

**Dortmunder Pilotprojekt**

# **Park der Partnerstädte / Leonie-Reygers-Terrasse**

**mit**

**photokatalytisch aktiver Betonoberfläche**



○ **Bauherr**

➔ Stadt Dortmund (Sylvia Uehlendahl)

○ **Betontechnologie / Photokatalytisch aktiver Beton**

➔ HeidelbergCement AG (Siegfried Riffel)

○ **Immissionsmessungen von NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, J(NO<sub>2</sub>) und meteorologische Daten**

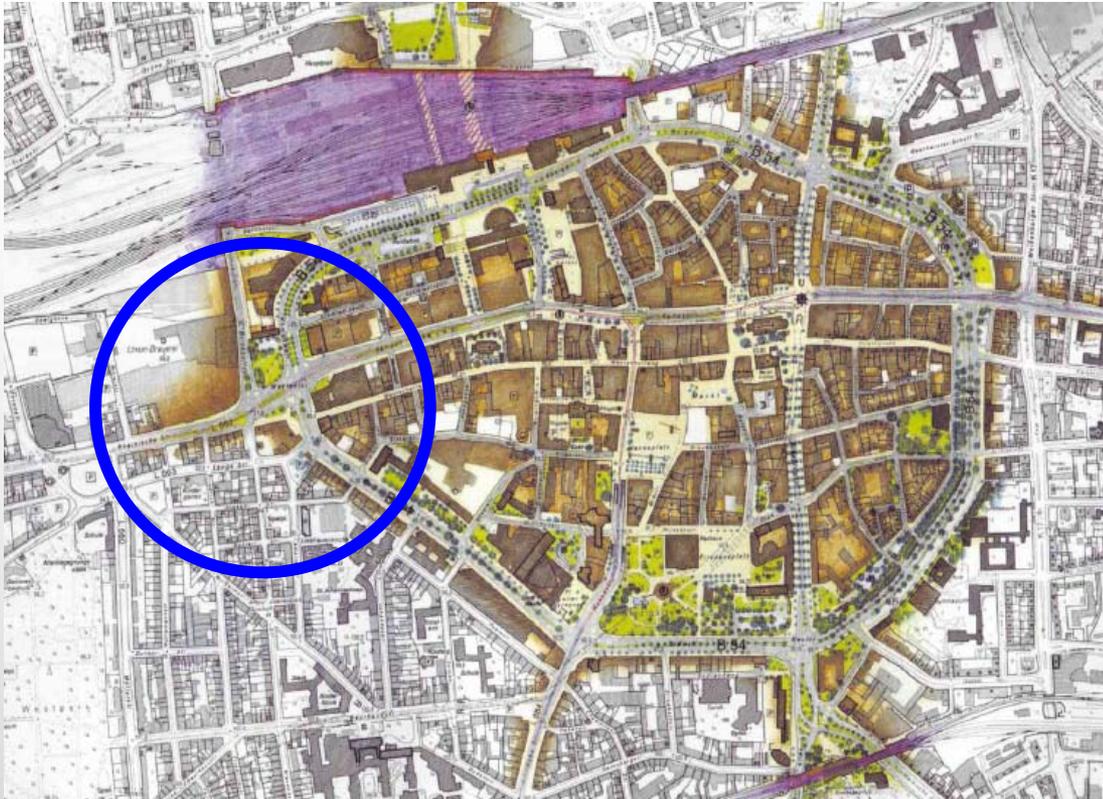
➔ Bergische Universität Wuppertal (BUW) (Michael Gallus)

○ **Numerische Simulationen**

➔ Ingenieurbüro Lohmeyer (Dr.-Ing. Thomas Flassak)

**Dortmunder Pilotprojekt  
Park der Partnerstädte / Leonie-Reygers-Terrasse  
mit photokatalytisch aktiver Betonoberfläche**

Stadt Dortmund  
Tiefbauamt



**Das Pilotprojekt  
Park der Partnerstädte /  
Leonie-Reygers-Terrasse**

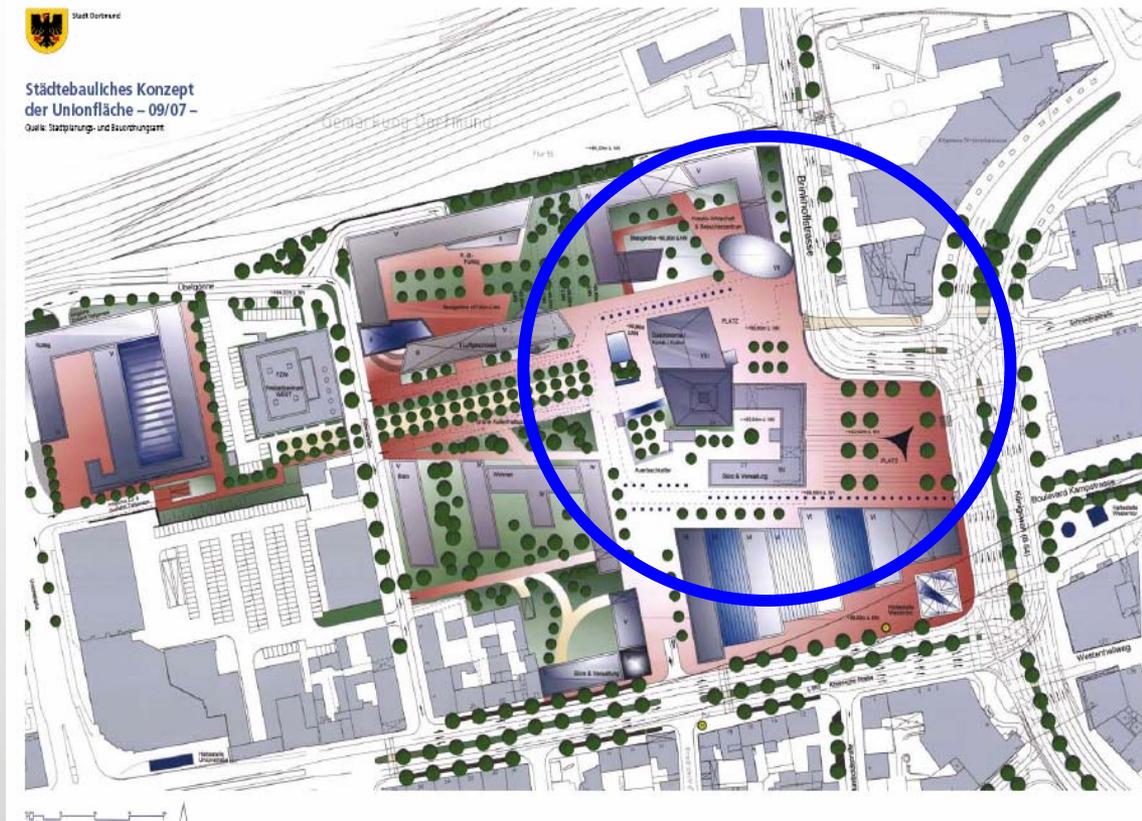
**ist Bestandteil des  
Stadtumbaugebietes  
Rheinische Straße  
(Förderprogramm  
Stadtumbau West),**

**befindet sich in zentraler  
Innenstadtlage**

**und**

**schließt östlich an den  
hoch belasteten Wallring  
an.**

# Dortmunder Pilotprojekt Park der Partnerstädte / Leonie-Reygers-Terrasse mit photokatalytisch aktiver Betonoberfläche



## Durch:

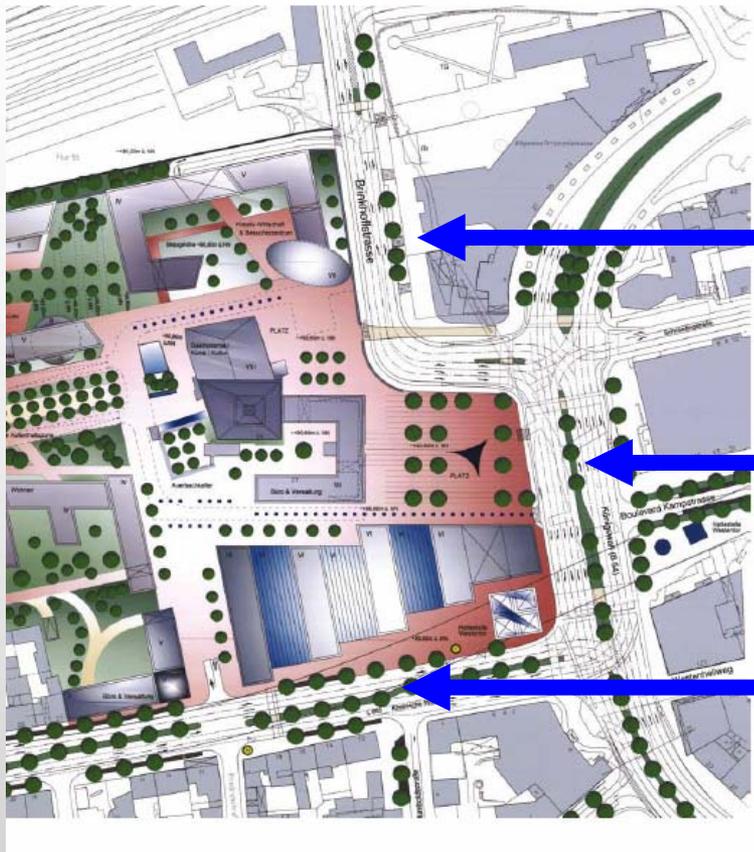
die Entwicklung des ehemaligen Geländes der Union Brauerei,

die Neuordnung und Bündelung der Verkehrsflächen

und

die Verlegung der Stadtbahn in den Untergrund

entstanden zwei neue Platzflächen vor dem Dortmunder U.



## Verkehrsbelastung

**Brinkhoffstraße mit 17.500 Kfz/24h  
(4 durchgängige Fahrspuren)**

**Königswall mit 42.000 Kfz/24h  
(8 durchgängige Fahrspuren)**

**Rheinische Straße mit 24.000 Kfz/24h  
(4 durchgängige Fahrspuren)**



Quelle: Stadt Dortmund/ Andreas Hermanns

## **Platzgestaltung:**

**Oberflächenbelag aus  
Ortbeton mit feiner  
Besenstrichtextur,**

**gegliedert durch  
40 cm breite  
Granitbänder,  
eingefasst mit  
Edelstahlschienen,**

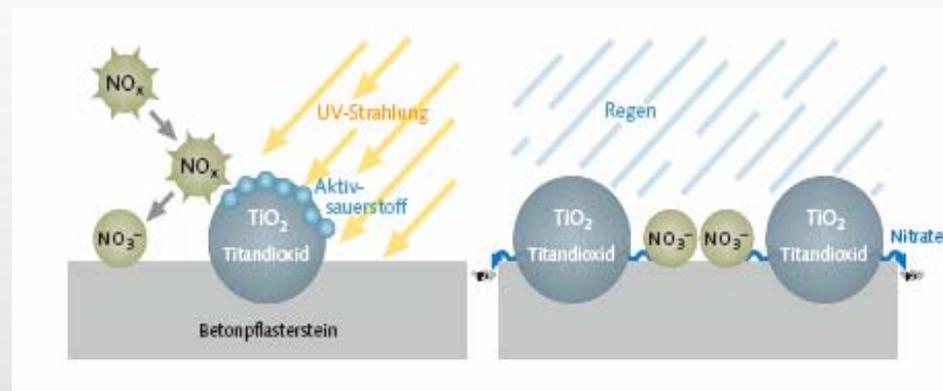
**zurückhaltende  
Gestaltung ohne  
Bepflanzung auf  
nördlichem Platz,**

**vier „Grünlinsen“ mit  
Betoneinfassungen,  
auf südlichem Platz.**



## Die Entscheidung

Für das Ereignis „Kulturhauptstadt Ruhr 2010“ wurde der U-Turm als Zentrum für Kunst und Kreativität eröffnet. Hierfür wurden die beiden Platzflächen zunächst in einer ersten Ausbaustufe (Dränasphalt in der Oberfläche) hergestellt.



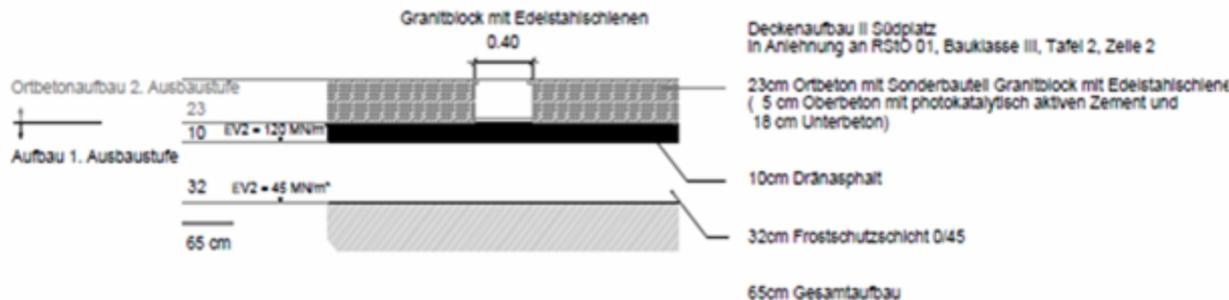
Quelle: HeidelbergCement

Im Zuge der Ausschreibung für die 2. Ausbaustufe hat sich die Stadt Dortmund dazu entschieden, die Betonfläche mit einem photokatalytisch aktiven Zement herzustellen, um so eine Verbesserung der Luftqualität entlang des hoch belasteten Wallrings zu erzielen.

Im Jahr 2011 erfolgte dann die EU-weite Ausschreibung für die Umsetzung des Wettbewerbsergebnisses des Büros Hermanns in der 2. Ausbaustufe mit den entsprechenden Anforderungen an einen photokatalytisch aktiven Beton.



## Der Platzaufbau



Zur Ausführung kam ein zweischichtiger Beton, da so nur der Oberbeton in einer Dicke von 5 cm mit dem photokatalytisch aktiven Zement (TioCem®) herzustellen war.

Die Platzfläche wurde in mehrere Abschnitte unterteilt, so dass jeweils ein Abschnitt in einer Tagesleistung komplett betoniert werden konnte.

Da die Platzfläche für Veranstaltungen genutzt wird, ist mit entsprechenden Einzellasten zu rechnen: Bauklasse III (RStO).

**Dortmunder Pilotprojekt  
Park der Partnerstädte / Leonie-Reygers-Terrasse  
mit photokatalytisch aktiver Betonoberfläche**



**Vorab wurden die  
Natursteinbänder  
gesetzt.**

Quelle: HeidelbergCement



**Vorab wurden die  
Natursteinbänder  
gesetzt.**

**Betoniert wurde  
zunächst der  
18 cm dicke  
Unterbeton**

Quelle: HeidelbergCement



**Vorab wurden die  
Natursteinbänder  
gesetzt.**

**Betoniert wurde  
zunächst der  
18 cm dicke  
Unterbeton**

**und abschließend  
erfolgte der Einbau  
des 5 cm dicken  
photokatalytisch  
aktiven Oberbetons  
(TioCem®).**

Quelle: HeidelbergCement



**Anschlussdetail:  
Ortbetonfläche mit  
Besenstrich /  
Granitband mit  
Edelstahleinfassung**



Quelle: HeidelbergCement



<b>Betonzusammensetzung</b>		<b>Unterbeton</b>	<b>Oberbeton (TioCem)</b>
Beton C30/37 – XF4, XM2, WS			
CEM I 42,5 N (tb), HC	[kg/m <sup>3</sup> ]	360	-
CEM II/A-S 42,5 R (tx), HC	[kg/m <sup>3</sup> ]	-	430
Sand 0/2	[kg/m <sup>3</sup> ]	666	648
Splitt 2/8	[kg/m <sup>3</sup> ]	242	1094
Splitt 8/16	[kg/m <sup>3</sup> ]	447	-
Splitt 16/22	[kg/m <sup>3</sup> ]	484	-
Wasser (Frischwasser)	[kg/m <sup>3</sup> ]	155	180
w/z-Wert (eq)		0,43	0,42
Rohdichte	[kg/m <sup>3</sup> ]	2354	2352
Mörtelgehalt	[dm <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	567	640
Konsistenz (Handeinbau)	a [mm]		
FM (1,0 / 1,0 % v.Z) VC1051, Sika	[kg/m <sup>3</sup> ]	3,60	4,30
LP (0,20 / 0,40 % v.Z) LPS V, Sika	[kg/m <sup>3</sup> ]	0,72	1,72

Quelle: HeidelbergCement



<b>Erstprüfung</b>		Unterbeton	Oberbeton (TioCem)
<b>Frischbeton</b>			
Temperatur Luft / Beton	[°C]	19 / 20	20 / 21
Konsistenz	$a_{10 / 45 \text{ min}}$ [mm]	480 / 450	480 / 440
w/z-Wert (Darrversuch)		0,43	0,42
Luftporengehalt	[Vol.-%]	5,4	5,8
Rohdichte	[kg/m <sup>3</sup> ]	2360	2390
<b>Festbeton</b>			
Rohdichte	[kg/m <sup>3</sup> ]	2364	2388
Druckfestigkeit	$f_{\text{cm,cube}}$ [N/mm <sup>2</sup> ]	2d	18,8
		7d	36,2
		28d	51,3
NO <sub>x</sub> -Abbaurrate (HTC-Reaktor)	[%]	-	60,0

Quelle: HeidelbergCement



<b>Eigenüberwachung</b>		Unterbeton	Oberbeton (TioCem)
<b>Frischbeton</b>			
Temperatur Luft / Beton	[°C]	4 - 16 / 10 - 20	8 - 20 / 13 - 21
Konsistenz (Einbau)	a [mm]	455 i.M.	480 i.M.
Rohdichte	[kg/m <sup>3</sup> ]	2335 i.M.	2425 i.M.
Luftporengehalt (nach d. Pumpe) [Vol.-%]		5,5 i.M.	5,6 i.M.
<b>Festbeton</b>			
Druckfestigkeit	$f_{cm,cube}$ [N/mm <sup>2</sup> ] 28 d	51,4	53,1
Messung der NO <sub>x</sub> -Abbaurrate nach UNI 11247:2007 (HTC-Reaktor)			
NO-Abbaurrate	[mg/m <sup>2</sup> h]	-	2,98
NO <sub>2</sub> -Abbaurrate	[mg/m <sup>2</sup> h]	-	0,14
NO <sub>x</sub> -Abbaurrate	[mg/m <sup>2</sup> h]	-	3,12
NO <sub>x</sub> -Abbaurrate	[%]	-	43,0
Aktivitätsindex	[-]	-	sehr hoch

Quelle: HeidelbergCement



Quelle: HeidelbergCement

**Platzfläche:**

**3.335 m<sup>2</sup> Ortbeton  
1.385 m Granitblöcke  
1.000 m<sup>2</sup> Großpflaster  
270 m Einfassung der  
Pflanzlinsen mit  
288 Fertigteilen**

**Ortbeton:**

**770 m<sup>3</sup> Beton  
davon 170 m<sup>3</sup>  
photokatalytisch  
aktiv  
(TioCem®)**

**Gesamtbaukosten:**

**ca. 4.300.000 €**



**Ziel des Dortmunder Pilotprojektes ist es, durch die photokatalytische aktive Wirkung des Betons eine Verbesserung der Luftqualität zu erzielen.**

# Messungen und Simulation

- Immissionsmessungen von NO, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, J(NO<sub>2</sub>) und meteorologische Daten (BUW)

Zeitraum 30.05. – 07.06.2011 „Nullmessung (a)“ vor dem Einbau des TioCem<sup>®</sup>-Betons

Laboruntersuchung des TioCem<sup>®</sup>-Betons

Zeitraum 30.10. – 23.11.2012 „Istmessung (b)“ nach dem Einbau des TioCem<sup>®</sup>-Betons

- Kombination mit numerischen Simulationen (Ing.- Büro Lohmeyer)

# Methoden und Material

## Messorte in Dortmund:

- 1a) Messbus BUW (2011)  
„Nullmessung“



# Methoden und Material

## Messorte in Dortmund:

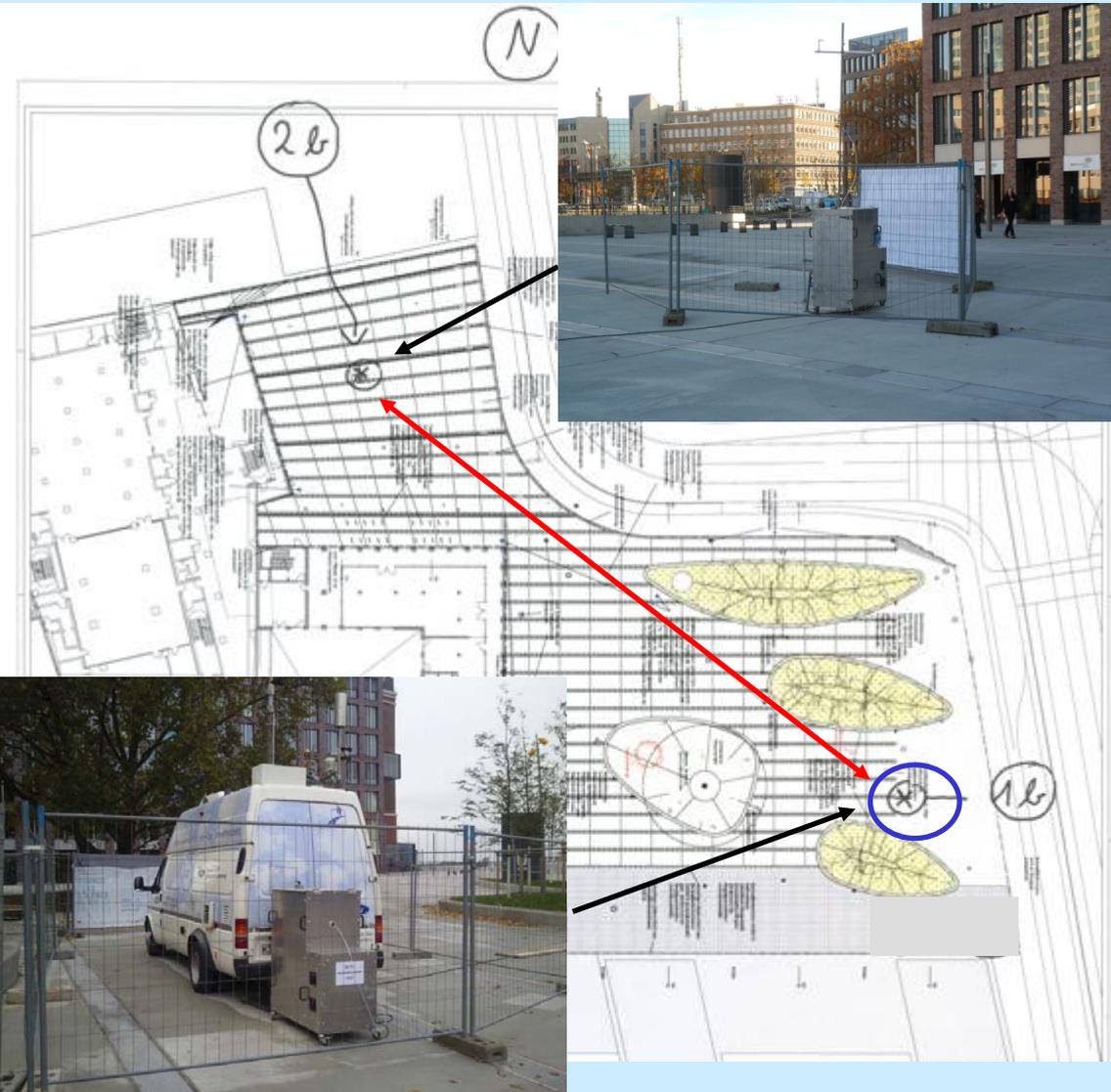
- 1b) Messbus BUW und
- 2b) Messcontainer (2012)  
„Istmessung“

### → Luv-Lee Messung:

Station 1b) und Station 2b),  
Wind: SO (135°) oder NW  
(315°)

### → Gradienten Messung:

Station 1b), Messungen auf  
3 Höhen (0,5; 1,5 u. 3,5 m)



# Ergebnisse und Diskussion

„Nullmessung“

30.05. – 07.06.2011

NO<sub>2</sub>: 46 ± 21 µg/m<sup>3</sup> ☹️

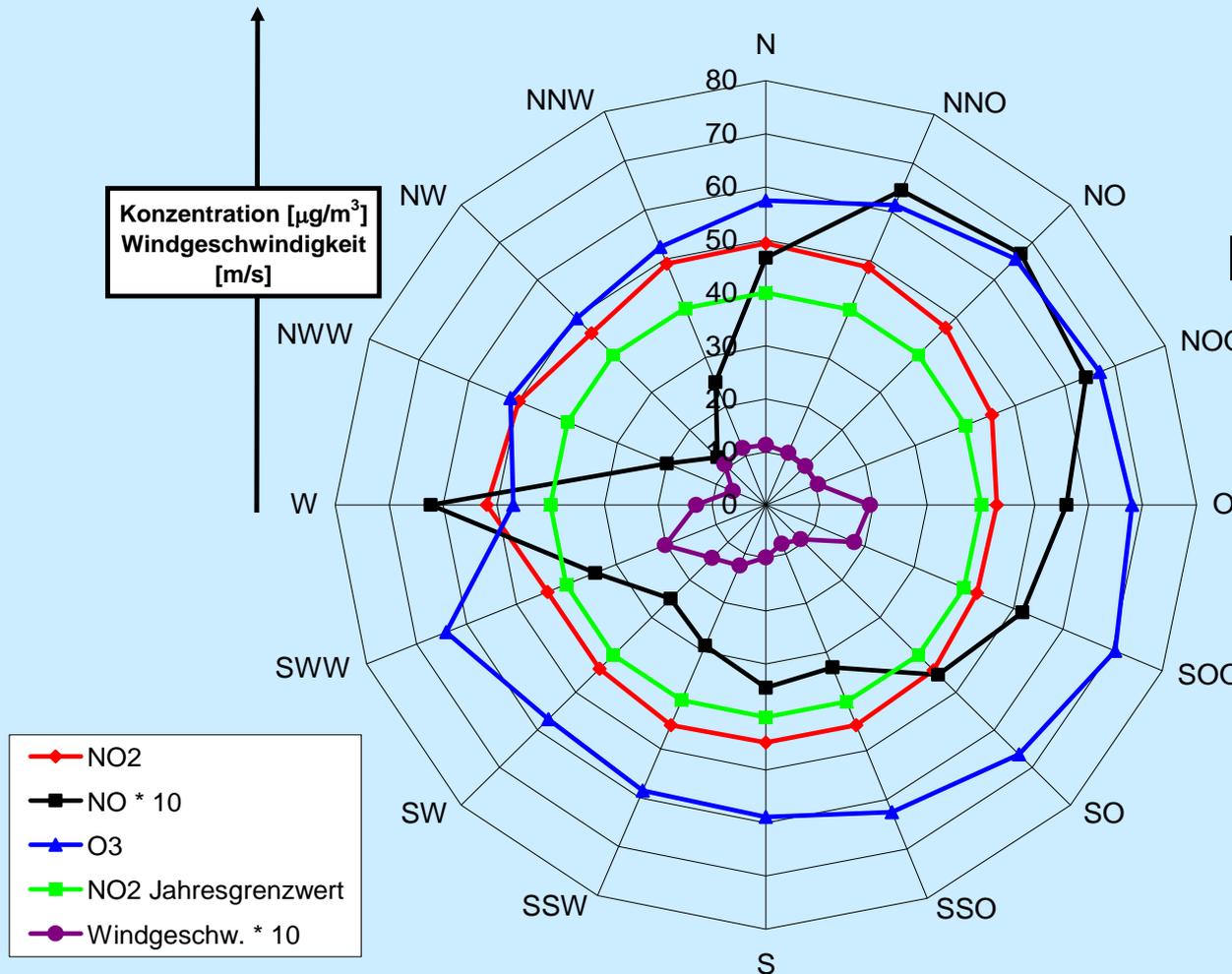
NO: 5 ± 4 µg/m<sup>3</sup>

NO<sub>x</sub>: 51 ± 22 µg/m<sup>3</sup>

O<sub>3</sub>: 64 ± 10 µg/m<sup>3</sup>

Wind: 1,2 ± 0,4 m/s

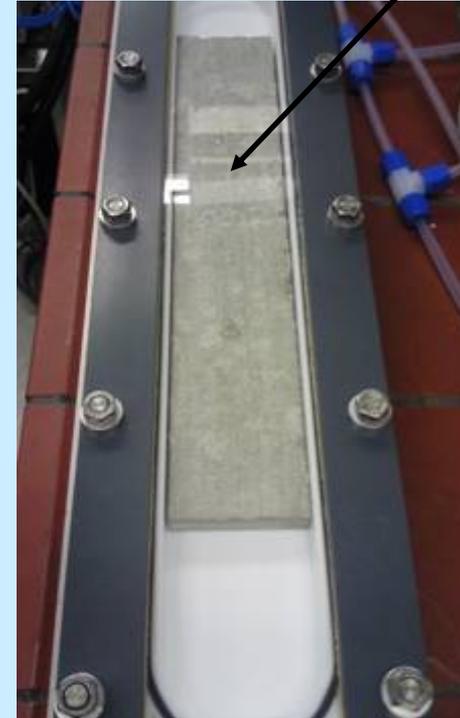
➔ NO<sub>2</sub> ↓



## Laboruntersuchung des TioCem<sup>®</sup>-Betons (BUW):

- Untersuchung der Photoreaktivität gegenüber NO<sub>x</sub> (NO<sub>2</sub> und NO)
- Bestimmung der Depositionsgeschwindigkeit  $V_{pk}$  (NO<sub>x</sub>) [cm/s]
- ➔ Wichtiger Eingabeparameter für die numerische Simulation

Betonprobe



○ Photokatalyse ( $\text{TiO}_2$ ) als sinnvolle Ergänzung zur Verbesserung der Luftqualität ( $\text{NO}_2 \downarrow \text{NO}_x \downarrow$ ) e.g.:

→ **PICADA**-Pilotstudie (2006):  $\text{NO}_x$ -Reduktion = 40 - 80 %!

- Unrealistische Versuchsbedingungen: ( $S_{\text{aktiv}}/V = 1 \text{ m}^{-1}$ )  
 $S_{\text{aktiv}}$  = photokatalytische Oberfläche;  $V$  = Volumen Canyon

- Unter realistischen Bedingungen: (Faktor 20)  
Dortmund:  $S_{\text{aktiv}}/V = 0,05 \text{ m}^{-1}$  (Faktor 20 kleiner)

- Für heterogene Reaktionen - auch wenn transportlimitiert: **Umwandlungsrate**  $\propto S_{\text{aktiv}}/V$

→ **Zu erwartende  $\text{NO}_x$ -Reduktion im Bereich 2 - 4 %**

# → PICADA-Pilotstudie (2006):

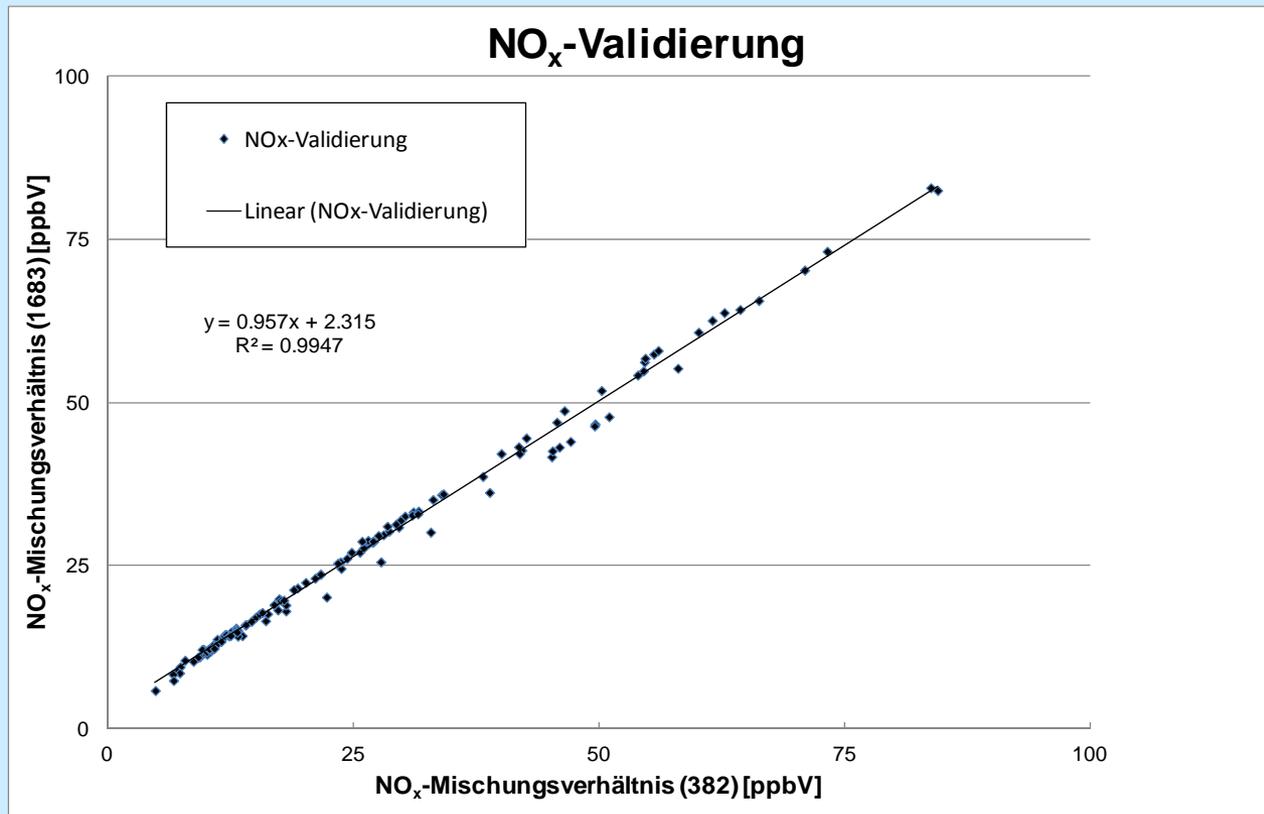


## Validierung der Messgeräte

- Qualitätssicherung (30.10. - 02.11.12)
- Bestimmung der Präzision P ( $1\sigma$ )
- ➔ Im Mittel  $P = 1 \% \pm 1 \text{ ppbV}$

„Istmessung“

30.10. – 23.11.2012

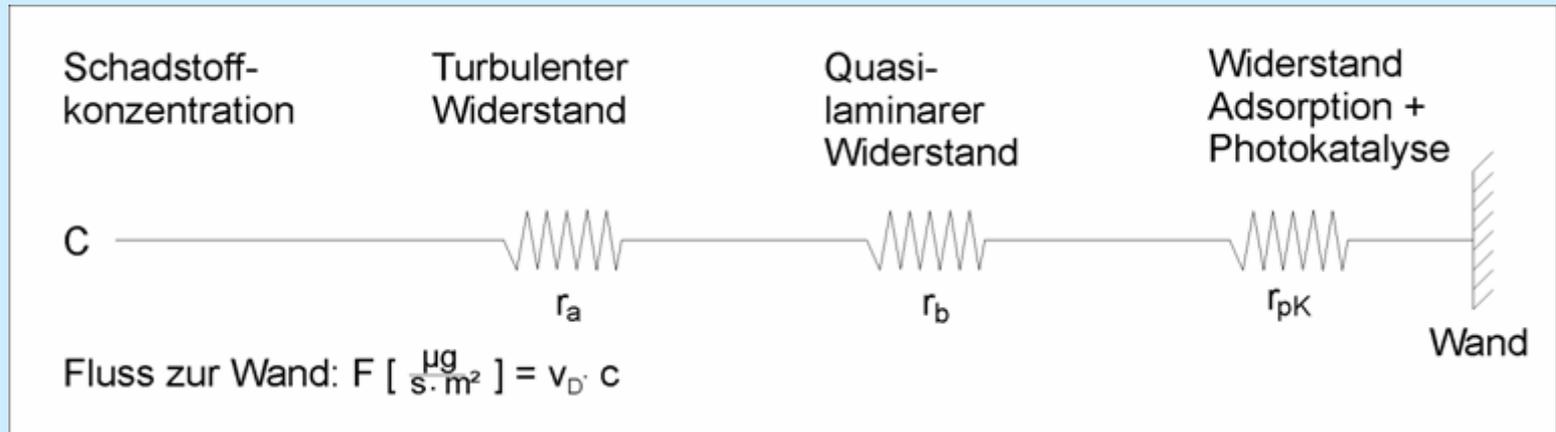


# Numerische Simulation

- Simulation des Zustandes  
ohne und mit photokatalytischer Wirkung  
mit einem geeigneten<sup>(\*)</sup> Simulationsmodell.
  - Differenz aus beiden Simulationen liefert das mögliche Minderungspotential.
- (\*) Dreidimensionales prognostisches mikroskaliges Strömungs- und Ausbreitungsmodell MISKAM, Universität Mainz.  
Geeignet für die Simulation der Strömung und der Schadstoffausbreitung um Gebäudestrukturen, in Straßenschluchten und in Stadtquartieren.  
Validiert nach VDI 3783/9.

# Numerische Simulation

- Modellierung der wandnahen Flüsse:  
Widerstandsmodell nach (z.B.) VDI 3782 Blatt 5



- (Gesamt-)depositionsgeschwindigkeit  $v_d =$  Kehrwert der relevanten Widerstände.

Formeln siehe VDI 3782, Bl.5

$$v_d = \frac{1}{r_a + r_b + r_{pk}}$$

aus Labormessungen

# Numerische Simulation

- Maximale photokatalytische Depositionsgeschwindigkeit:  
 $v_{pk} (=1/r_{pk}) = 0,30 \text{ cm/s}$   
(Bestimmung aus Labormessungen / UVA-Strahlungsintensität:  $20 \text{ W/m}^2$ )
  
- Messungen der UVA-Strahlungsintensität: Zu je ca. 17 % der Zeit:
  - $20 \text{ W/m}^2$
  - $5 \text{ W/m}^2 \dots 15 \text{ W/m}^2$
  - $1 \text{ W/m}^2 \dots 5 \text{ W/m}^2$
  
- Photokatalytische Depositionsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Strahlungsintensität:
  - $20 \text{ W/m}^2$  :  $0,30 \text{ cm/s}$
  - $5 \text{ W/m}^2 \dots 15 \text{ W/m}^2$  :  $0,18 \text{ cm/s}$
  - $1 \text{ W/m}^2 \dots 5 \text{ W/m}^2$  :  $0,09 \text{ cm/s}$



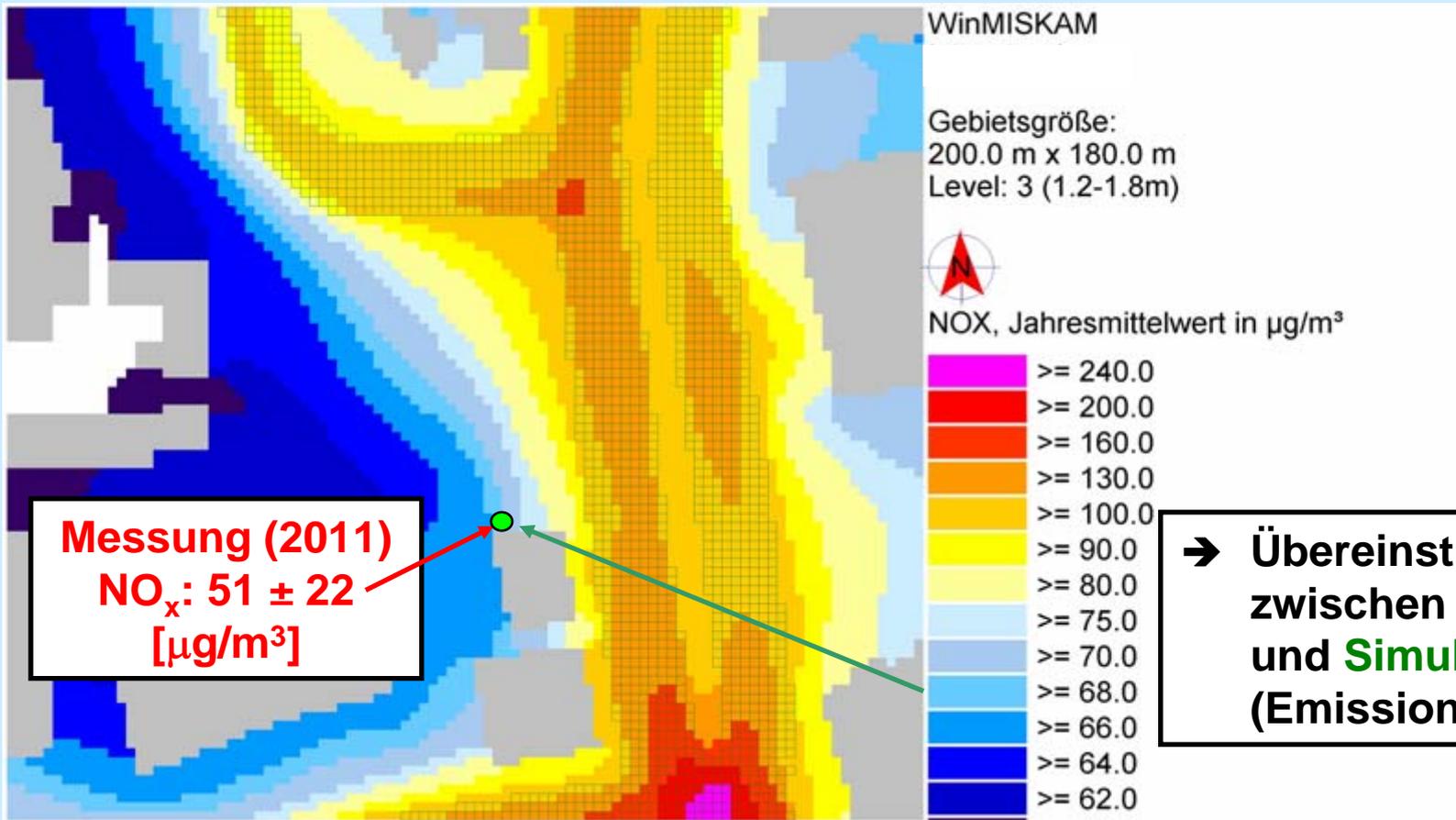
Park der Partnerstädte  
mit photokatalytischem  
Betonbelag

Simulationsgebiet:  
880 m x 880 m

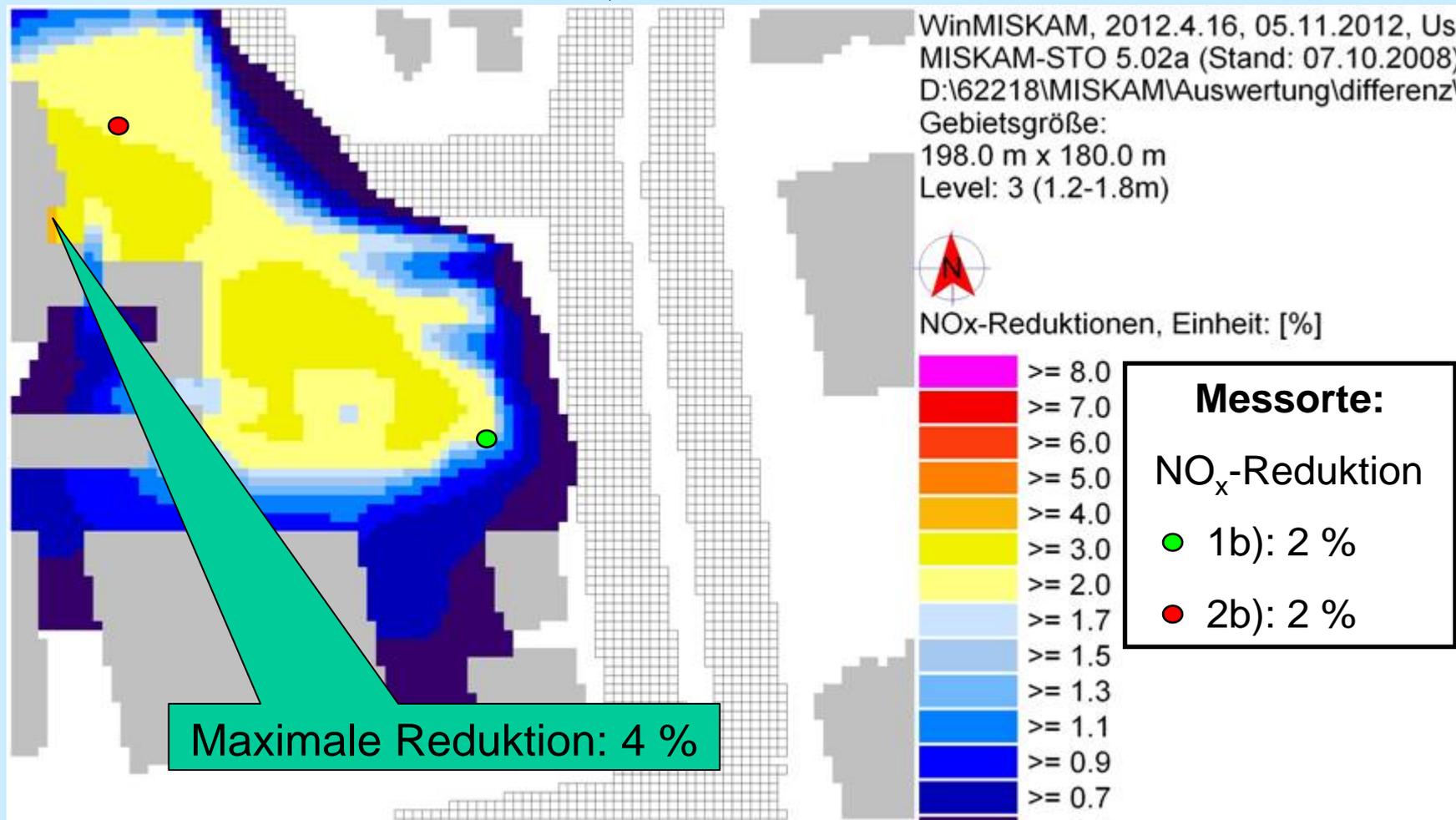
Auswertebereich im  
Simulationsgebiet:  
200 m x 200 m

- Park der Partnerstädte : Offener Platz, gut durchlüftet

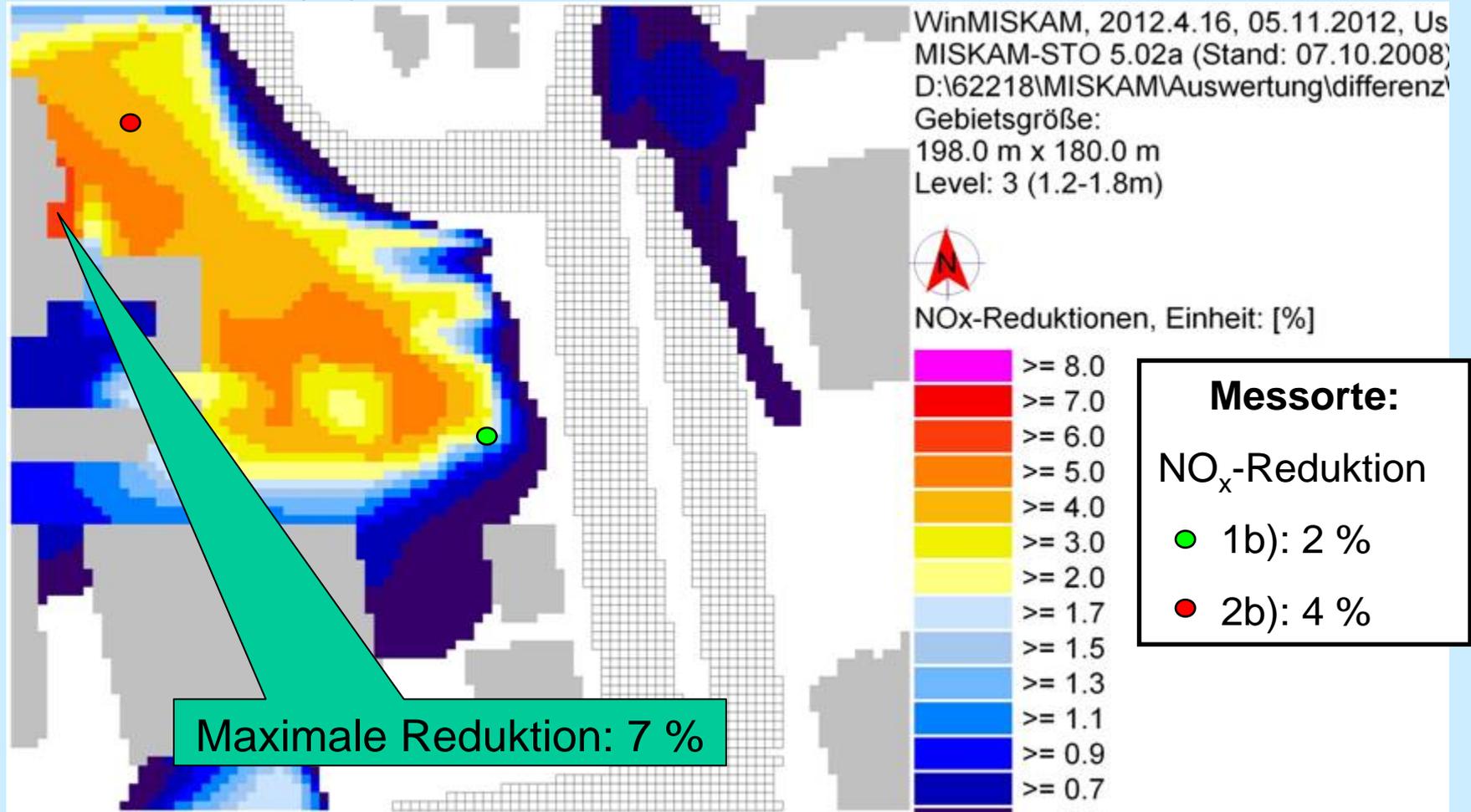
# Zustand ohne photokatalytisch aktive Flächen: NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwert 2011, 1,5 m über Grund



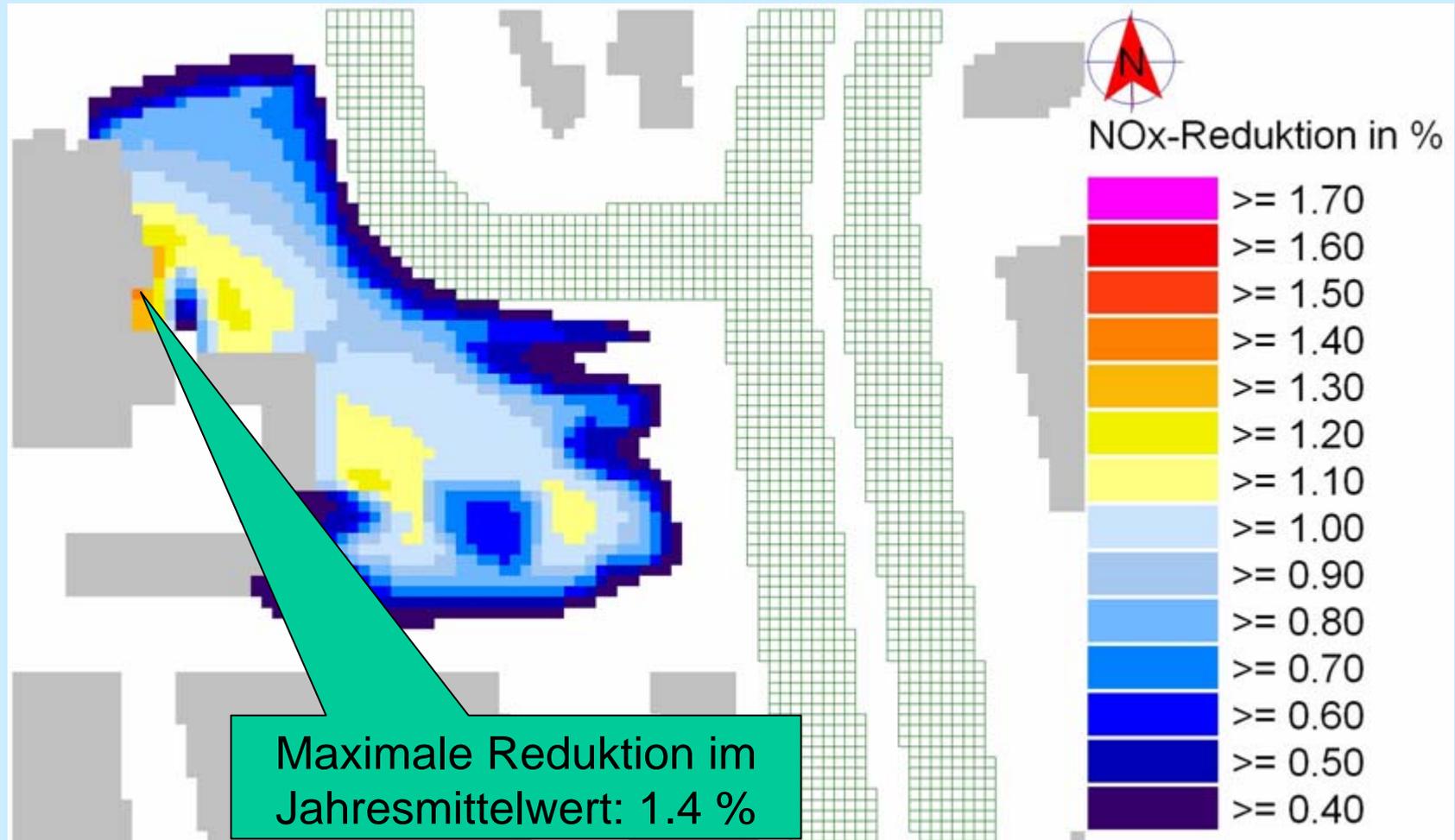
- Berechnete, durch den TioCem<sup>®</sup>-Betonbelag zu erwartende maximale relative Reduktion der NO<sub>x</sub>-Gesamtbelastung für Tagsituationen mit **Windgeschwindigkeiten ~ 1,0 m/s** und einer hohen UVA-Strahlungsintensität 20 W/m<sup>2</sup> in ca. 1,5 m über Grund:



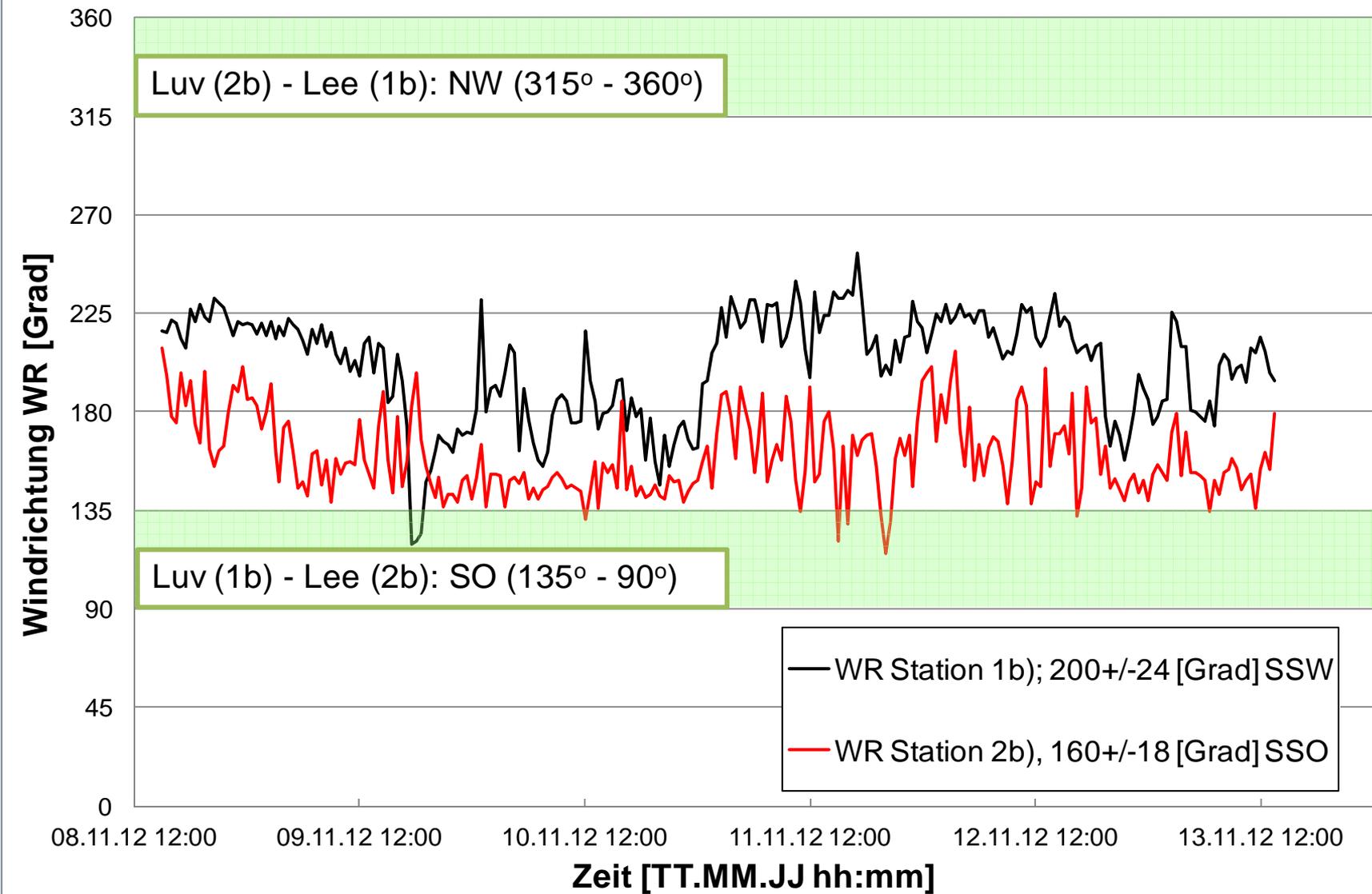
- Berechnete, durch den TioCem<sup>®</sup>-Betonbelag zu erwartende maximale relative Reduktion der NO<sub>x</sub>-Gesamtbelastung für Tagsituationen mit **Windgeschwindigkeiten ~ 0,5 m/s** und einer hohen UVA-Strahlungsintensität (SI) 20 W/m<sup>2</sup> in ca. 1,5 m über Grund:



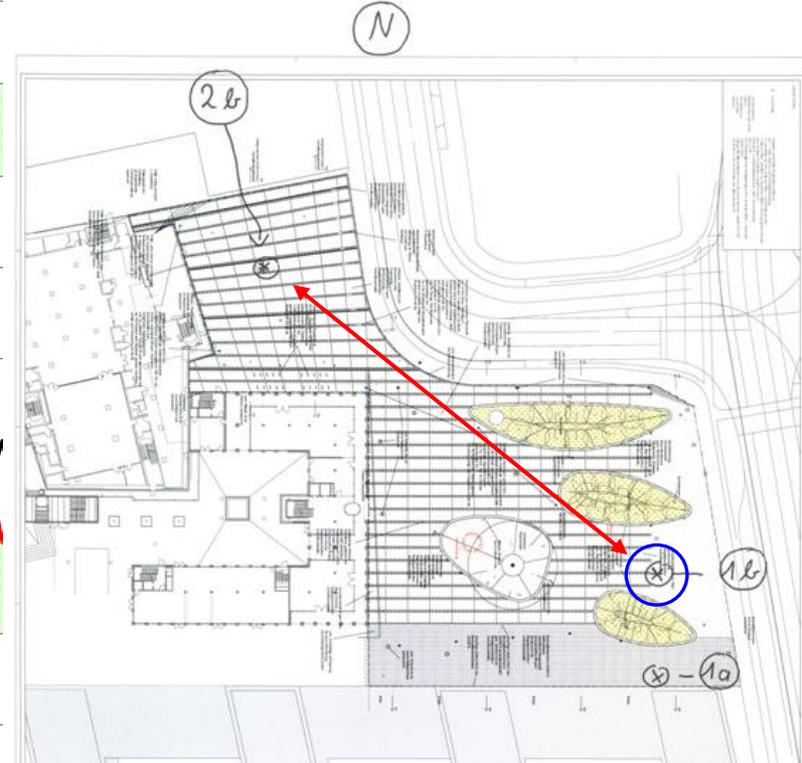
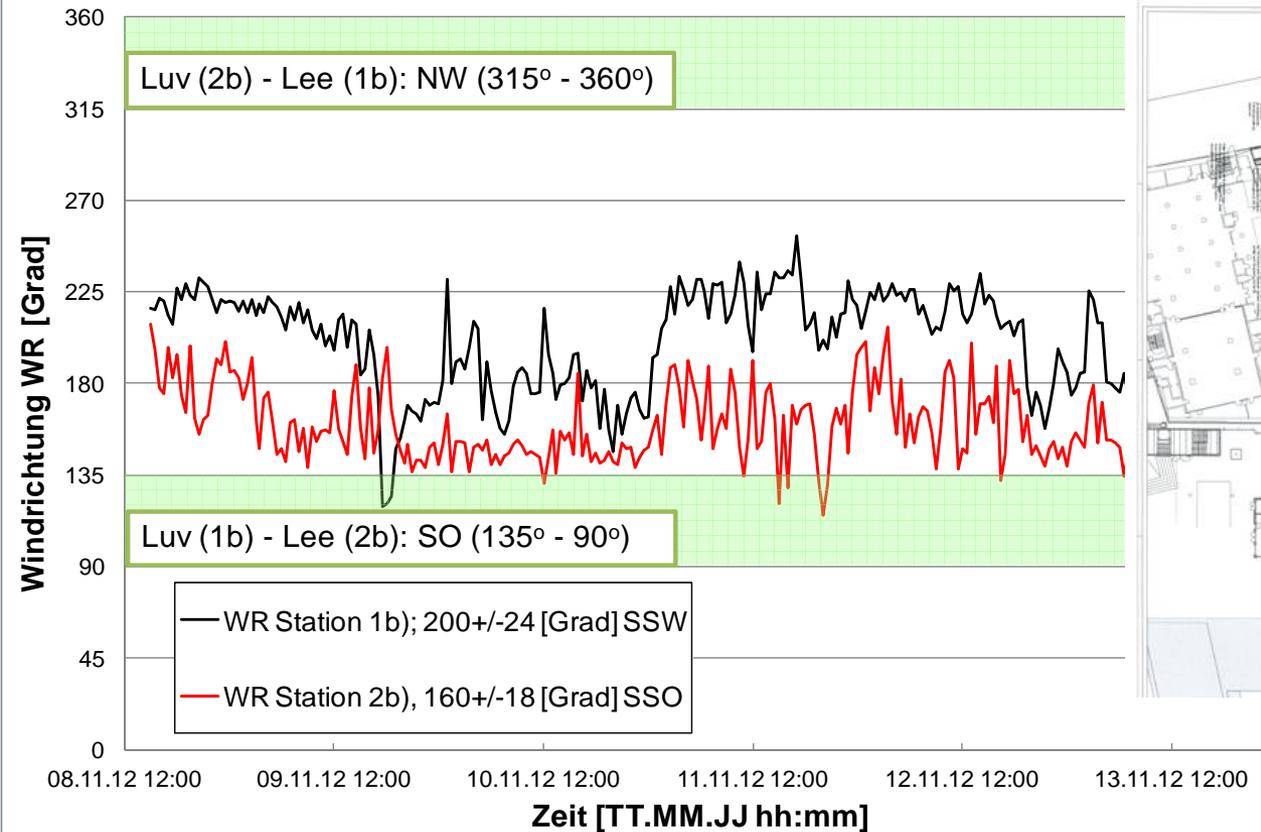
- Berechnete, durch den TioCem<sup>®</sup>-Betonbelag zu erwartende relative Reduktion des **NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwertes** in ca. 1,5 m über Grund:



# Meteorologie, 08.11. - 13.11.12



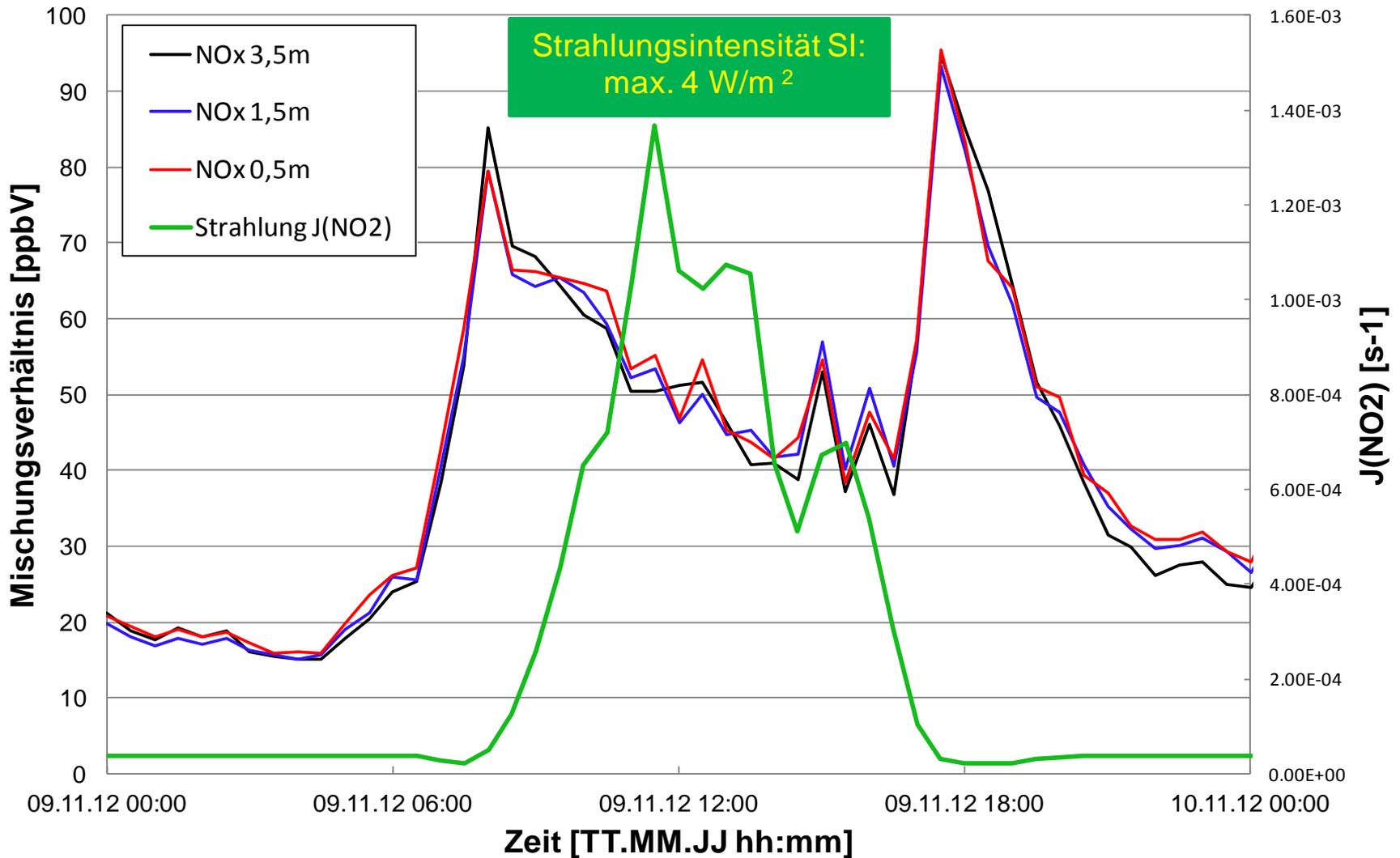
# Meteorologie, 08.11. - 13.11.12



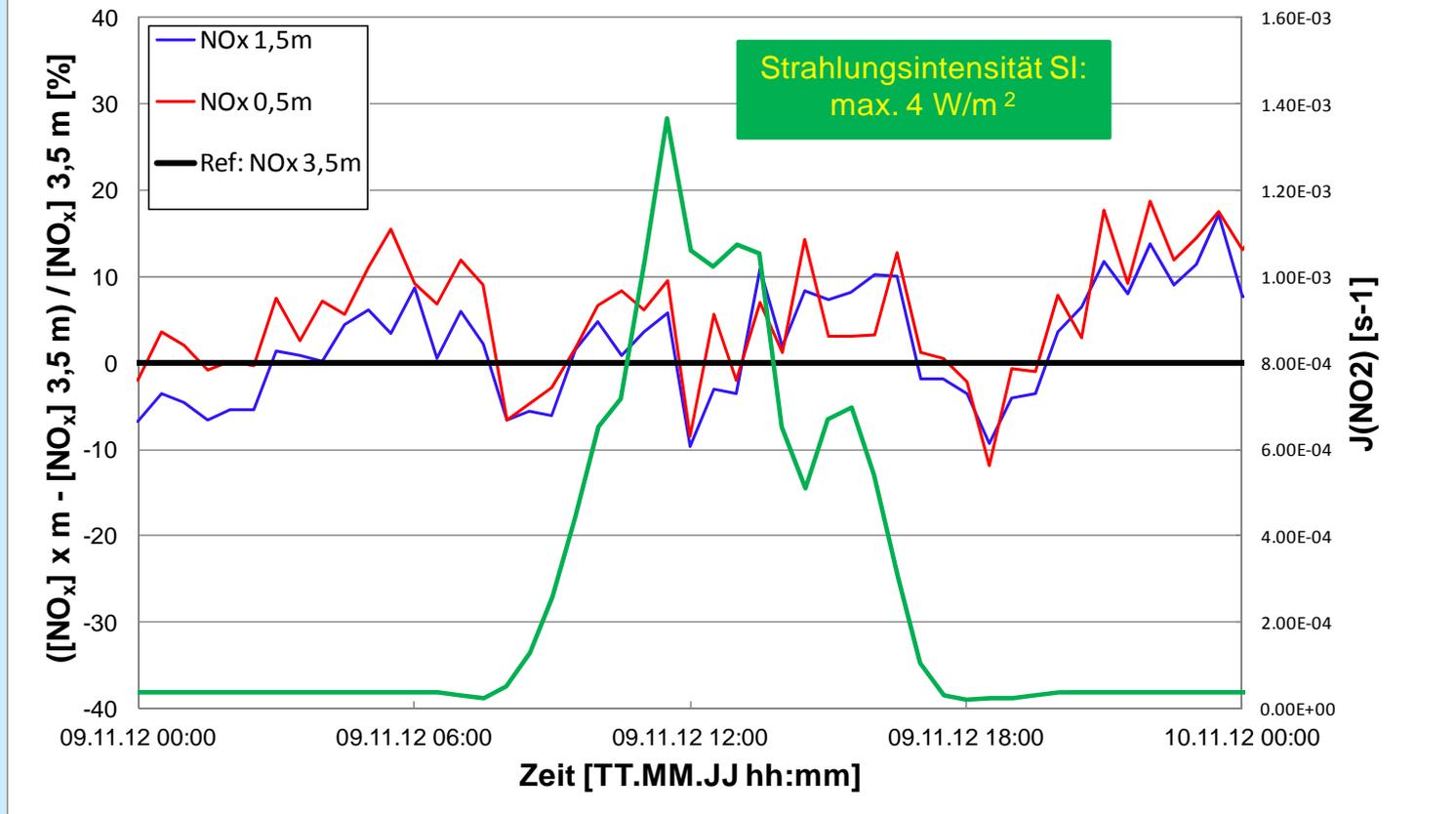
- Keine **Luv – Lee** Bedingung im Messzeitraum ☹
- **Gradientenmessung** an 1b): (0,5; 1,5; 3,5 m) 😊

- Im Mittel WG:  $\geq 1,0$  m/s ☹
- max. SI:  $4$  W/m<sup>2</sup> ☹
- ➔  $< 1$  % NO<sub>x</sub> ↓ 😊

# NO<sub>x</sub>-Konzentration-Zeit-Profil



**% Differenz  $[\text{NO}_x]$  1,5 m zu  $[\text{NO}_x]$  3,5 m und  $[\text{NO}_x]$  0,5 m -  $[\text{NO}_x]$  3,5 m; Referenzhöhe: 3,5 m**



- Innerhalb der Messpräzision ( $1 \% \pm 1 \text{ ppbV}$ ) und der natürlichen Variation ( $\pm 10 \%$ ) kein  $\text{NO}_x$ -Konzentrationsgradient in Abhängigkeit von der Strahlungsintensität zu erkennen
- ➔ Übereinstimmung mit der Simulation  $< 1 \% \text{ NO}_x \downarrow$

# Zusammenfassung

- Nullmessung (2011):  $\text{NO}_2$ :  $46 \pm 21 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ☹
  - ➔ Notwendige Reduktion:  $\text{NO}_2$  ↓
  - Erfolgreicher Einbau des TioCem<sup>®</sup>-Betons (2012)
  - Erfolgreiche Simulation (MISKAM) der  $\text{NO}_x$ -Minderungswirkung
  - ➔ Windgeschwindigkeit  $\text{WG}$  ↓  $\text{NO}_x$ -Reduktion ↑
- $\text{WG} \sim 0,5 \text{ m/s}$ :  $\text{NO}_x$ -Reduktion max. 7 %,  
 $\text{WG} \sim 1,0 \text{ m/s}$ :  $\text{NO}_x$ -Reduktion max. 4 %

Im Jahresmittel ca. 1 %  $\text{NO}_x$ -Reduktion

# Zusammenfassung

- Istmessung, zwei Messorte (2012):
  - ➔ Keine Luv-Lee Situation ☹️
  - ➔ Gradientenmessung (0,5; 1,5 und 3,5 m) 😊
- Im Mittel WG > 1 m/s ☹️
- Max. Strahlungsintensität SI: 4 W/m<sup>2</sup> ☹️
- ➔ NO<sub>x</sub>-Reduktion < 1 % 😊 (Simulation)
- Innerhalb Messpräzision (1 % ± 1 ppbV) und der natürlichen Variation (± 10%) kein NO<sub>x</sub>-Konzentrationsgradient zu beobachten
- Übereinstimmung der Abschätzung der NO<sub>x</sub>-Reduktion: PICADA, Simulation und Messungen

# Zusammenfassung

- Meteorologie (Windgeschwindigkeit) und  $S_{\text{aktiv}}/V$  (Gebäudeanordnung) bestimmen maßgeblich das Minderungspotential
- Niedrige Windgeschwindigkeiten sind in der Regel korreliert mit hohen Schadstoffkonzentrationen
- ➔ Photokatalytisch aktive Betonoberflächen können eine zusätzliche Maßnahme sein, um z. B. die Anzahl der Überschreitungen des  $\text{NO}_2$ -Einstundenmittelwertes über  $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zu reduzieren
- Allein die Verwendung von photokatalytisch aktiven Oberflächen (Zement / Beton) kann sicher die innerstädtische Schadstoffproblematik nicht lösen, aber sie liefert einen stabilen Baustein für eine bessere Luftqualität!

# Danke für Ihre Aufmerksamkeit



*Foto: Hannes Woidich*