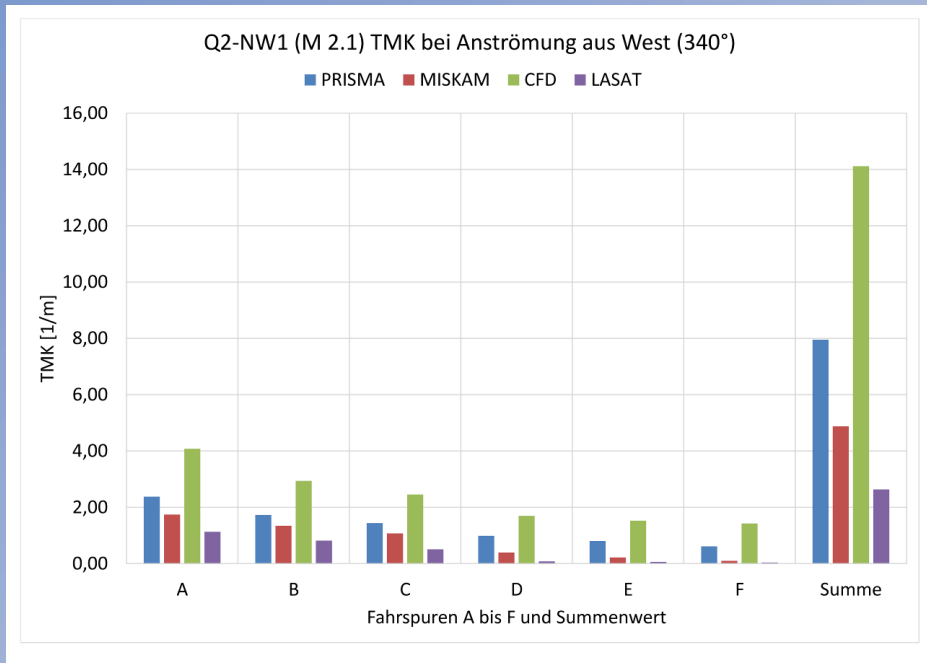
Idealisierter Querschnitt Q2
(beschichtet)

Anströmung von links (senkrecht
zur LSW)

teilweise deutliche Unterschiede
in der Ausbildung und
Ausdehnung der Nachlaufwirbel
sowie in der Strömungsstruktur

→ Auswirkungen auf das
Konzentrationsniveau im
Bereich der Messpunkte

Ergebnisse Modellrechnungen (Beispiel) ohne Deposition



Messpunkt in Lee der luvseitigen Wand
am idealisierten Querschnitt Q2 (beschichtet)

Anströmung von links (senkrecht zur LSW)

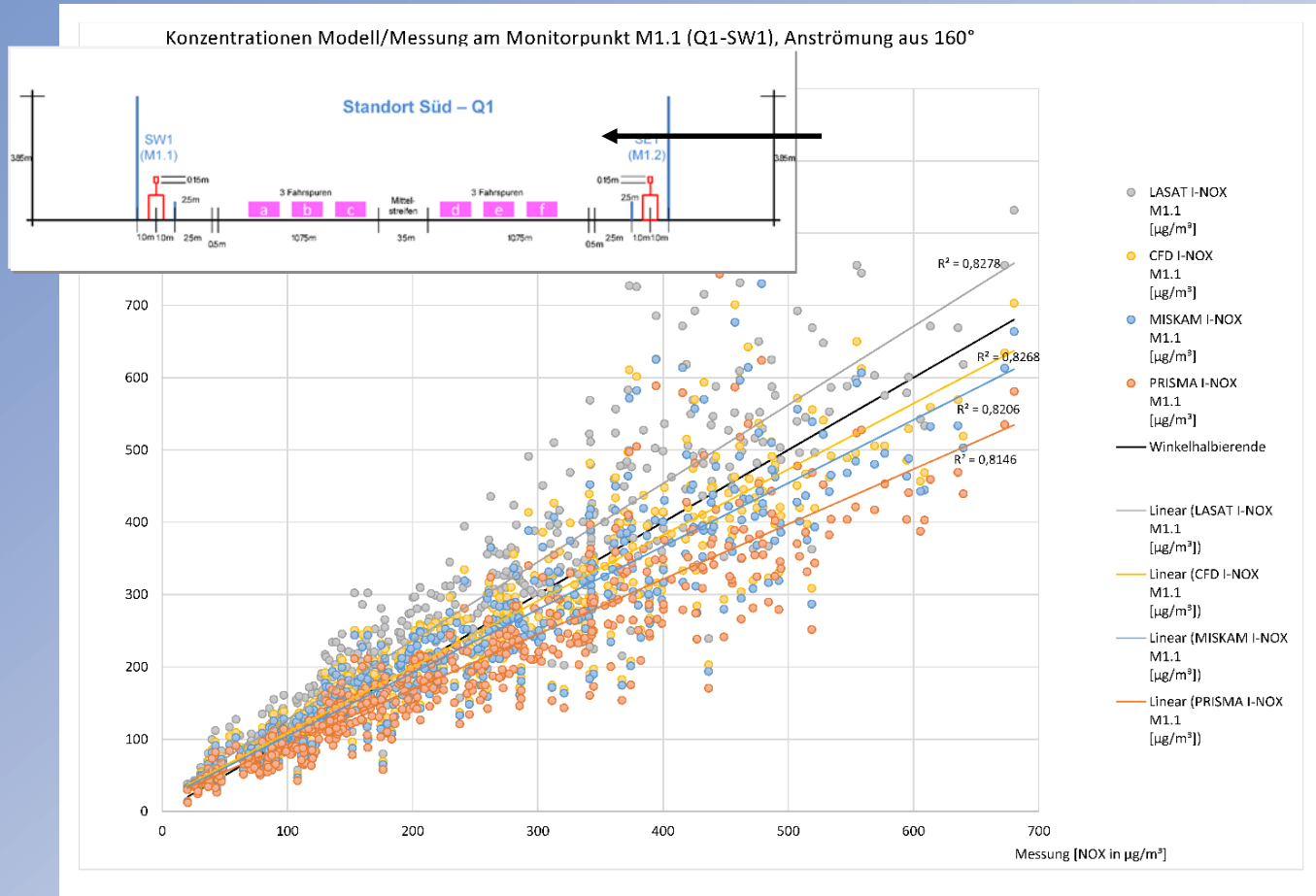
Messpunkt in Luv der leeseitigen Wand
am idealisierten Querschnitt Q2 (beschichtet)

Anströmung von links (senkrecht zur LSW)

Vergleich Modellrechnungen mit Messungen: Analyse Messdaten

- Aufbereitung der Messdaten (Beseitigung unplausibler Datensätze)
- Analyse Messdaten: Unterschiede der Messungen an den einzelnen Messpositionen
- Wirkung der TiO₂-Beschichtung
 - Betrachtung gleicher Querschnitt und unterschiedlicher Zeitraum (Transmissionskoeffizienten zur Eliminierung unterschiedlicher WG und unterschiedlicher Emission)
→ **nicht zielführend**
 - Betrachtung unterschiedlicher Querschnitt und gleicher Zeitraum
 - Unsicherheiten bei Ermittlung der Emission und Messungenauigkeiten in den Windmessungen sind ausgeschlossen
 - Abweichungen sind durch unterschiedliche Geometrie der Querschnitte und Lage der Messfühler zur LSW gegeben

Vergleich Modellrechnungen mit Messungen



Beispiel:
Anströmung aus östlicher Richtung,
Messpunkt auf der Luvseite der leeseitigen Wand

Deutlich bessere Übereinstimmung zwischen Rechnungen und Messungen für die Fälle, bei denen der Messpkt in Luv der leeseitigen Wand liegt (s. Beispiel)

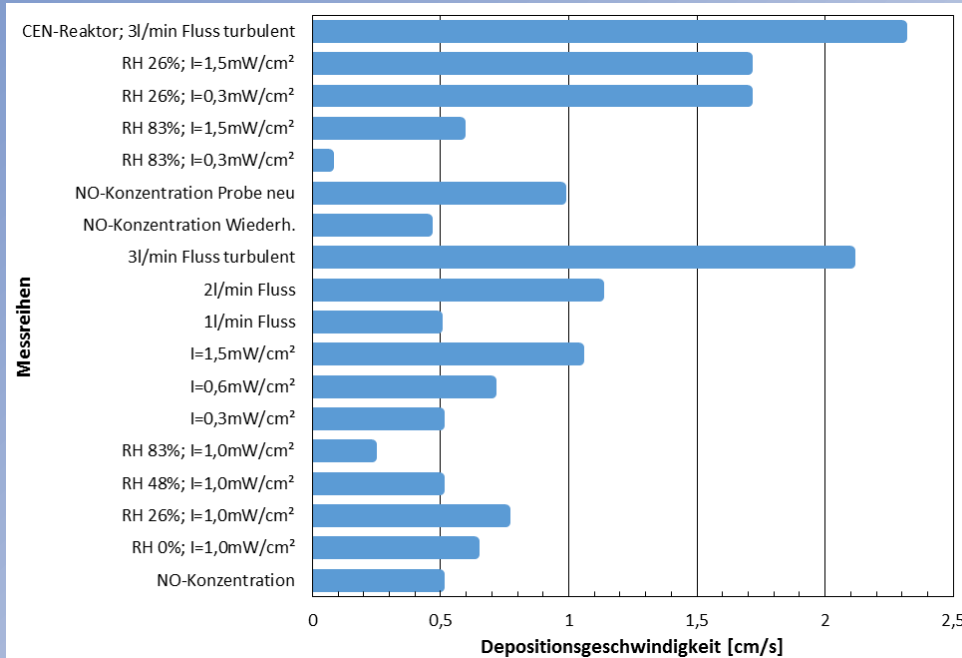
Deutlich stärkere Abweichungen bei Messpunkten in Lee der luvseitigen Wand (Rezirkulationszone)

Vergleich Modellrechnungen mit Messungen

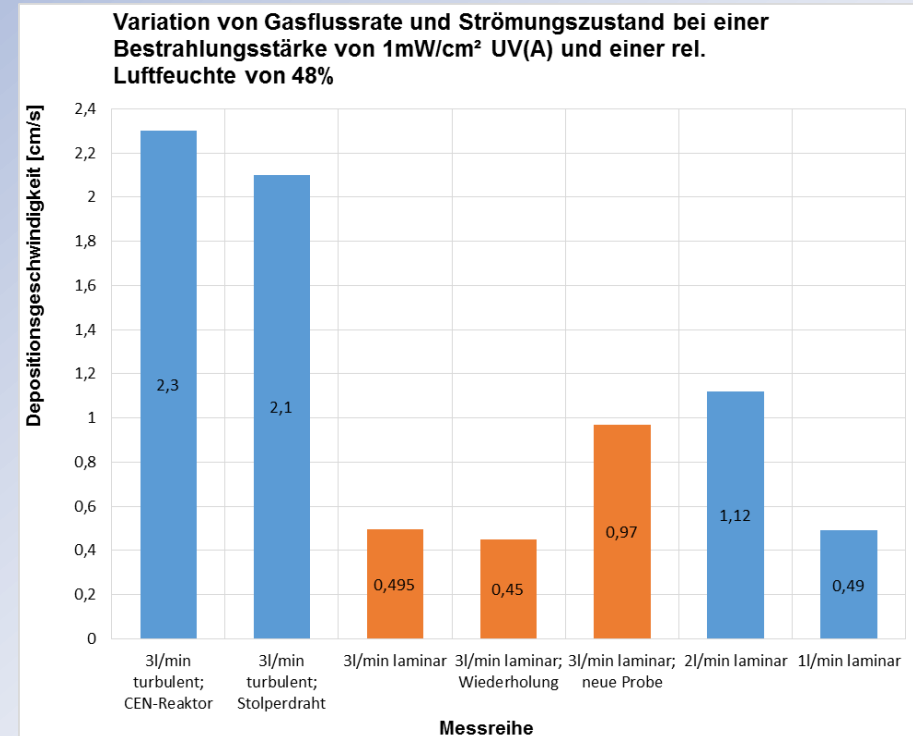
- **Gründe für Differenzen Messung – Rechnung:**
 - Genauigkeit der für die Emissionsberechnungen zur Verfügung stehenden Verkehrsdaten (fahrspurfein erforderlich)
 - Genauigkeit der Windmessung – ungestörte Anströmung als Voraussetzung
 - Geometrischer Einfluss: „idealisierte Querschnitte“ für die Modellrechnungen
 - lokale Einflüsse durch Vegetation, Bebauung,...
 - Qualität der Messungen
 - Einfluss verkehrserzeugter Turbulenz und Thermik

Vergleich Modellrechnungen mit vd

- Laboruntersuchungen zur Ermittlung von vd (Prof. Bahnemann)



Depositionsgeschw. für NO für alle im Labor durchgeführten Untersuchungen



Depositionsgeschw. für NO für unterschiedliche Strömungszustände

→ Für systematische Abhängigkeiten wären weitere Untersuchungen erforderlich

Vergleich Modellrechnungen mit v_d

Minderungsfaktoren für die Konzentrationen an den Monitorpunkten in Bezug zu den Werten bei $v_d = 0$									
Depositionsgeschwindigkeit	$v_d = 0,2 \text{ cm/s}$			$v_d = 0,8 \text{ cm/s}$			$v_d = 1,4 \text{ cm/s}$		
Anströmung aus 160° (Ost)	PRISMA	LASAT	CFD	PRISMA	LASAT	CFD	PRISMA	LASAT	CFD
M1.1 (Q1-SW1)	0,2%	0,1%	0,3%	0,6%	1,9%	0,9%	1,1%	3,7%	3,0%
M1.2 (Q1-SE1)	0,5%	0,5%	0,3%	2,3%	2,3%	0,9%	3,8%	4,0%	1,9%
M2.1 (Q2-NW1)	0,2%	0,1%	0,3%	0,8%	1,7%	1,2%	1,3%	3,2%	1,8%
M2.2 (Q2NE1)	0,2%	1,6%	0,2%	0,9%	3,0%	0,6%	1,5%	4,3%	0,8%
Anströmung aus 340° (West)	PRISMA	LASAT	CFD	PRISMA	LASAT	CFD	PRISMA	LASAT	CFD
M1.1 (Q1-SW1)	0,5%	0,5%	0,3%	2,3%	2,3%	0,9%	3,8%	4,0%	1,9%
M1.2 (Q1-SE1)	0,2%	0,1%	0,3%	0,6%	1,9%	0,9%	1,1%	3,7%	3,0%
M2.1 (Q2-NW1)	0,0%	0,0%	0,1%	0,2%	0,0%	0,2%	0,3%	0,7%	0,3%
M2.2 (Q2NE1)	0,3%	1,5%	0,3%	1,1%	2,8%	1,2%	1,8%	4,1%	1,9%

v_d -Geschwindigkeiten für NO_x ermittelt

An den Messpunkten:

NO_x -Gesamtminderung: 0,3 – 0,5% für geringes v_d
 NO_x -Gesamtminderung: 0,6 – 2,3% für mittleres v_d
 NO_x -Gesamtminderung: max. 1,1 – 4,0% für hohes v_d

Vergleich Modellrechnungen mit v_d

Prozentuale Minderung der NO_x -Konzentrationen am Modellrand gegenüber den Werten bei $v_d = 0$			
	PRISMA	LASAT	CFD
Querschnitt 1 (symmetrisch): Anströmung aus 160° bzw. 340°			
$v_d = 0,2 \text{ cm/s}$	0,15%	0,60%	0,29%
$v_d = 0,8 \text{ cm/s}$	0,61%	2,15%	0,93%
$v_d = 1,4 \text{ cm/s}$	1,03%	3,61%	1,41%
Querschnitt 2: Anströmung aus 160°			
$v_d = 0,2 \text{ cm/s}$	0,18%	0,43%	0,30%
$v_d = 0,8 \text{ cm/s}$	0,69%	1,82%	1,03%
$v_d = 1,4 \text{ cm/s}$	1,16%	3,16%	1,57%
Querschnitt 2: Anströmung aus 340°			
$v_d = 0,2 \text{ cm/s}$	0,24%	0,42%	0,30%
$v_d = 0,8 \text{ cm/s}$	0,91%	1,96%	1,05%
$v_d = 1,4 \text{ cm/s}$	1,52%	3,42%	1,59%

v_d -Geschwindigkeiten für NO_x ermittelt

NO_x -Gesamt-minderung: < 1% für geringes v_d
 NO_x -Gesamt-minderung: < 2% für mittleres v_d
 NO_x -Gesamt-minderung: max. 3,6% für hohes v_d

Fazit

- Modellergebnisse unterscheiden sich infolge der Umsetzung kleinräumiger Details
- Alle Modelle zeigen lediglich geringe NO_x -Minderungen in Folge der katalytischen Oberflächenbeschichtung
- Dies bestätigt die Messungen, bei denen keine deutliche Minderung erkannt werden konnte.
- Vergleich von gemessenen und berechneten Immissionskonzentrationen (Modell PRISMA) zeigen für längere Mittelungszeiträume Abweichungen bei NO_x zwischen -31% und 48%, bei NO_2 Abweichungen zwischen -19% und 25% (Aktivmessungen)