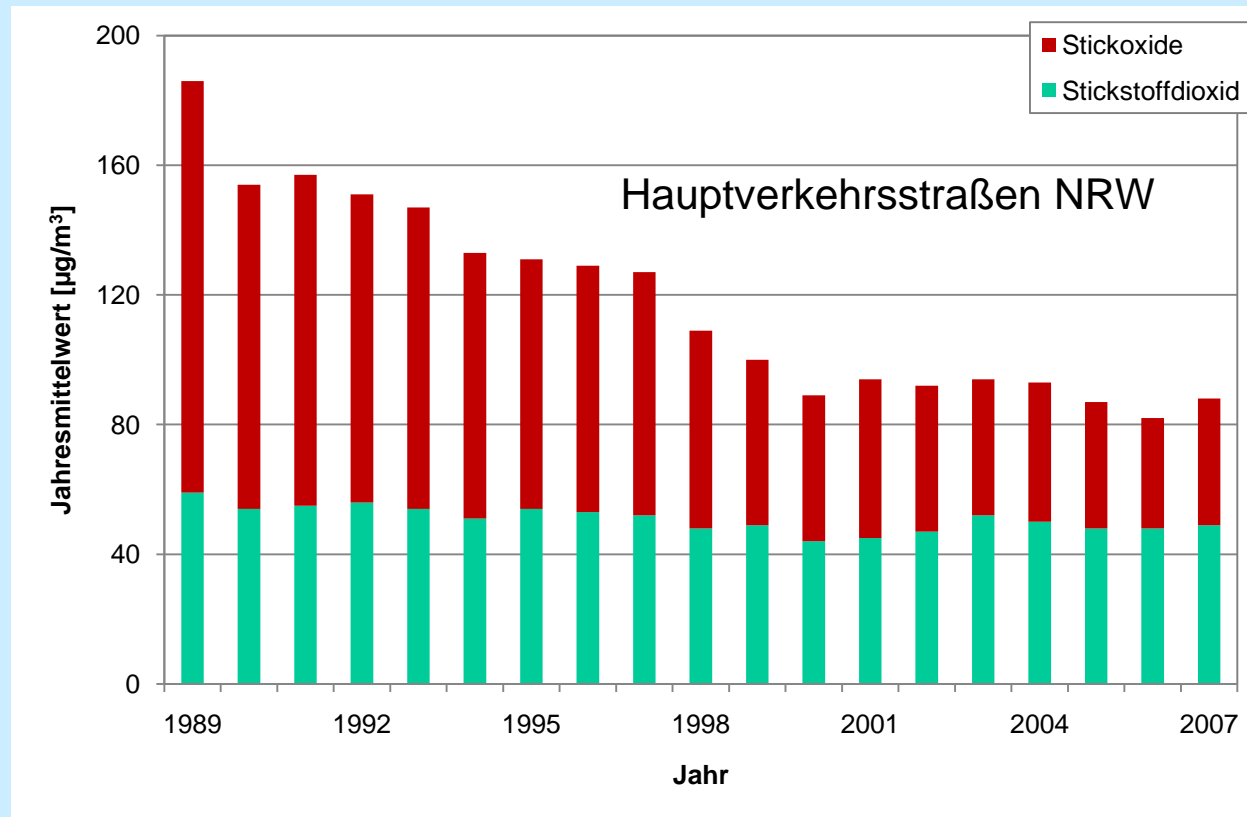


Untersuchung des innerstädtischen “NO₂-Problems” an einer Messstation in Wuppertal

Ralf Kurtenbach

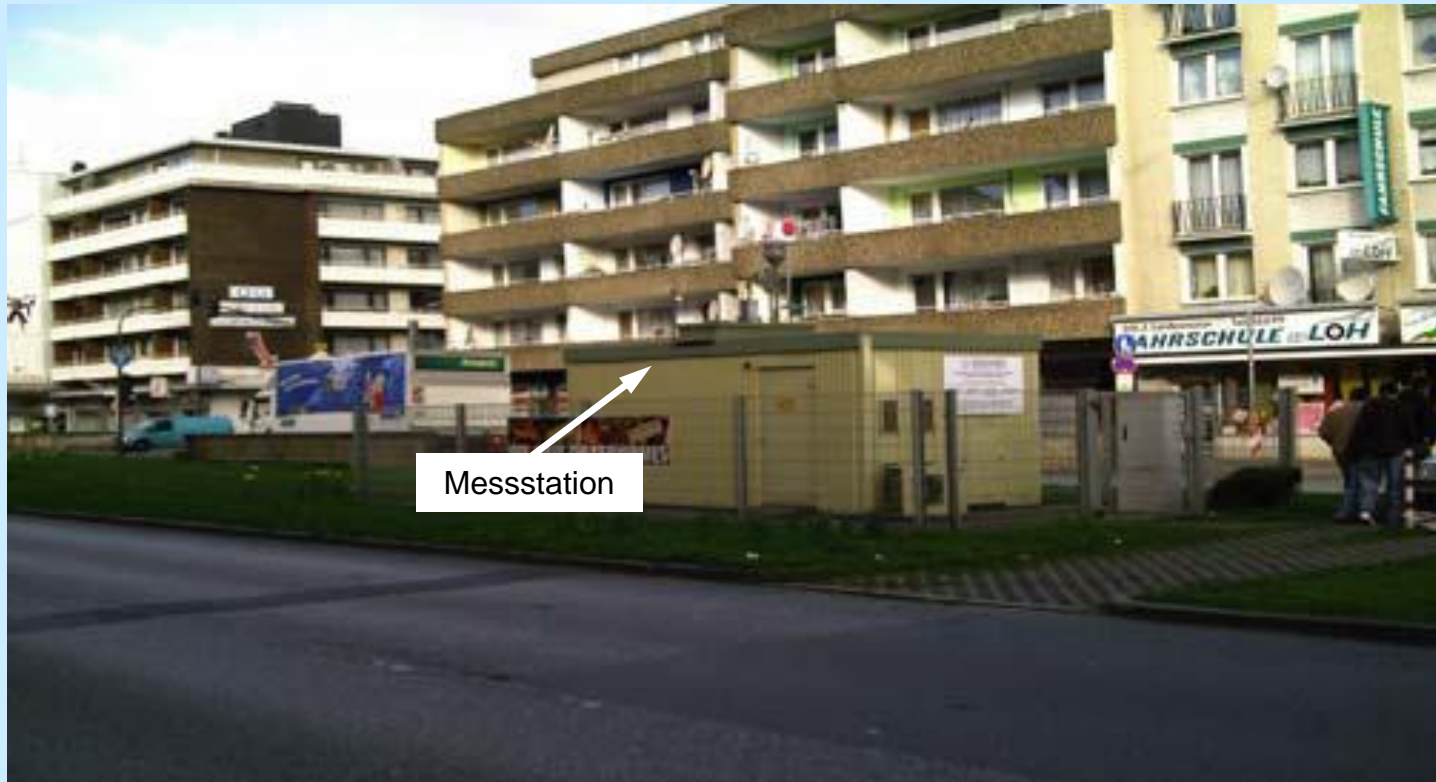
- *Stickoxide* ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) wichtige Substanzklasse
- Stickoxide, insbesondere NO_2 und Folgeprodukte (HONO, HNO_3 , PAN,...) sind gesundheitsschädlich
- ➔ **NO_2** : Ab 2010 niedriger EU-Grenzwert ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$)
- *Stickoxidemissionen* ($\text{NO}_x = \text{NO} + \text{NO}_2$) zu rund 60% aus dem Straßenverkehr (Umweltbundesamt, UBA)
- Emissionsberechnungen (UBA): Rückgang der NO_x -Emissionen aus dem Straßenverkehr zwischen 1990 und 2006 um 50%

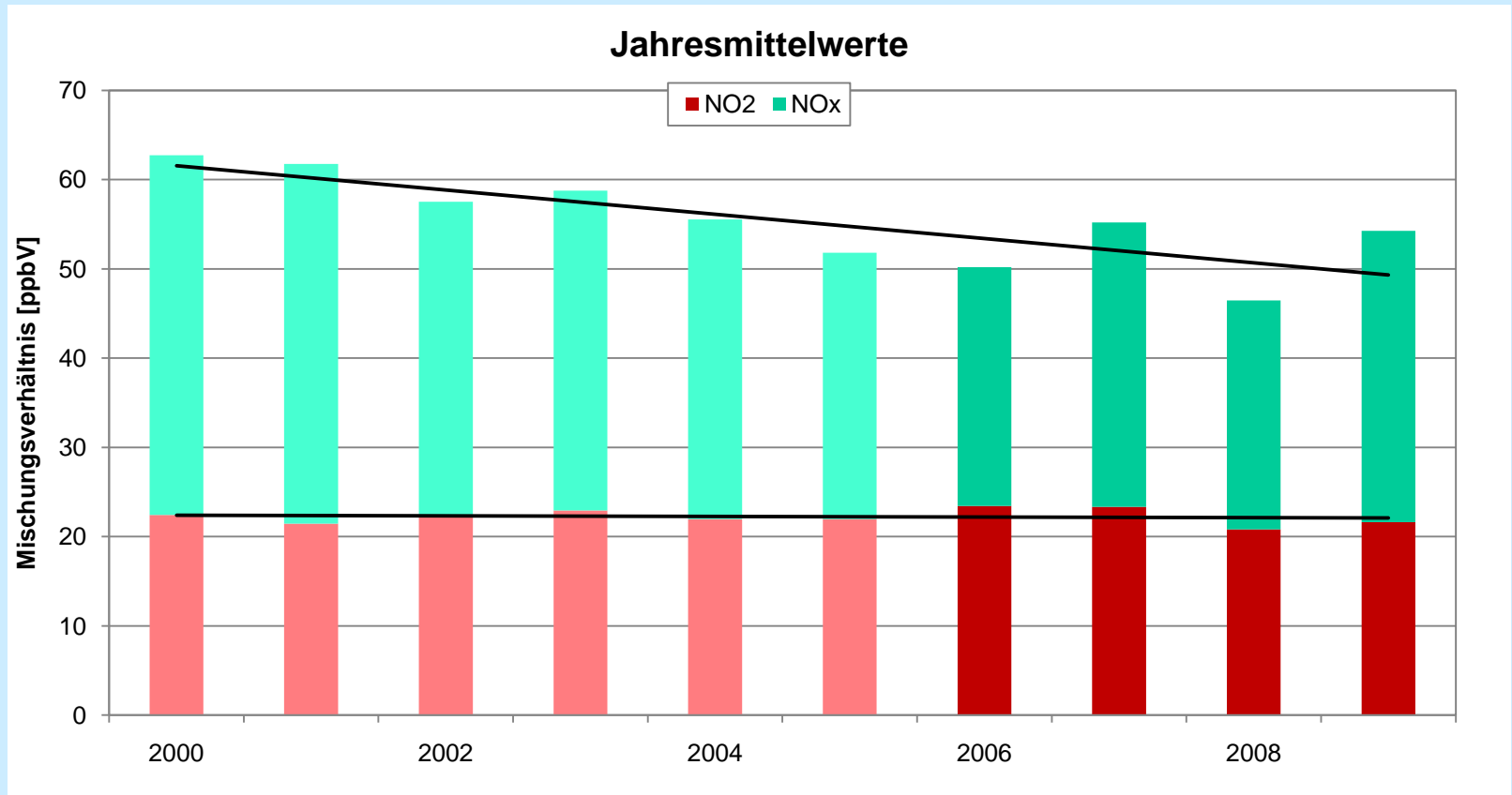


- NO_x -Rückgang wurde auch bei der Immission beobachtet, ist aber zum Stillstand gekommen
- NO_2 -Immission zeigt diesen Trend aber nicht, **warum?**

- Im Jahr 2004 waren 50% der Bevölkerung an sehr stark befahrenen Straßen in europäischen Städten einer weit höher NO₂-Belastung (40 µg/m³) ausgesetzt (European Environmental Agency)
- NO₂ wird primär emittiert (Straßenverkehr), aber auch sekundär in der Atmosphäre aus NO (Straßenverkehr) gebildet: $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$
- Beurteilung der Effizienz von Maßnahmen zur NO₂-Reduktion nur möglich, wenn der Anteil primäres und sekundäres NO₂ bekannt sind
- ➔ Beobachtung des NO_x- und NO₂-Trends und Bestimmung des primären und sekundären NO₂-Anteils

- Seit 2006 Immissionsmessungen von NO , NO_2 und O_3 in Wuppertal durch die BUW in Zusammenarbeit mit dem LANUV-NRW



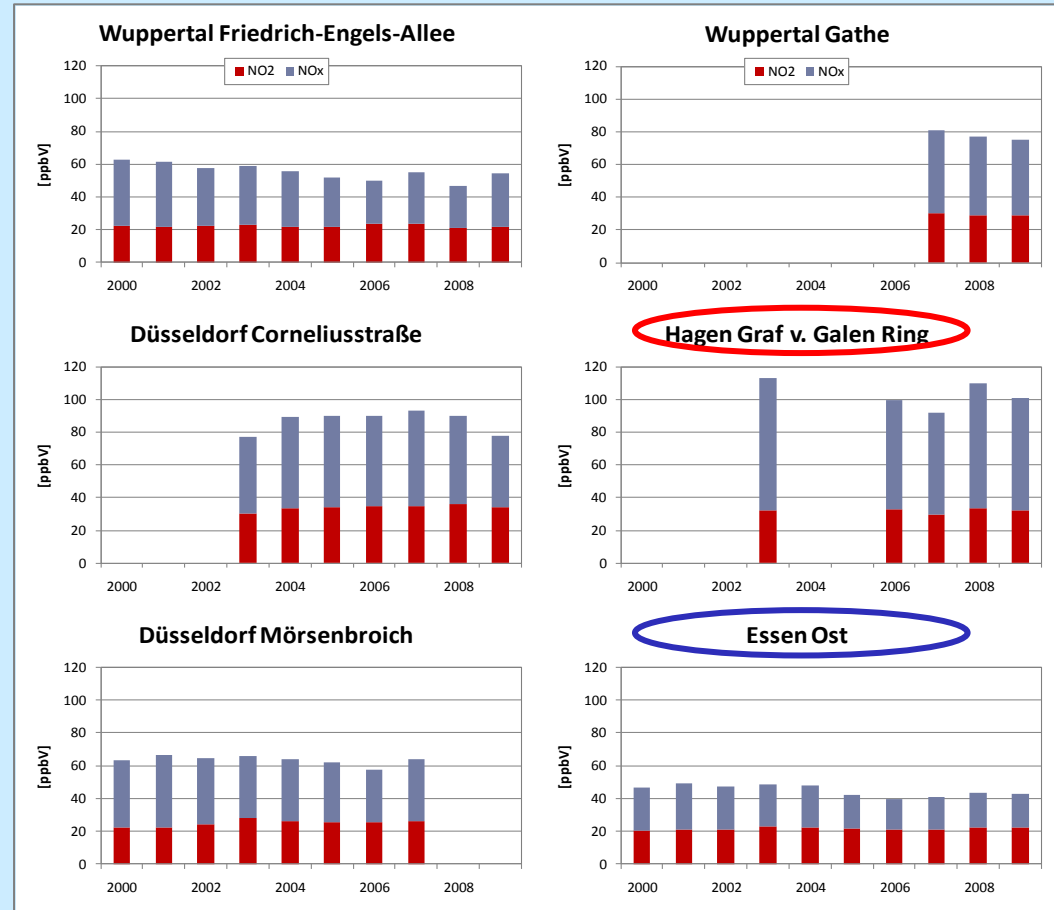


- Gleicher Trend wie an anderen Messstationen

Ergebnisse und Diskussion

Vergleich mit anderen
Messstationen in NRW:

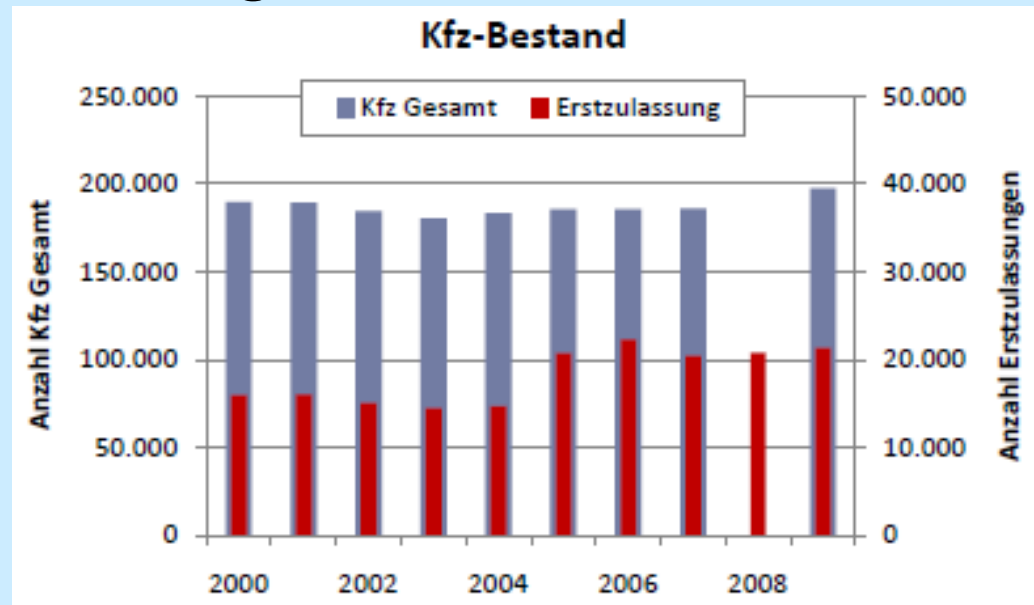
- NO₂-Konzentration in allen dargestellten Städten oberhalb von 20 ppbV (40 µg/m³)
- Düsseldorf und Hagen: über 30 ppbV
- Starke Unterschiede bezüglich der NO-Konzentration
- In **Hagen** 4 x mehr NO als in **Essen** (Verkehrsbelastung)
- NO₂-Konzentration nicht ausschließlich von Verkehrsaufkommen abhängig
- ➔ Beeinflussung des NO₂-Gehalts durch andere Faktoren



Ergebnisse und Diskussion

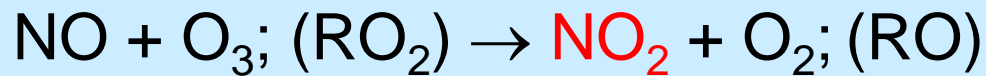
Einfluss des Kfz-Bestands auf die Immissionswerte:

- Kfz-Bestand nahezu unverändert seit 2000
- Zunahme der Erstzulassung
- 10% aller Kfz wurden im Jahr 2009 zugelassen („Umwelt- bzw. Abwrackprämie“)
- mehr neue Kfz mit geringerem NO_x - bzw. NO_2 -Ausstoß (z.B. DeNOx-Katalysatoren)
- NO_2 -Konzentration seit 2000 nicht gesunken
- ➔ Immissionswerte nicht linear mit der Kfz-Emission gekoppelt

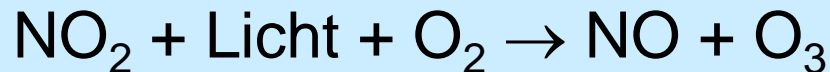


Ergebnisse und Diskussion

- Bestimmung der direkt (primär) emittierten und indirekt (sekundär) gebildeten NO_2 -Menge
- Messung des direkt emittierten NO_2 an der Messstation nicht möglich, da auch sekundäres NO_2 (Photochemie) mitbestimmt wird:



ohne RO_2 : „Leighton“



- Keine RO_2 -Chemie; d. h. O_3 -Hintergrund (HG) konstant:

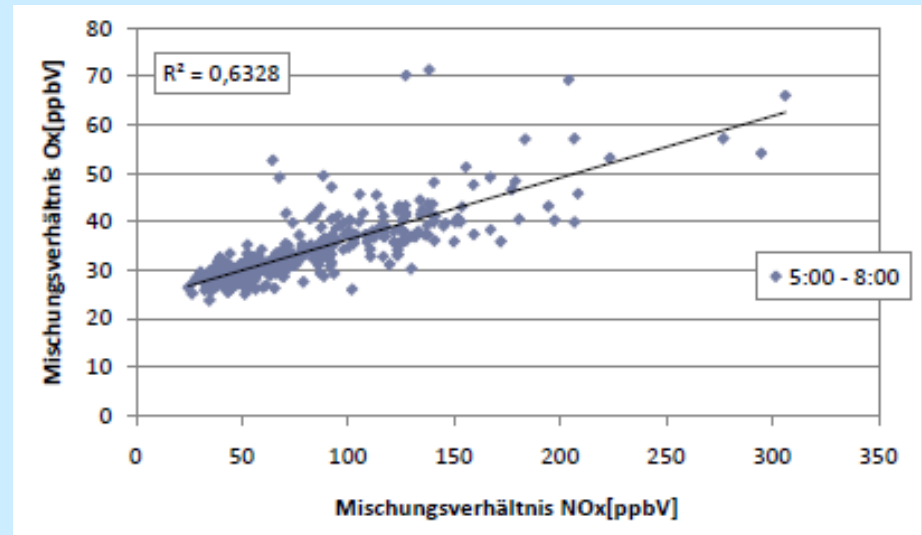
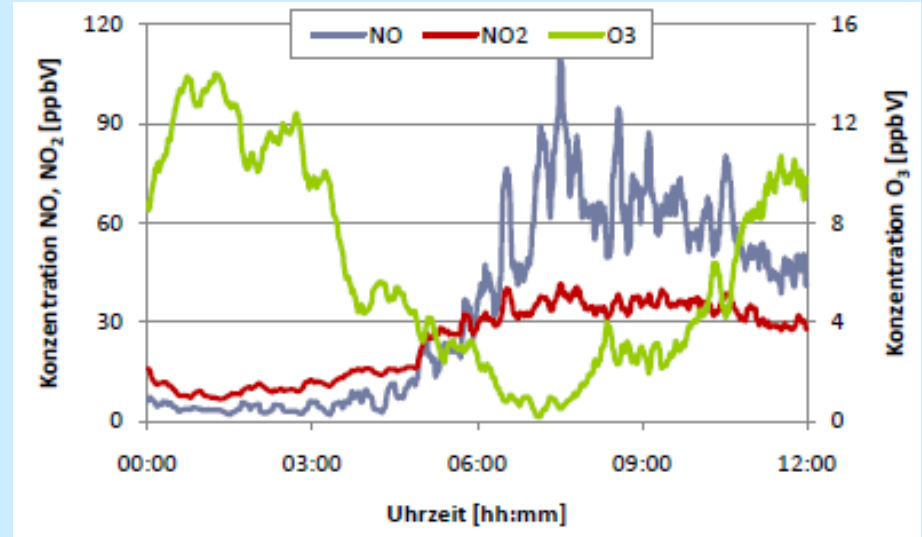
$$\text{Ox} = (\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}} * \text{NO}_x + \text{O}_3 \text{ (HG)}; \text{ mit Ox} = \text{NO}_2 + \text{O}_3$$

- Auftragung von Ox gegen NO_x
- gute Korrelation bei hoher Variation in NO_x

Ergebnisse und Diskussion

- Annahmen: O_3 (HG) konstant, hohe NO_x -Variation sind zur morgendlichen „Rush-Hour“ (5:00 – 8:00 Uhr) erfüllt
- Starke Antikorrelation für NO und O_3
- Schnelle sekundäre NO_2 -Bildung

- Ox vs NO_x
- $(NO_2/NO_x)_{\text{direkt}} = 0,12 \pm 0,03$;
- d. h. 12 % des gemessenen NO_x werden direkt als NO_2 emittiert



Ergebnisse und Diskussion

- $(\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}}$ Trend für 2008 bis 2009

- Geringer Anstieg, im Mittel $(\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}} = 0,13 \pm 0,02$

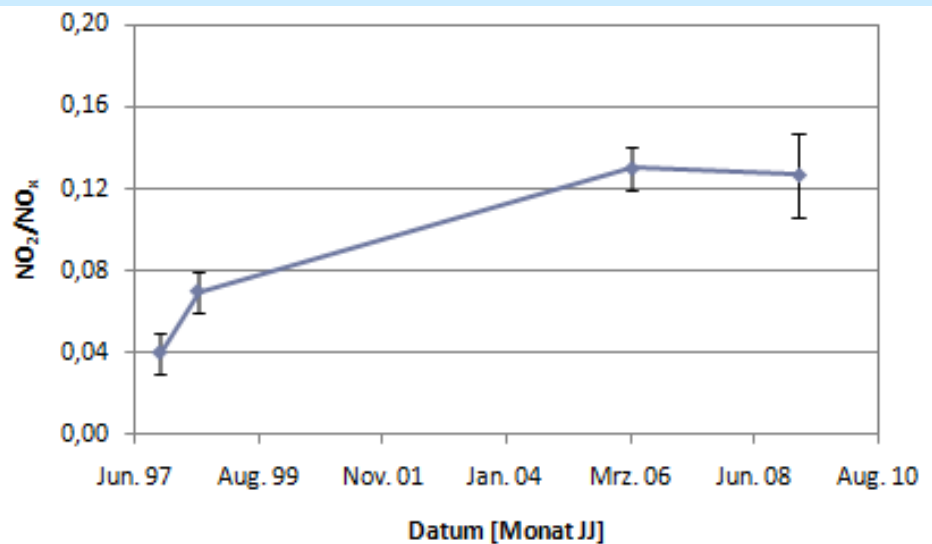
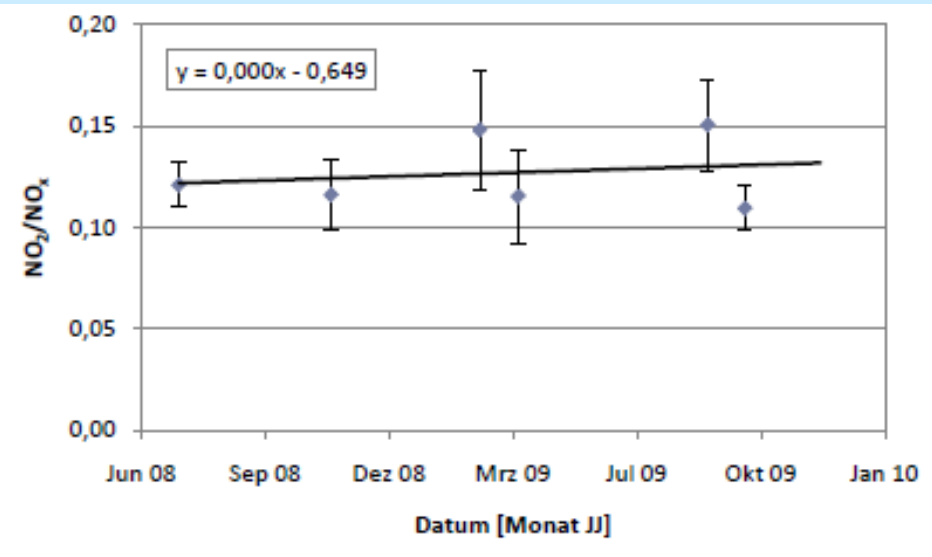
- Vergleich mit anderen Messungen in Wuppertal

1997: $0,04 \pm 0,01$
1998: $0,07 \pm 0,01$
2006: $0,13 \pm 0,01$
2008 – 2009: $0,13 \pm 0,02$

- Starker Anstieg seit 1997

- Einführung des Oxi-Kat;
d. h. Reduzierung der VOC- und „Partikel“-Emission

- Erhöhung der NO_2 -Emission;
 $(\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}}$ - Verhältnis



Ergebnisse und Diskussion

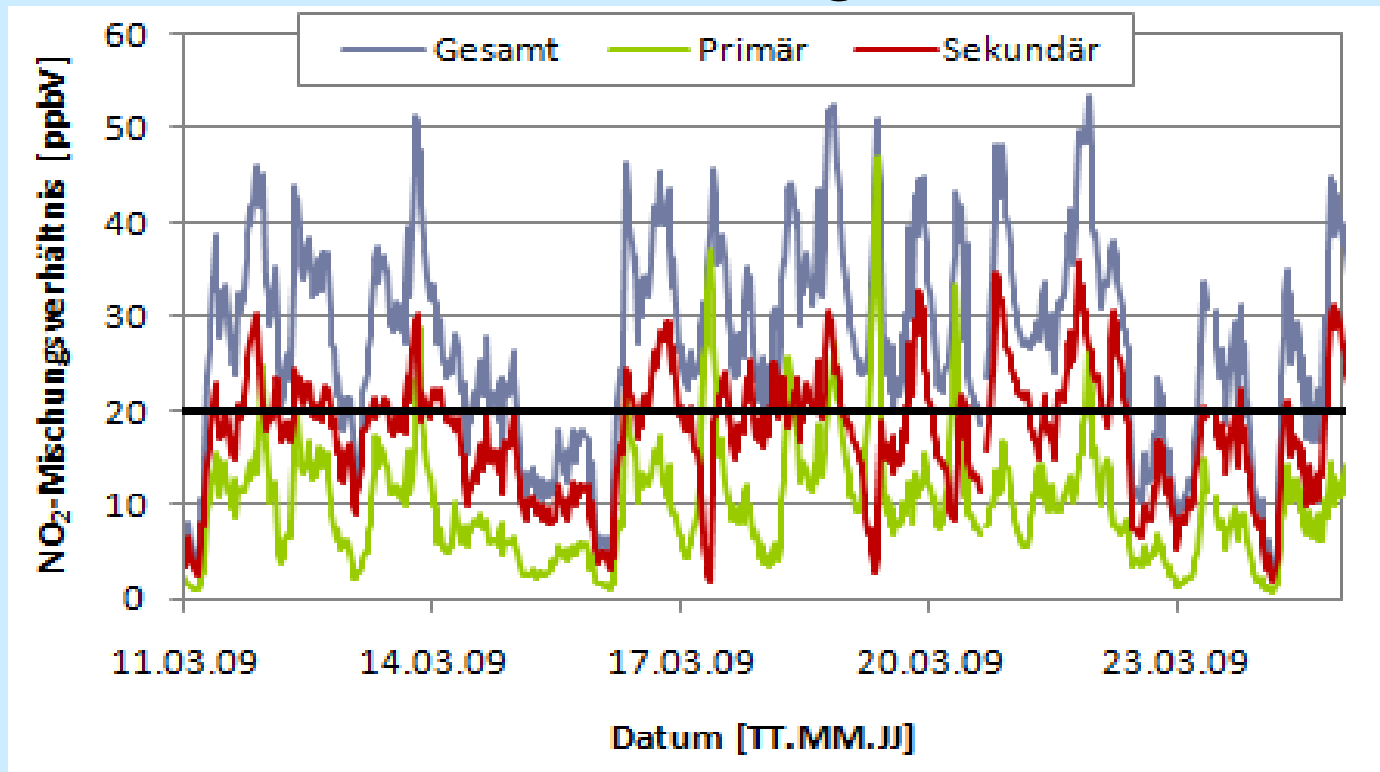
- Starker Anstieg des $(\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}}$ bei gesunkenem NO_x
- Ein Grund für stagnierende NO_2 -Immissionswerte
- Übereinstimmung mit Rabl und Scholz (2005, Baden-Württemberg; Palgren (2007, Kopenhagen); Air Quality Expert Group (2007, London) und Keuken (2009, Rotterdam)
- Reduzierung des $(\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}}$ ausreichend für die Einhaltung des NO_2 -Grenzwertes?
- Berechnung des primär und sekundären NO_2 -Menge mit Hilfe des $(\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}}$

Ergebnisse und Diskussion

Datum	NO ₂ Gesamt [ppbV]	Prim. NO ₂ [ppbV]	Prim. NO ₂ [%]	Sek. NO ₂ [ppbV]	Sek. NO ₂ [%]
Juli 08	18	5	28	13	72
November 08	17	7	40	10	60
März 09	25	9	36	16	64
April 09	26	6	23	20	77
September 09	27	9	33	18	67
Oktober 09	22	7	32	15	68

- Hoher sekundärer Anteil (68 ± 6 %) und niedriger primärer Anteil (32 ± 6 %)
- Vergleich mit anderen Städten; z. B. Hagen, Graf-von-Galen-Ring (73 ± 12 % sekundär; 27 ± 12 % primär) sowie Stuttgart (50 sekundär; 50 % primär)

Ergebnisse und Diskussion



- Senkung des primären Anteil auf 0% nicht ausreichend zur Einhaltung des NO_2 -Grenzwertes (z. B. Wuppertal)
- Sekundärer Anteil maßgebend für eine effiziente NO_2 -Reduzierung (z. B. Wuppertal)

Ergebnisse und Diskussion

○ Erklärung für den beobachteten NO_2 -Trend ($\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_x \downarrow$)?

➤ Ja, durch einfache Modellrechnung:

Leighton-Gleichgewicht ohne RO_2 -Chemie, NO_2 -
Photolyse von $0,01 \text{ s}^{-1}$ bei Sonnenhöchststand

Ergebnisse und Diskussion

○ Erklärung für den beobachteten NO_2 -Trend ($\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_x \downarrow$)?

➤ Ja, durch einfache Modellrechnung:

○ NO_x -Reduktion um 60%

z.B. 300 ppb \rightarrow 120 ppb (\downarrow)

➤ NO_2 : 43 ppb \rightarrow 30 ppb (\downarrow) 30%

○ Anstieg des $(\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}}$

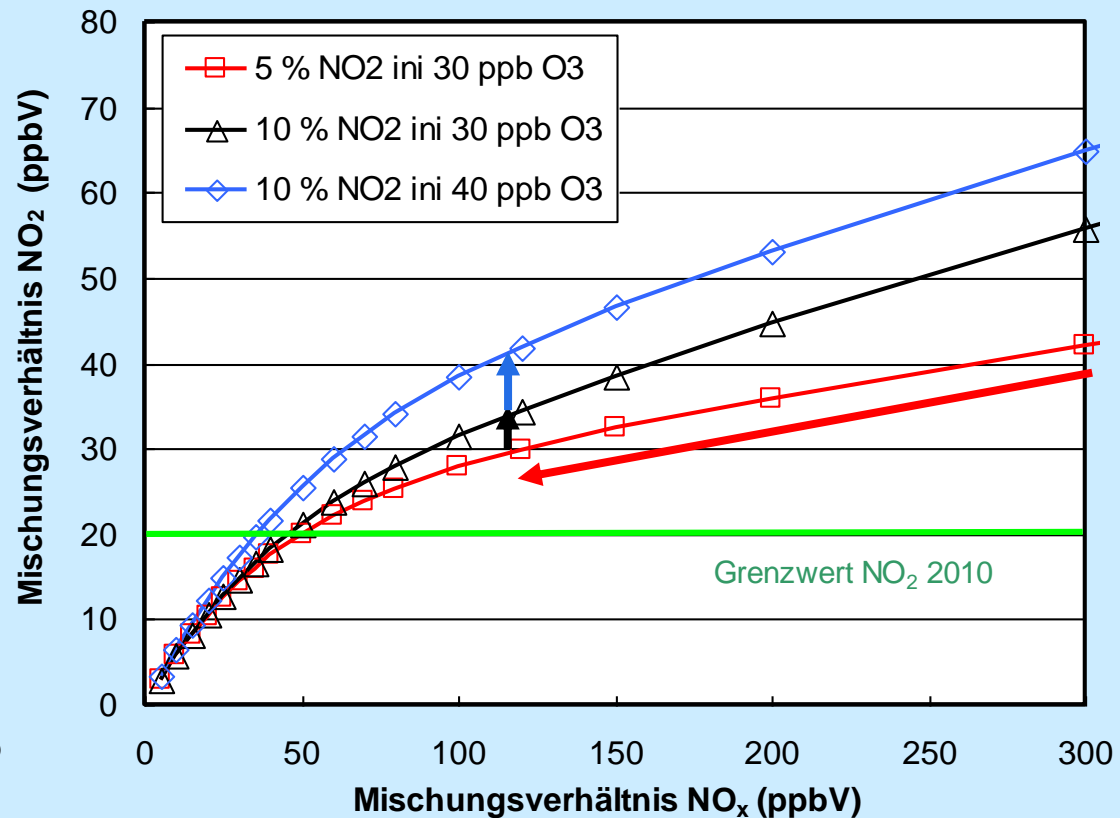
z.B. 5 % \rightarrow 10% (\uparrow)

➤ NO_2 : 30 ppb \rightarrow 34 ppb (\uparrow) 9%

○ Anstieg der O_3 (HG)

z.B. 30 ppb \rightarrow 40 ppb (\uparrow)

➤ NO_2 : 34 ppb \rightarrow 43 ppb (\uparrow) 21%



Ergebnisse und Diskussion

- Allg. Aussage über effiziente NO₂-Reduzierung:
 - $(\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}} \downarrow$ oder $\text{NO}_x \downarrow$?

Ergebnisse und Diskussion

○ Allg. Aussage über effiziente NO_2 -Reduzierung:

○ Hohes NO_x und NO_2

z.B. 200 ppb NO_x ; 60 ppb NO_2

○ Reduktion des $(\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}}$

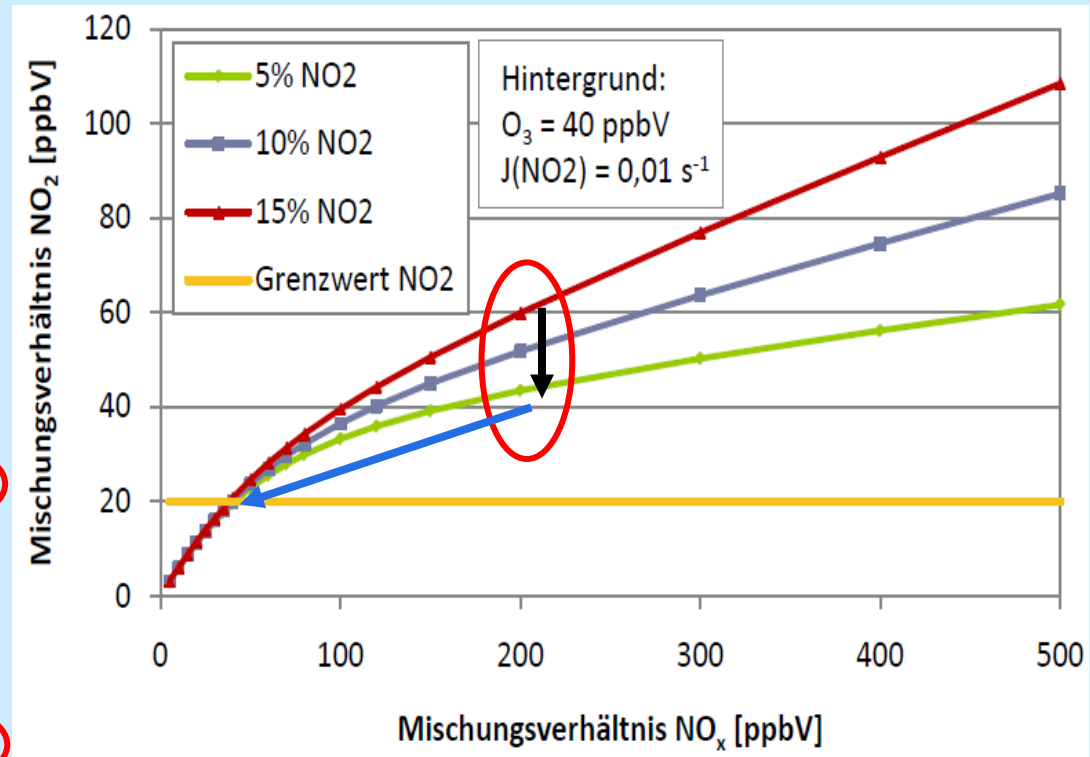
z.B. 15% \rightarrow 5% (\Downarrow)

➤ NO_2 : 60 ppb \rightarrow 44 ppb (\Downarrow) 26%

○ Reduktion des NO_x

z.B. 200 ppb \rightarrow 40 ppb (\Downarrow) 80%

➤ NO_2 : 44 ppb \rightarrow 20 ppb (\Downarrow) 40%



Ergebnisse und Diskussion

○ Allg. Aussage über effiziente NO_2 -Reduzierung:

○ Niedriges NO_x und NO_2

z.B. 70 ppb NO_x ; 30 ppb NO_2

○ Reduktion des $(\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}}$

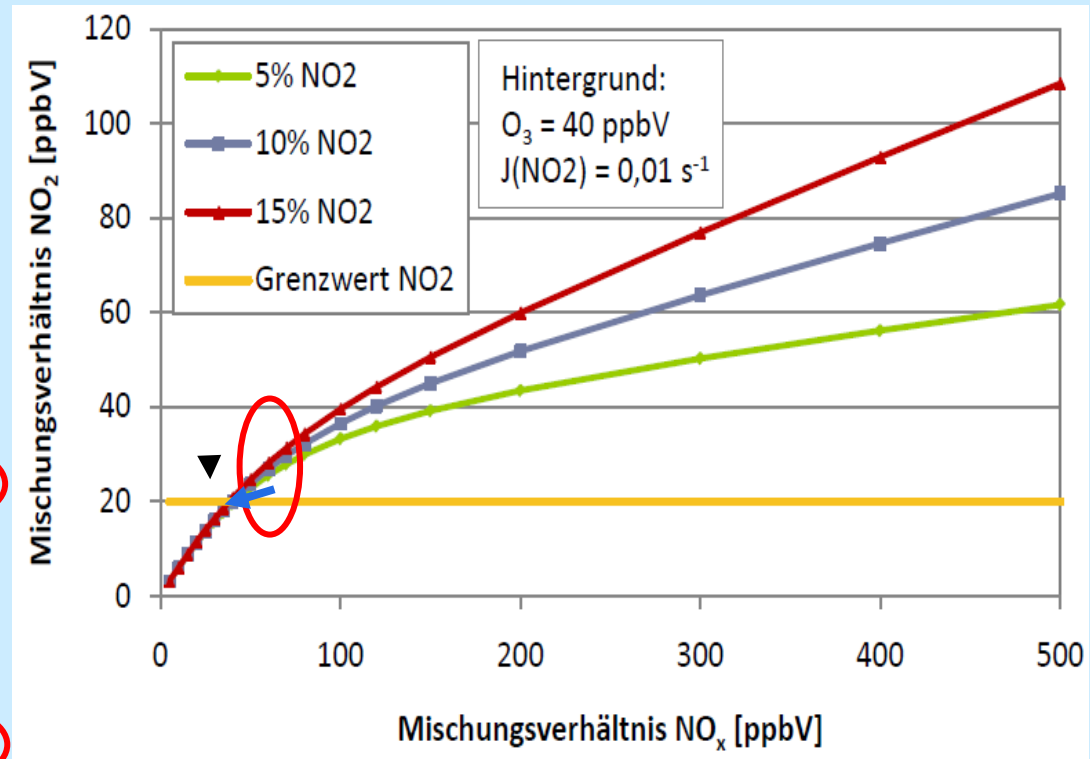
z.B. 15% \rightarrow 5% (\Downarrow)

➤ NO_2 : 30 ppb \rightarrow 28 ppb (\Downarrow) 7%

○ Reduktion des NO_x

z.B. 70 ppb \rightarrow 40 ppb (\Downarrow) 43%

➤ NO_2 : 28 ppb \rightarrow 20 ppb (\Downarrow) 26%



$\text{O}_3 \sim 40$ ppb \rightarrow wenn $\text{NO}_x > \text{O}_3 \rightarrow$ nachts ca. 40 ppb NO_2

- Trend der stagnierenden NO_2 -Immissionswerte im Zeitraum 2006 – 2009 setzt sich fort
- Im Zeitraum 2006 – 2009 durchschnittliches $(\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}}$ von $0,13 \pm 0,02$
- Anstieg $(\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}}$ um 9% seit 1997
- ➔ Einführung des Oxi-Kat
- Starker Anstieg des $(\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}}$ bei gesunkenem NO_x
- ➔ Ein Grund für stagnierende NO_2 -Immissionswerte

- Wuppertal: Hoher sekundärer NO_2 -Anteil ($68 \pm 6 \%$) und niedriger primärer NO_2 -Anteil ($32 \pm 6 \%$), Vergleichbar mit anderen Studien
- Senkung des primären Anteil auf 0% nicht ausreichend zur Einhaltung des NO_2 -Grenzwertes
- Sekundärer Anteil maßgebend für eine effiziente NO_2 -Reduzierung (NO_2 -Grenzwertes)
- Erklärung des NO_2 -Trend ($\text{NO}_2 \rightarrow \text{NO}_x \downarrow$) und Aussage über effiziente NO_2 -Reduzierung durch einfache Modellrechnung

- Hohe NO_x - und NO_2 -Werte (Stuttgart):
 - Deutliche NO_x (EURO 5 \uparrow ; EURO 6) als auch $(\text{NO}_2/\text{NO}_x)_{\text{direkt}}$ -Reduzierung sinnvoll und notwendig
- Niedrige NO_x - und NO_2 -Werte (Wuppertal):
 - Nur deutliche NO_x -Reduzierung (EURO 5 \uparrow ; EURO 6) sinnvoll und notwendig

Danksagung

Mitarbeiter der BUW:
V. Elsner, J. Kleffmann und
P. Wiesen
und dem LANUV:
P. Bruckmann



Danke für Ihre Aufmerksamkeit