



Luftqualität inner- und außerhalb von Gebäuden am Beispiel des Kölner Doms

Dr. Ralf Kurtenbach
Fakultät 4 / Physikalische Chemie
Untersuchung atmosphärischer
Prozesse
kurtenba@uni-wuppertal.de



Evangelista Torricelli (1608-1647)

“Die Atmosphäre ist das Meer in dem wir leben”



Inhaltsübersicht

- Einleitung
- Messungen
- Ergebnisse
- Modelansatz
- Fazit
- Luftgüte-Messstation



- ◆ Subjektive Beschreibung:
 - ➔ „gute Luftqualität \equiv Frische Luft zum Atmen“, aber meistens sind die Luftverunreinigungen farb- und geruchlos!!!
- ◆ Objektive Beschreibung:
 - ➔ „Durch die Beschaffenheit (Anteil) der in der Luft enthaltenen Luftverunreinigungen (Luftschadstoffe)“
 - ➔ Die Luftqualität wird durch zahlreiche in Gesetzen oder Verordnungen (BImSchV / AIR und TRGS) festgelegte Grenz- und Richtwerte bestimmt.
 - ➔ Die Überwachung der Luftqualität erfolgt durch Immissionsmessungen der Luftschadstoffe (z. B. an Straßen (hot spots), im städt. Hintergrund (Wälder), Innenräumen und an Arbeitsplätzen

- ◆ **NO_x: Stickoxide (NO + NO₂)**
(Stickstoffmonoxid NO und Stickstoffdioxid NO₂)
- **Insbesondere NO₂ und dessen Folgeprodukte wie z. B. Salpetrige Säure (HONO) sind gesundheitsschädlich**
- ◆ **Immissionsgrenzwerte für NO₂ (39. BImSchV):**
 - Stundenmittelwert 200 µg/m³ / 18 zulässige Überschreitungen pro Jahr (2010)
 - Jahresmittelwert 40 µg/m³ ≡ 20 ppbV (2010/15)
≡ „Jahresdosis“: 137 mg (0,39 m³/h und 8760 h)
- ◆ **Innenraumrichtwert II für NO₂ (AIR):**
 - 30 Min-Mittelwert 350 µg/m³ bzw.
 - 7 Tagemittelwert 60 µg/m³ ≡ 30 ppbV (1998)
≡ „Jahresdosis“: 205 mg (0,39 m³/h und 365 Tage)

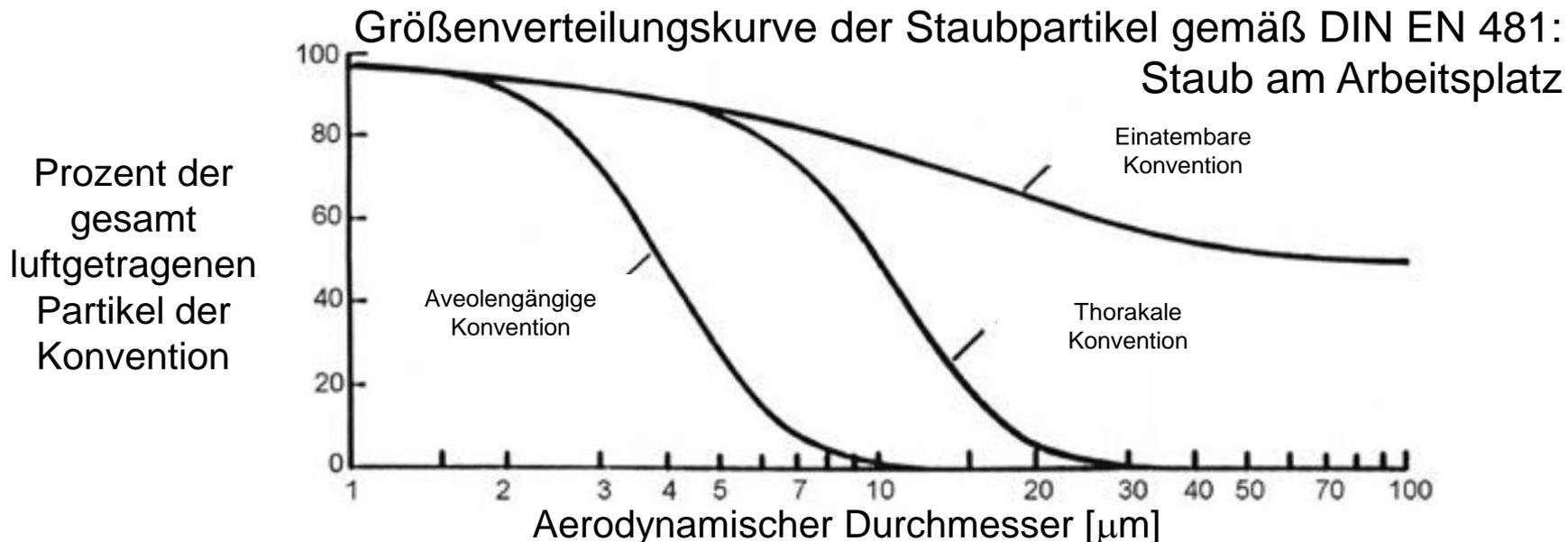
- ◆ **NO_x: Stickoxide (NO + NO₂)**
 - ➔ **Insbesondere NO₂ und dessen Folgeprodukte wie z. B. Salpetrige Säure (HONO) sind gesundheitsschädlich**
- ◆ **Arbeitsplatzgrenzwert für NO₂ (TRGS 900):**
 - ➔ **Schichtmittelwert 950 µg/m³ / 8 h Exposition an 5 Tagen pro Woche / Lebensarbeitszeit (TRGS 900)**
≡ „Jahresdosis“: 722 mg (0,39 m³/h und 1920 h)
- ◆ **Arbeitsplatzgrenzwert für NO (TRGS 900):**
 - ➔ **Schichtmittelwert 2500 µg/m³ / 8 h Exposition an 5 Tage pro Woche / Lebensarbeitszeit (TRGS 900)**
≡ „Jahresdosis“: 1872 mg (0,39 m³/h und 1920 h)

- ◆ **Partikel: PM10 und PM2,5 nach BImSchV**
(Partikelmasse von Partikel mit einem Durchmesser von < 10 bzw. $< 2,5 \mu\text{m}$)
 - ➔ **Insbesondere der Anteil $< 1 \mu\text{m}$ ist gesundheitsschädlich**
- ◆ **Immissionsgrenzwerte für PM10 (39. BImSchV):**
 - ➔ Tagesmittelwert $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ / 35 zulässige Überschreitungen pro Jahr (2005)
 - ➔ Jahresmittelwert $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2005)
- ◆ **Immissionsgrenzwerte für PM2,5 (39. BImSchV):**
 - ➔ Jahresmittelwert $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (seit 2015)
 - ➔ 3 Jahresmittelwert im Hintergrund $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (2015)

◆ **Partikel: Einatembare (PM100) E- und Aveolengängige (PM4) A-Staubfraktion nach TRGS**

(Partikelmasse von Partikel mit einem Durchmesser von < 100 bzw. $< 4 \mu\text{m}$)

Insbesondere der Anteil $< 2,5 \mu\text{m}$ ist sehr gesundheitsschädlich



- ◆ **Partikel:**

- ◆ **Arbeitsplatzgrenzwert für E-Fraktion (TRGS 402):**
 - ➔ Schichtmittelwert $10.000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ / 8 h Exposition an 5 Tagen pro Woche / Lebensarbeitszeit

- ◆ **Arbeitsplatzgrenzwert für A-Fraktion, (TRGS 402):**
 - ➔ Schichtmittelwert $1.250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM₄ / 8 h Exposition an 5 Tagen pro Woche / Lebensarbeitszeit
 - ≡ „Jahresdosis“: 936 mg ($0,39 \text{ m}^3/\text{h}$ und 1920 h)

 - Im Vergleich PM_{2,5} (39. BImSchV)
 - ≡ „Jahresdosis“: 85 mg ($0,39 \text{ m}^3/\text{h}$ und 8760 h)

- ◆ **O₃: Ozon**
- **gesundheitsschädlich**
- ◆ **Immissionsgrenzwert für O₃ (39. BImSchV):**
- Achtstundenmittelwert 120 µg/m³ / 25 zulässige Überschreitungen pro Jahr
- ◆ **Informationsschwelle für O₃ (39. BImSchV):**
- Stundenmittelwert 180 µg/m³
- ◆ **Alarmschwelle für O₃ (39. BImSchV):**
- Stundenmittelwert 240 µg/m³

- ◆ **SO₂: Schwefeldioxid**
- **gesundheitsschädlich**
- ◆ **Immissionsgrenzwert für SO₂ (39. BImSchV):**
- Jahresmittelwert 50 µg/m³
≡ „Jahresdosis“: 171 mg (0,39 m³/h und 8760 h)
- Tagesmittelwert 125 µg/m³ / 3 zulässige Überschreitungen pro Jahr
- Stundenmittelwert 350 µg/m³ / 24 zulässige Überschreitungen pro Jahr
- ◆ **Alarmschwelle für SO₂ (39. BImSchV):**
- Stundenmittelwert 500 µg/m³
- ◆ **Arbeitsplatzgrenzwert für SO₂ (TRGS 900):**
Schichtmittelwert 2.700 µg/m³ / 8 h / 5 Tage
≡ „Jahresdosis“: 2.022 mg (0,39 m³/h und 1920 h)

- ◆ **CO: Kohlenmonoxid**
- **gesundheitsschädlich**
- ◆ **Immissionsgrenzwert für CO (39. BImSchV):**
- Achtstundenmittelwert 10 mg/m^3
≡ „Jahresdosis“: 34 g ($0,39 \text{ m}^3/\text{h}$ und 8760 h)
- ◆ **Arbeitsplatzgrenzwert für CO (TRGS 900):**
- Schichtmittelwert 35 mg/m^3 / 8 h Exposition an 5
Tagen pro Woche / Lebensarbeitszeit)
≡ „Jahresdosis“: 26 g ($0,39 \text{ m}^3/\text{h}$ und 1920 h)

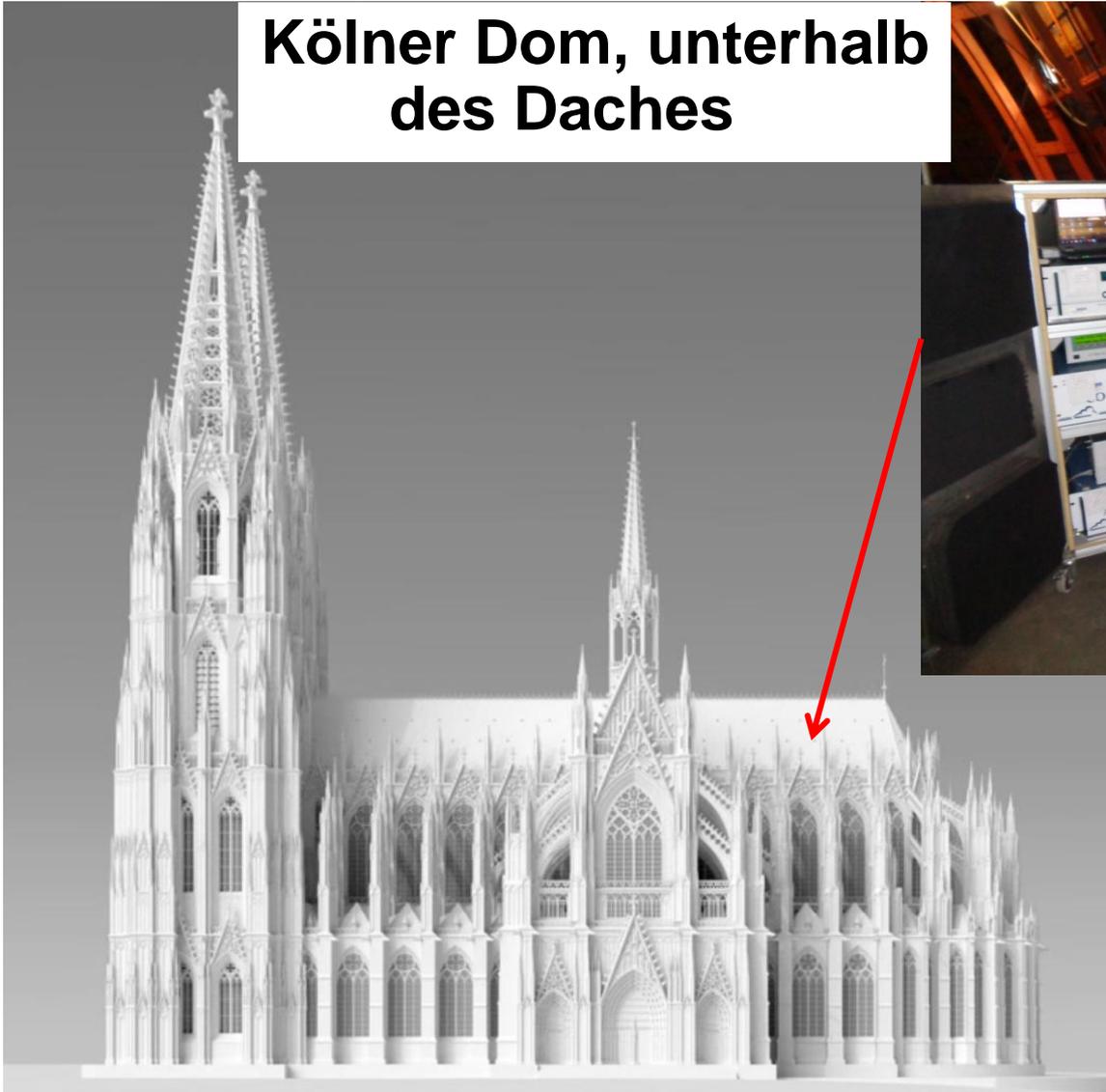
- ◆ **VOC: leichtflüchtige organische Verbindungen (z. B. Benzindämpfe)**
 - ➔ **Teilweise auch direkt gesundheitsschädlich, wie z. B. Benzol**
- ◆ **Immissionsgrenzwert für Benzol (39. BImSchV):**
 - ➔ **Jahresmittelwert $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$**
 - ≡ „Jahresdosis“: 17 mg ($0,39 \text{ m}^3/\text{h}$ und 8760 h)

- ◆ Kennzeichnung der Luftqualität durch den LQI auf Grundlage der Grenzwerte (LUBW)

Klassengrenzen für den Kurzzeit-Luftqualitätsindex LQI

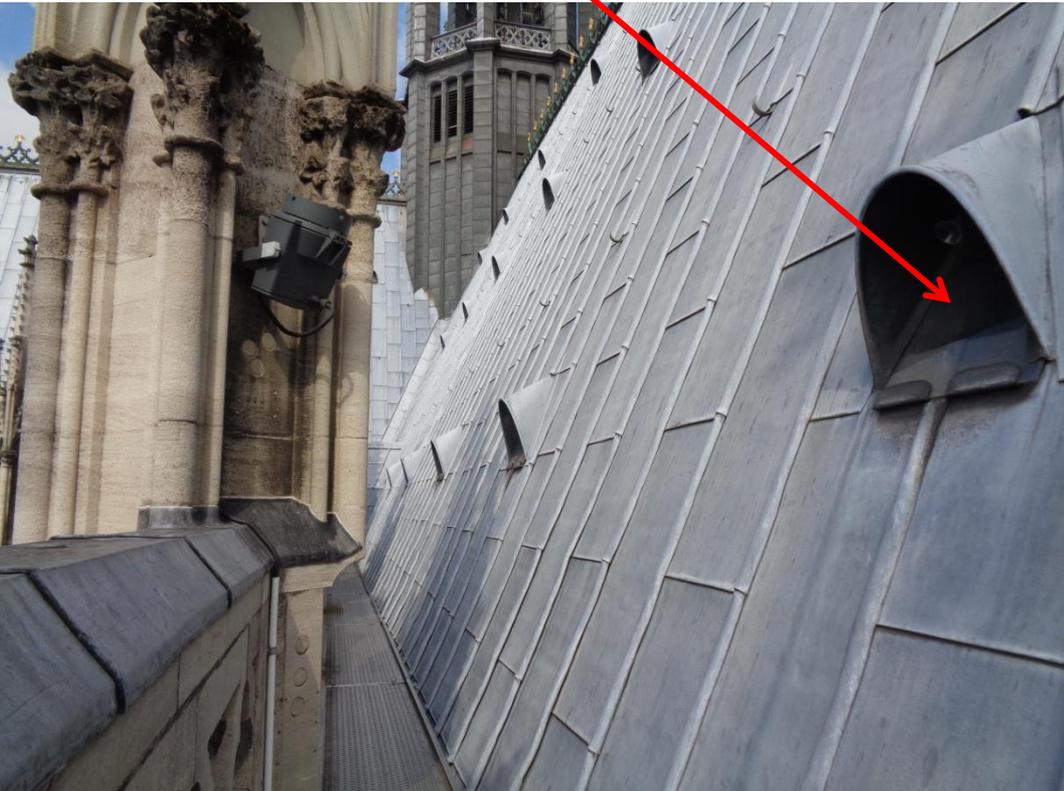
Index	Bewertung	NO ₂ 1-h-Mittelwert (µg/m ³)	SO ₂ 1-h-Mittelwert (µg/m ³)	CO 8-h-Mittelwert (mg/m ³)	O ₃ 1-h-Mittelwert (µg/m ³)	PM ₁₀ 24-h-Mittelwert (µg/m ³)
1	sehr gut	0 ≤ Wert ≤ 25	0 ≤ Wert ≤ 25	0 ≤ Wert ≤ 1	0 ≤ Wert ≤ 33	0 ≤ Wert ≤ 10
2	gut	25 < Wert ≤ 50	25 < Wert ≤ 50	1 < Wert ≤ 2	33 < Wert ≤ 65	10 < Wert ≤ 20
3	befriedigend	50 < Wert ≤ 100	50 < Wert ≤ 120	2 < Wert ≤ 4	65 < Wert ≤ 120	20 < Wert ≤ 35
4	ausreichend	100 < Wert ≤ 200	120 < Wert ≤ 350	4 < Wert ≤ 10	120 < Wert ≤ 180	35 < Wert ≤ 50
5	schlecht	200 < Wert ≤ 500	350 < Wert ≤ 1000	10 < Wert ≤ 30	180 < Wert ≤ 240	50 < Wert ≤ 100
6	sehr schlecht	500 < Wert	1000 < Wert	30 < Wert	240 < Wert	100 < Wert

**Kölner Dom, unterhalb
des Daches**



**April bis
September 2017**

- Im Dom (oberhalb des Chors, 45 m)
- Außen (Dachfenster Südseite, 48 m)





- Im Dom (oberhalb des Chors)

- **O₃-Monitor (UV-Absorption):
Direkte O₃-Messung**

1 x O3 41M; ansyco

Zeitauflösung: 20 sec

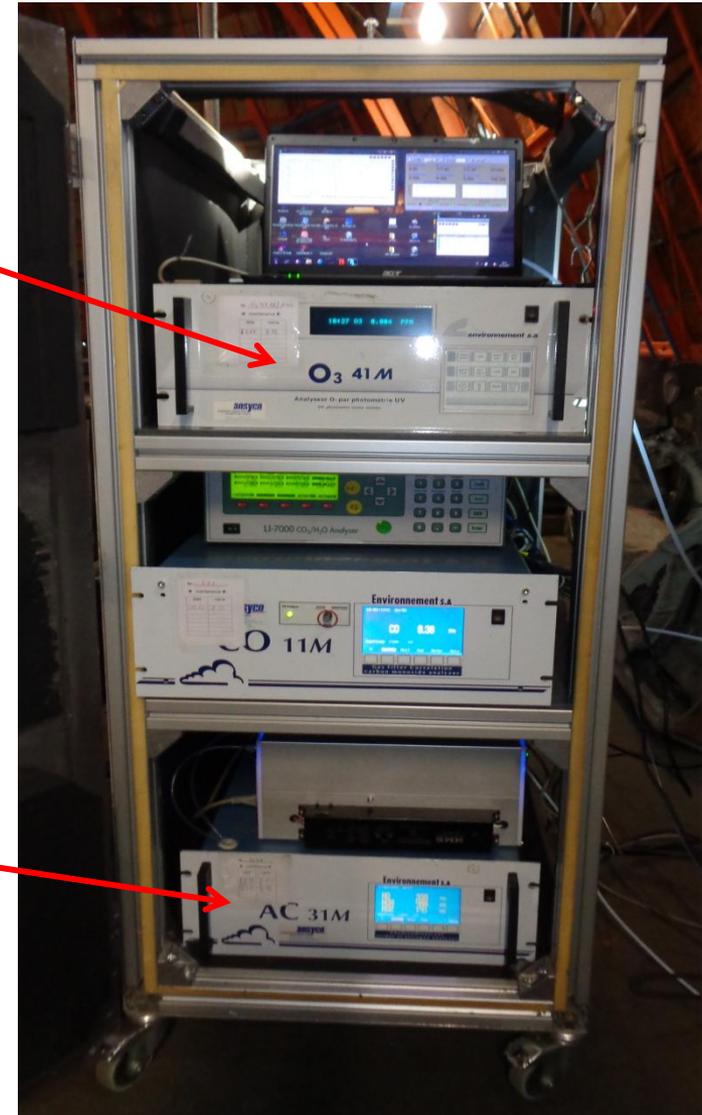
Nachweisgrenze: 2 ppbV

- **NO_x-Monitor
(Chemilumineszenz): Direkte
NO- und indirekte NO₂-Messung**

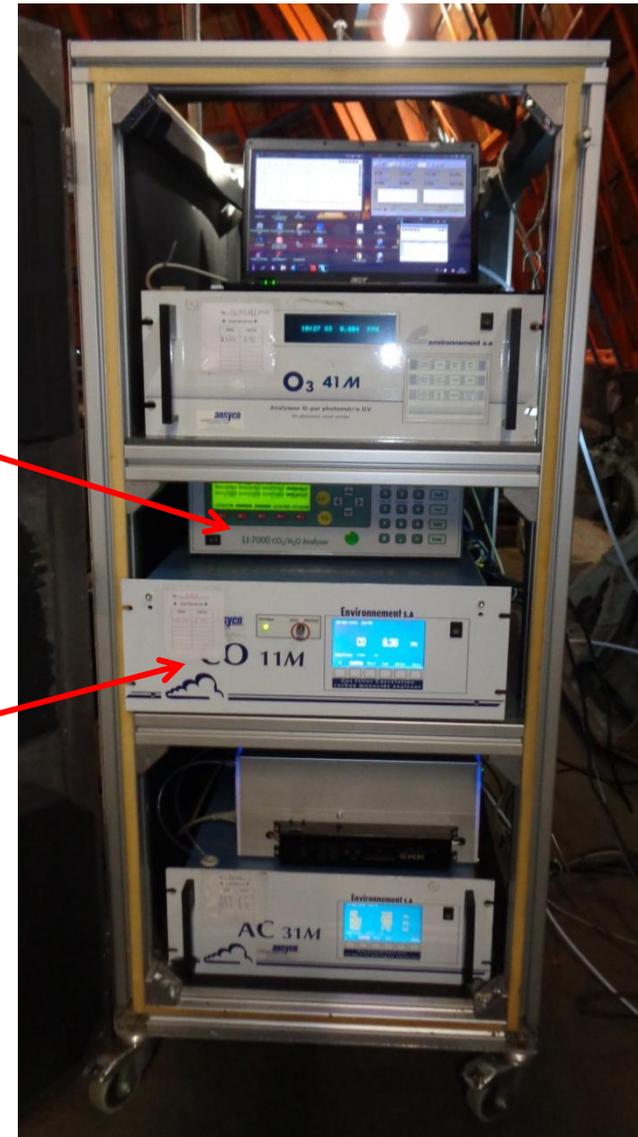
1 x AC 31M; ansyco

Zeitauflösung: 10 sec

Nachweisgrenze: 2 ppbV



- **CO₂-Monitor (NDIR):**
Direkte CO₂-Messung
1 x LICOR 7100; LICOR
Zeitauflösung: 1 sec
Nachweisgrenze: 100 ppbV
- **CO-Monitor (NDIR):**
Direkte CO-Messung
1 x CO 11M; ansyco
Zeitauflösung: 20 sec
Nachweisgrenze: 50 ppbV



- **SO₂-Monitor (UV-Fluoreszenz):**

- Direkte SO₂-Messung**

- 1 x Thermo 107; Thermo

- Zeitauflösung: 20 sec,

- Nachweisgrenze: 1 ppbV

- **HONO-Monitor (VIS-Absorption):**

- Indirekte HONO-Messung**

- 1 x LOPAP; BUW

- Zeitauflösung: 8 min

- Nachweisgrenze: 1 ppbV



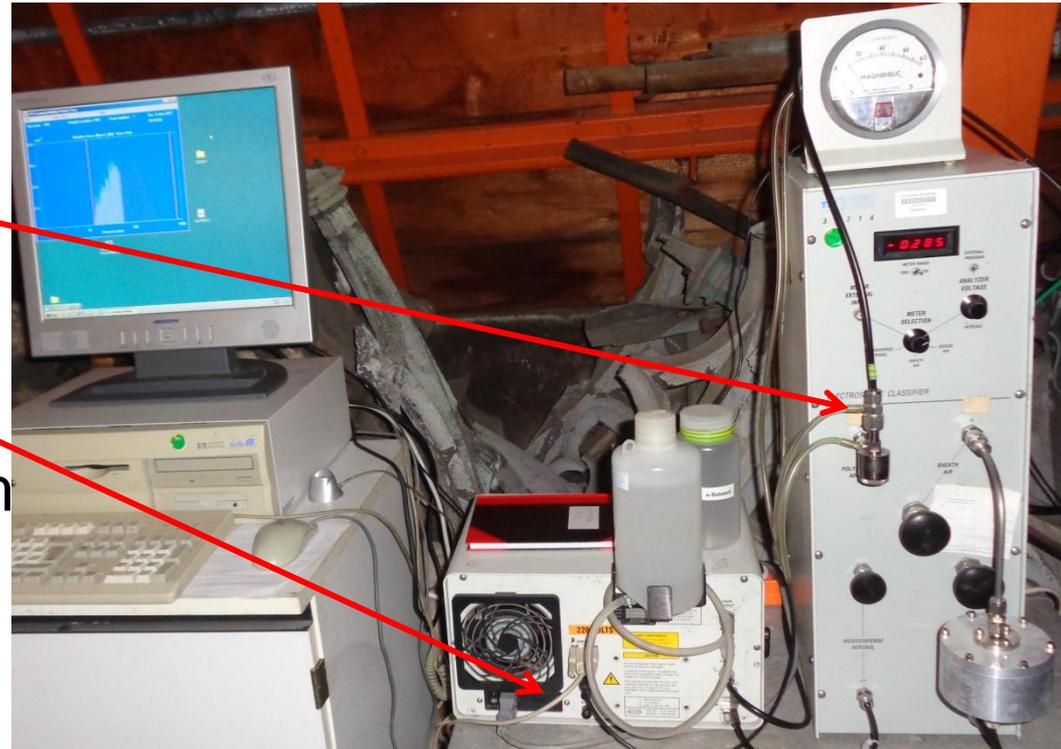
- **Partikel-Monitor (SMPS):**
Direkte Messung der
Partikelanzahl und –verteilung
PN1

1 x CPC und DMA; TSI

Zeitauflösung: 4 min

Größenbereich: 14 – 800 nm

Nachweisgrenze: 1/cm³



■ Partikel-Monitor (OPC):

Direkte Messung der
Partikelanzahl und indirekte
Messung der Partikelverteilung
PN10, PN2.5 und PN1

1 x EDM 107; Grimm

Zeitauflösung: 6 sec

Bereich: 250 – 30.000 nm

Nachweisgrenze: 1/L



- **VOC-Probenahme („Aktivkohle“):**
Konzentration von VOCs (C_3 bis C_{12})

1 x GC-MS-FID; Agilent

Zeitauflösung: 1-2 h,

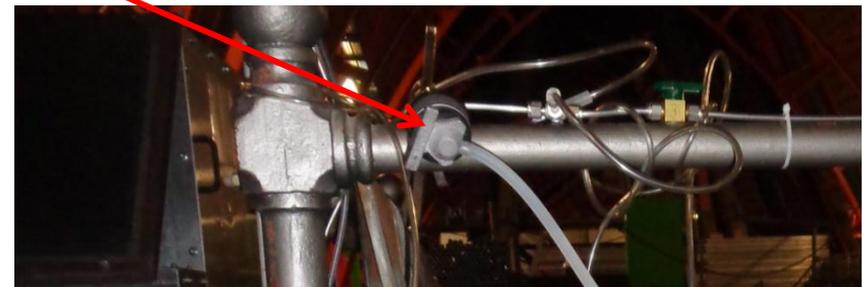
Nachweisgrenze: pptV-Bereich

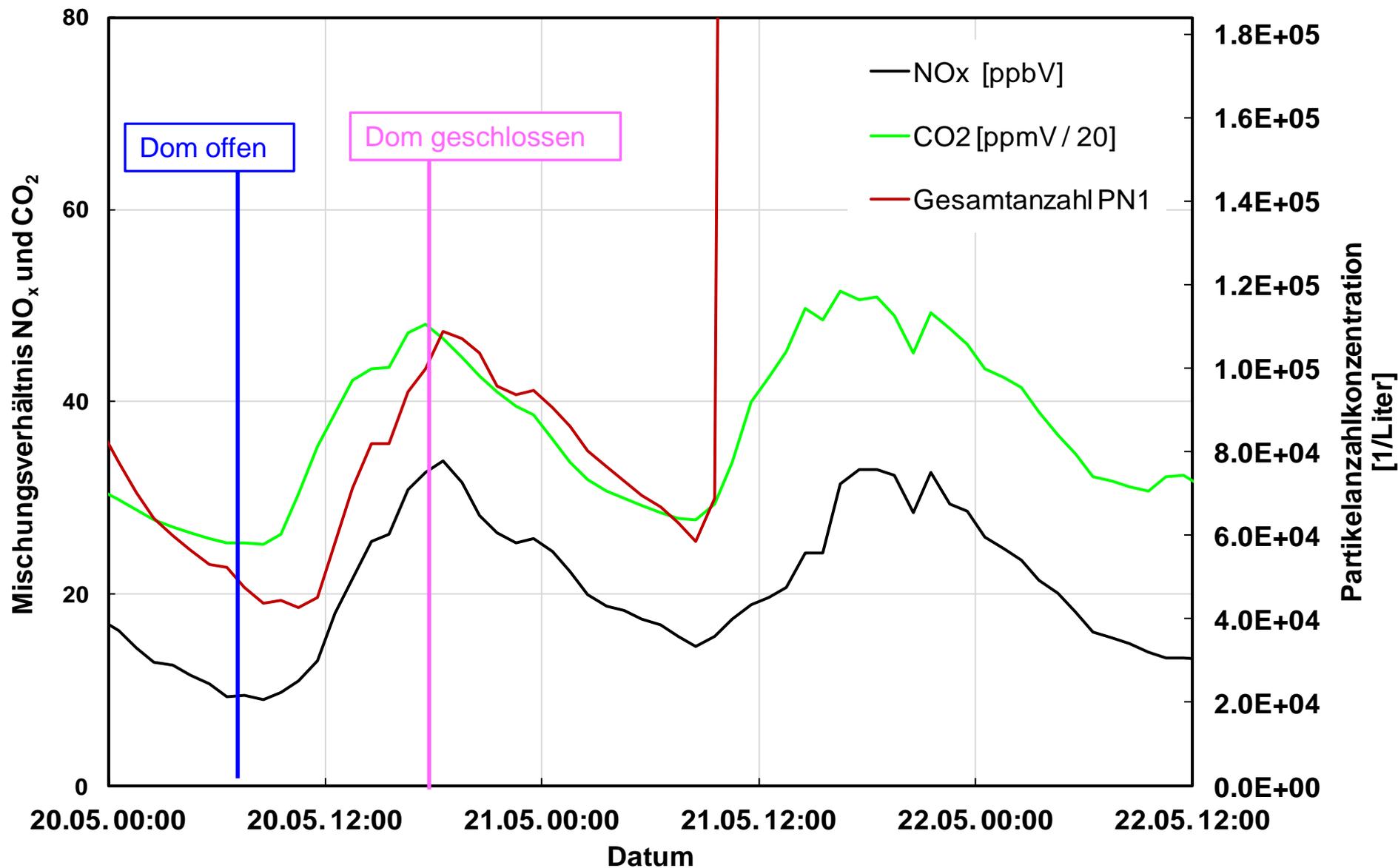
- **PAK-Probenahme („Filter/XAD2“):**
Konzentration von PAKs

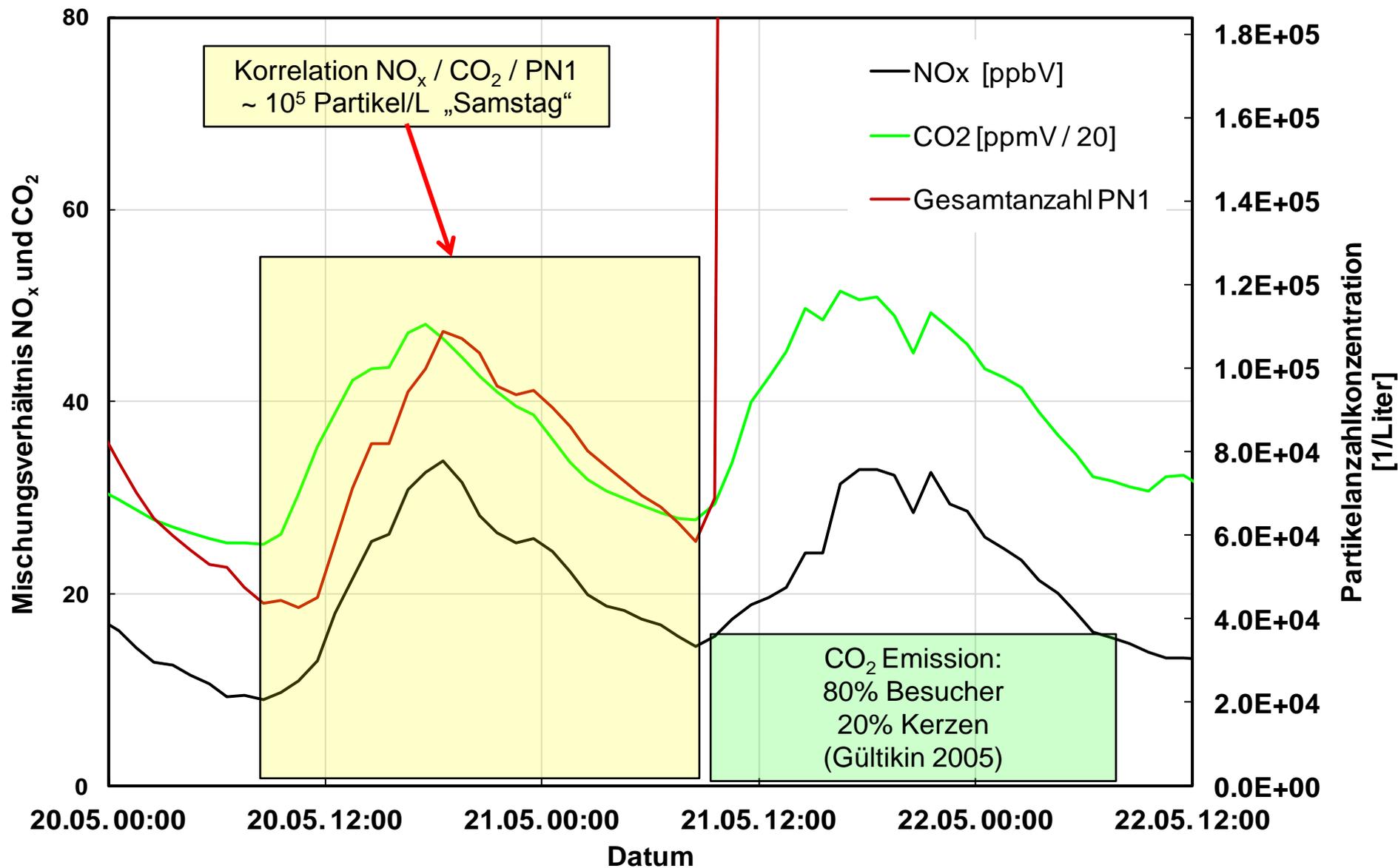
UV- und FLD-Methode, IFA (St. Augustin)

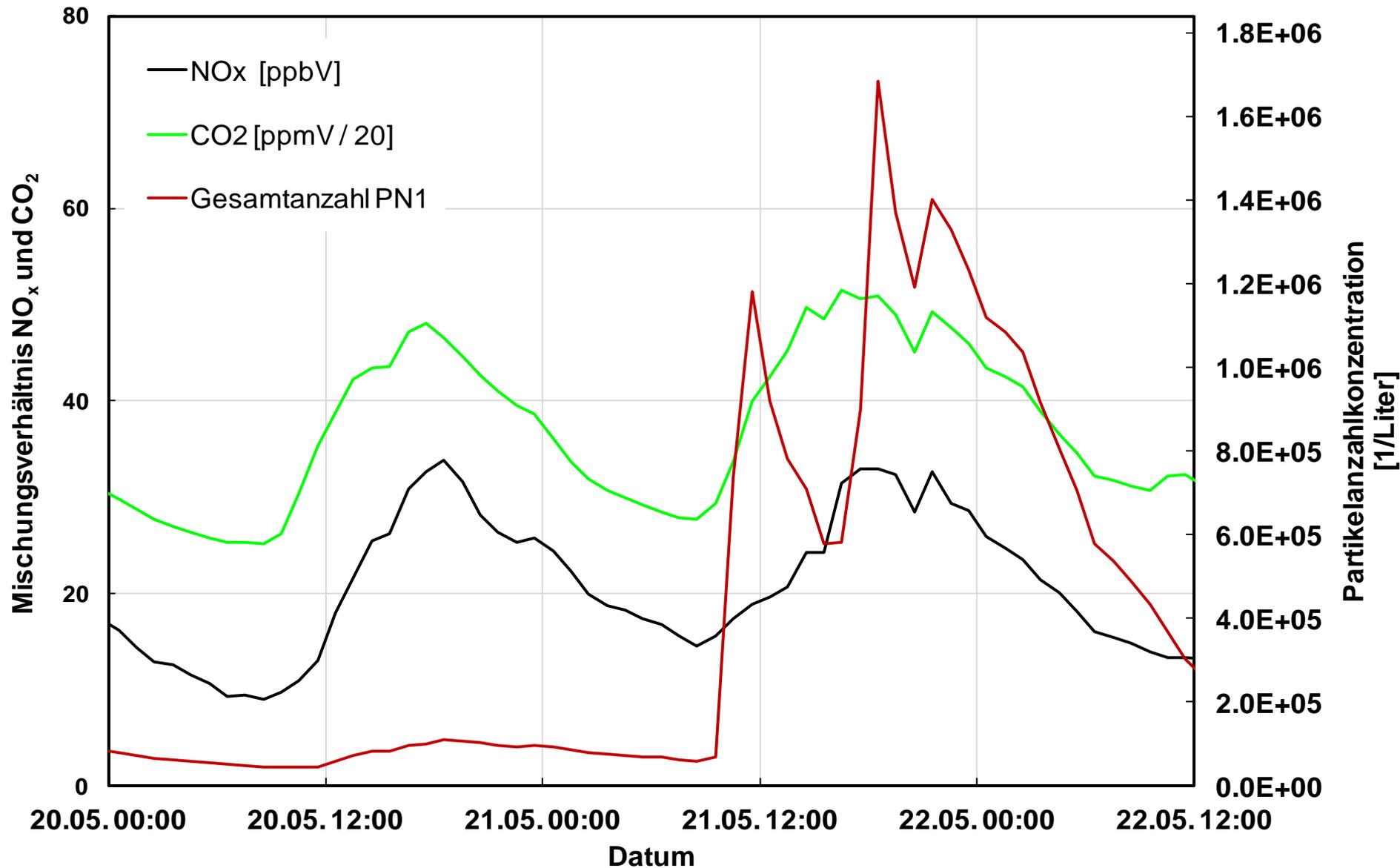
Zeitauflösung: 1-2 h,

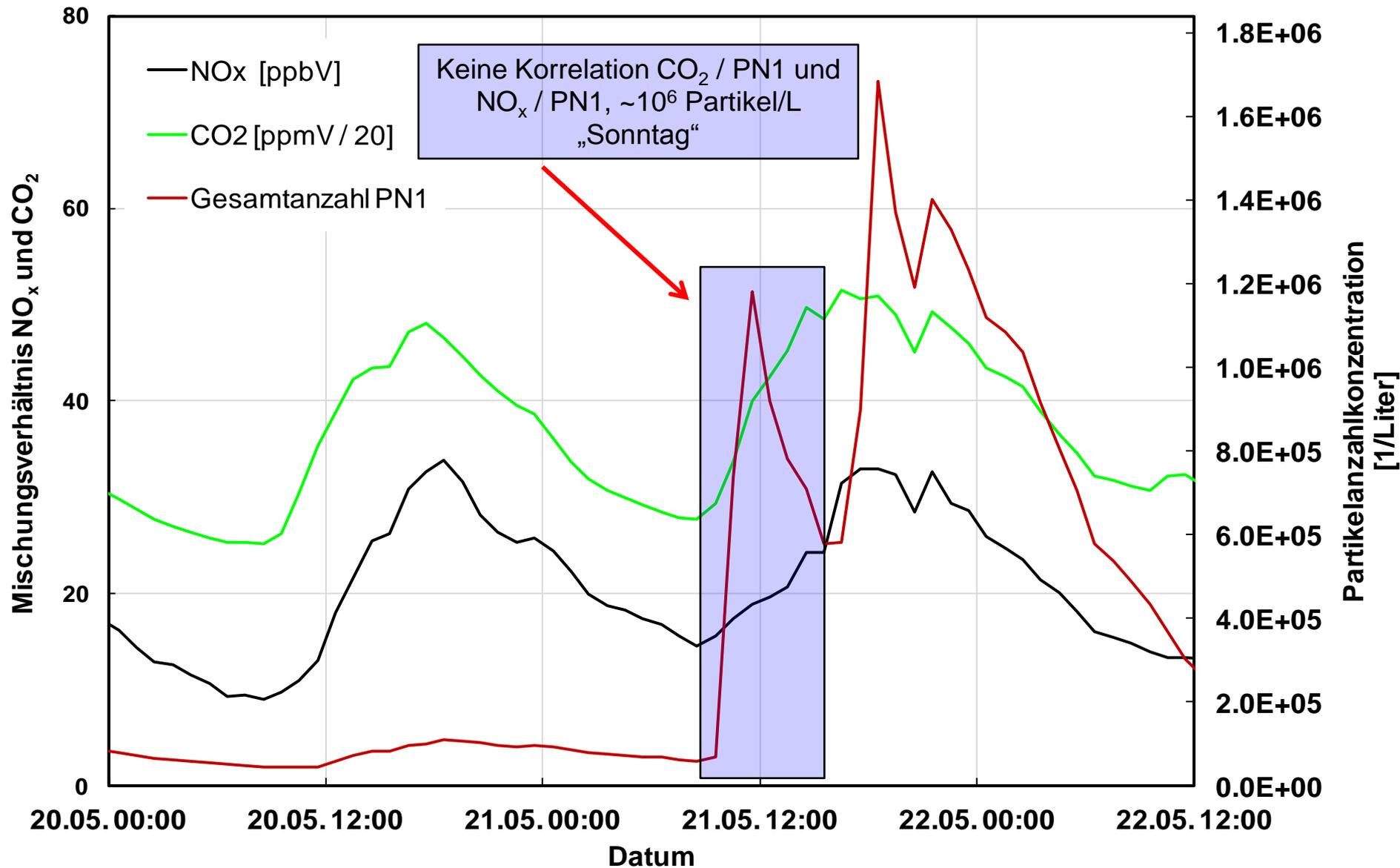
Nachweisgrenze: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ -Bereich

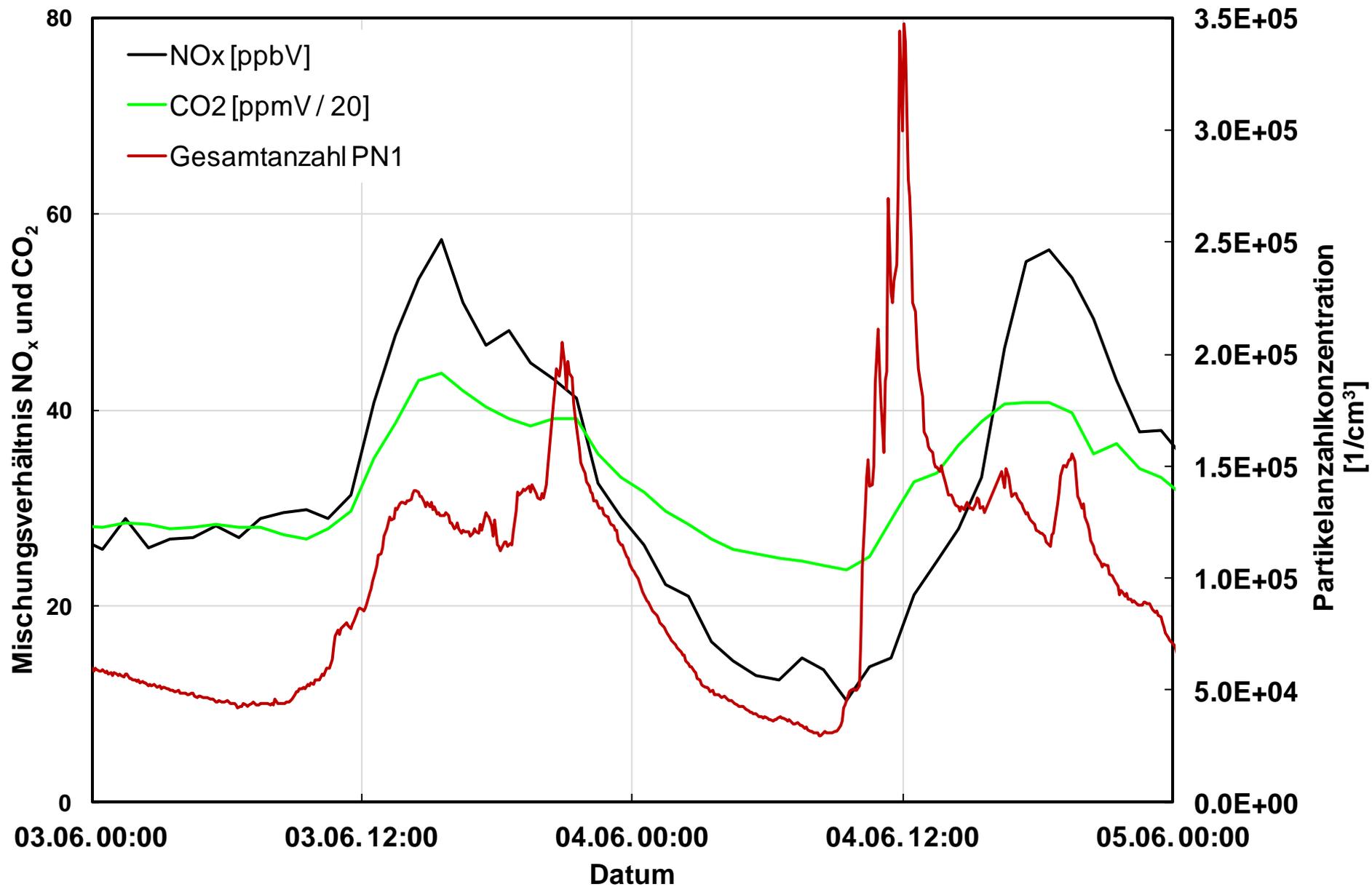


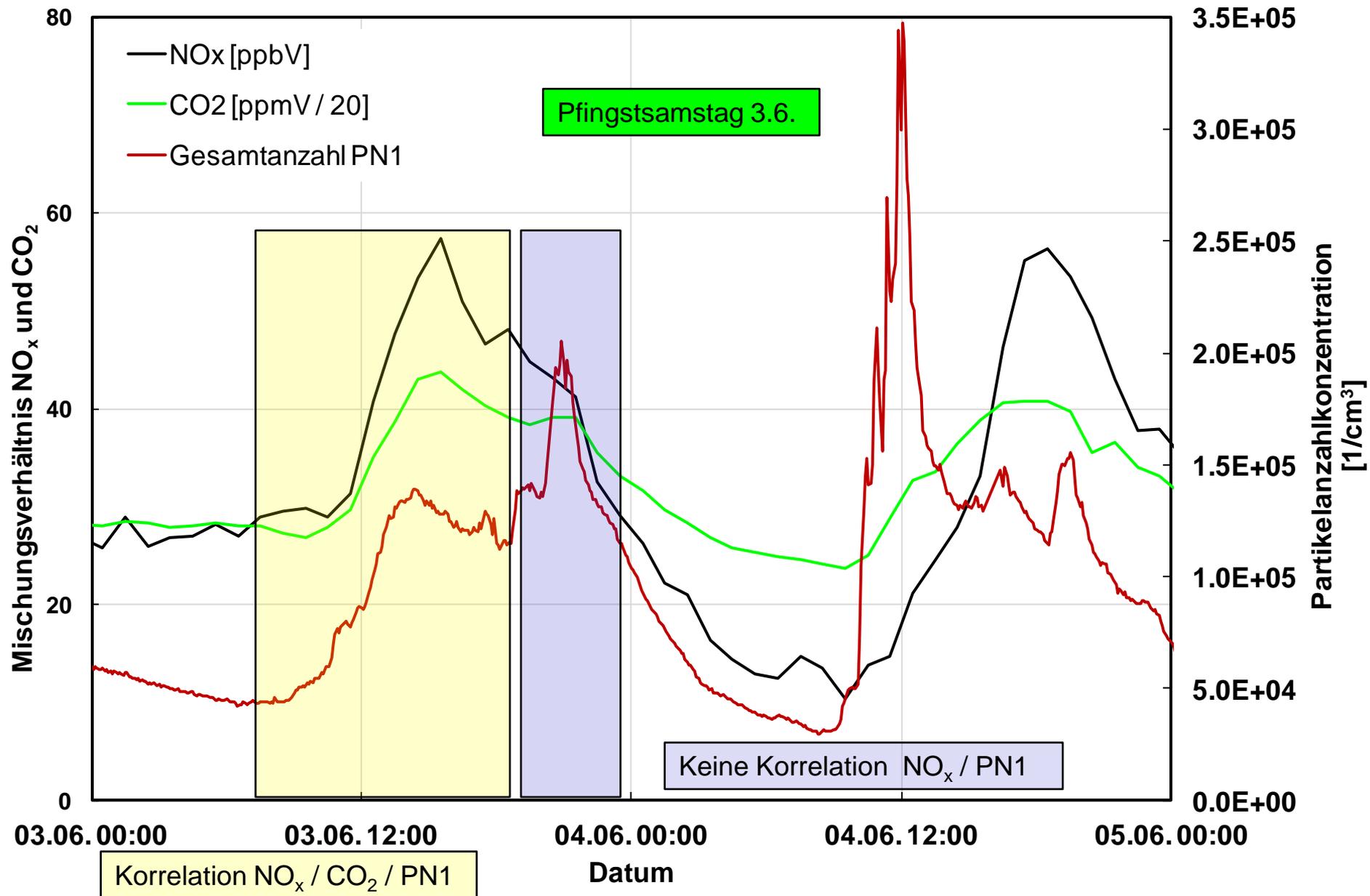




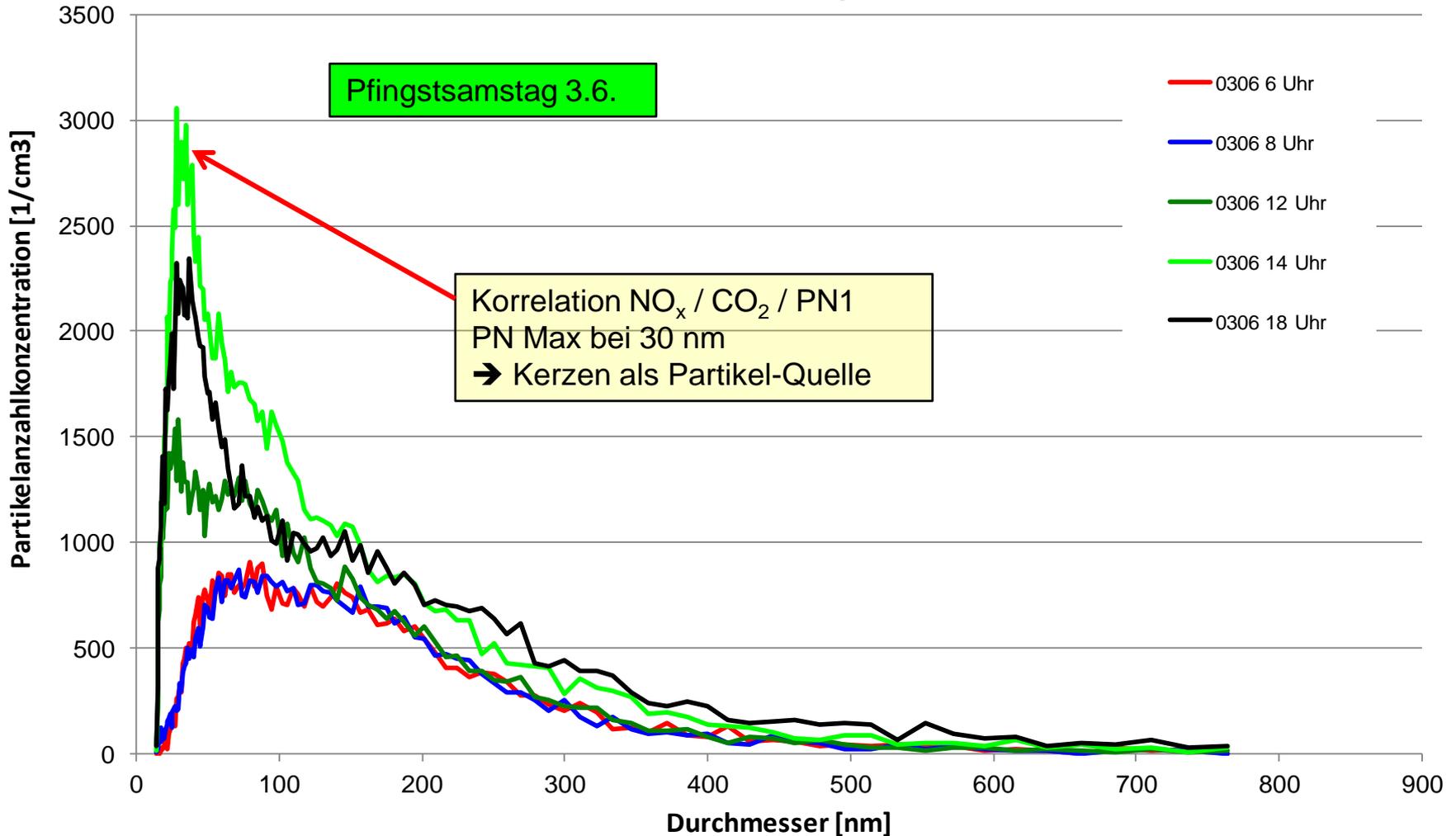




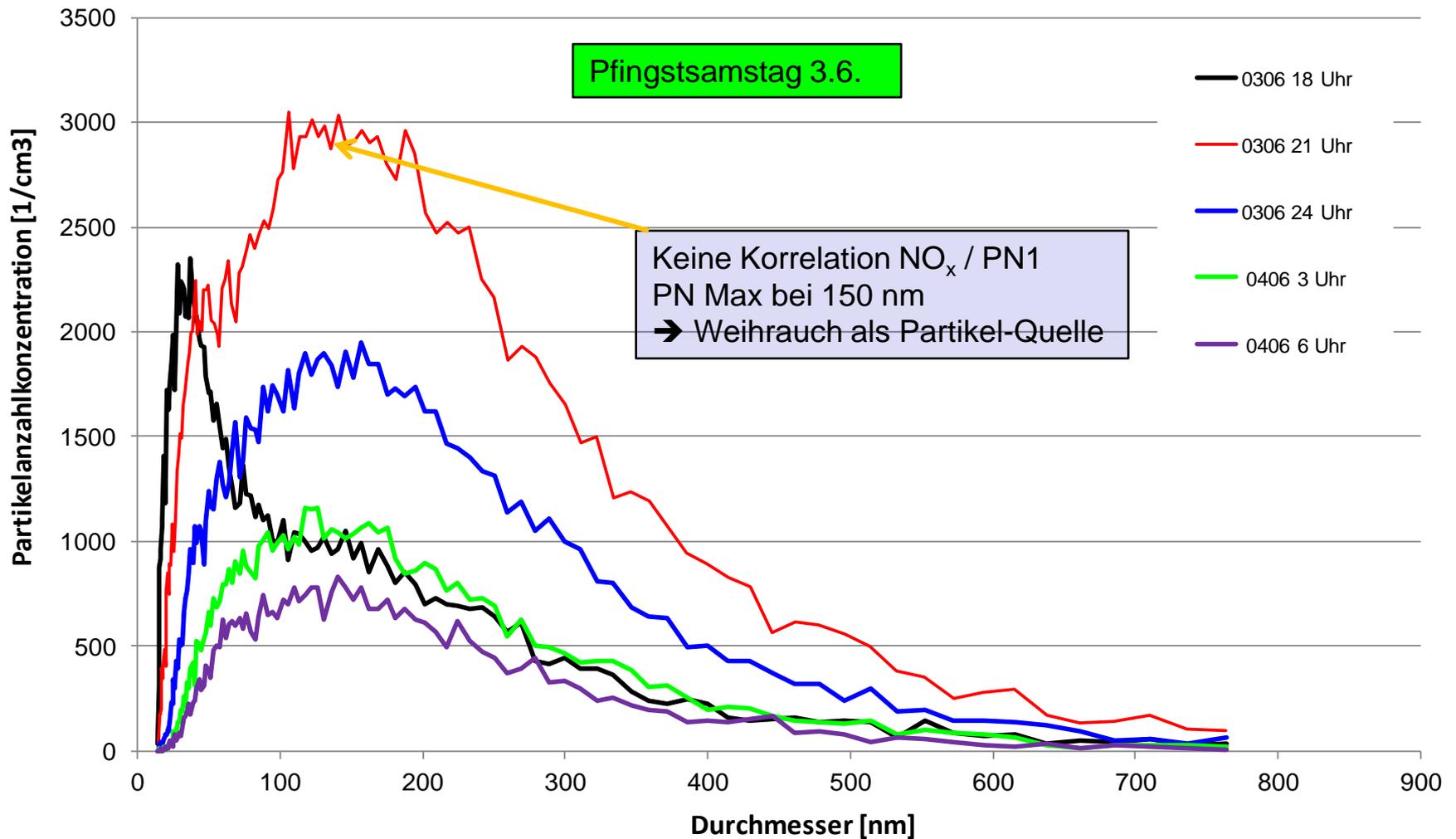


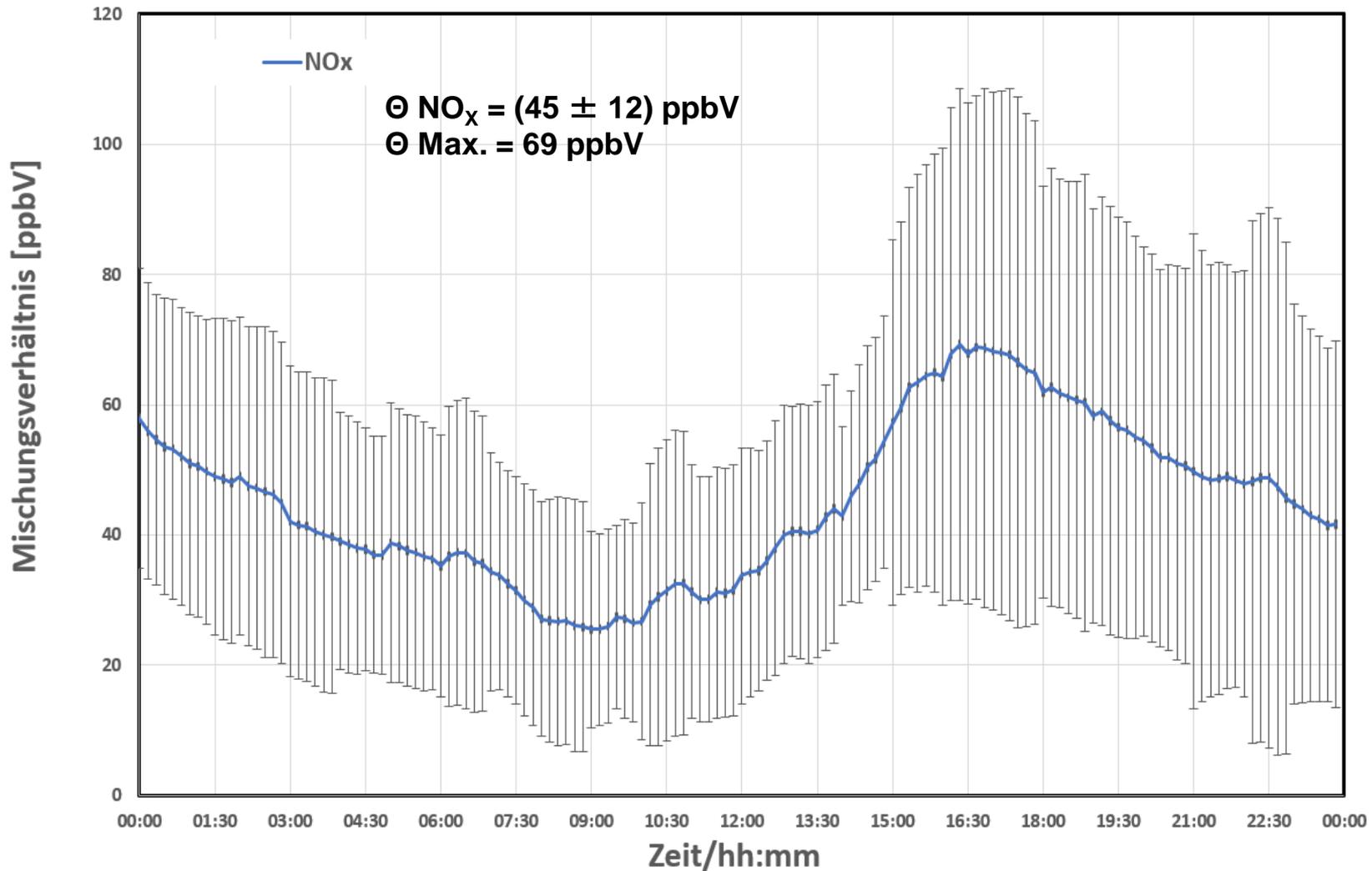


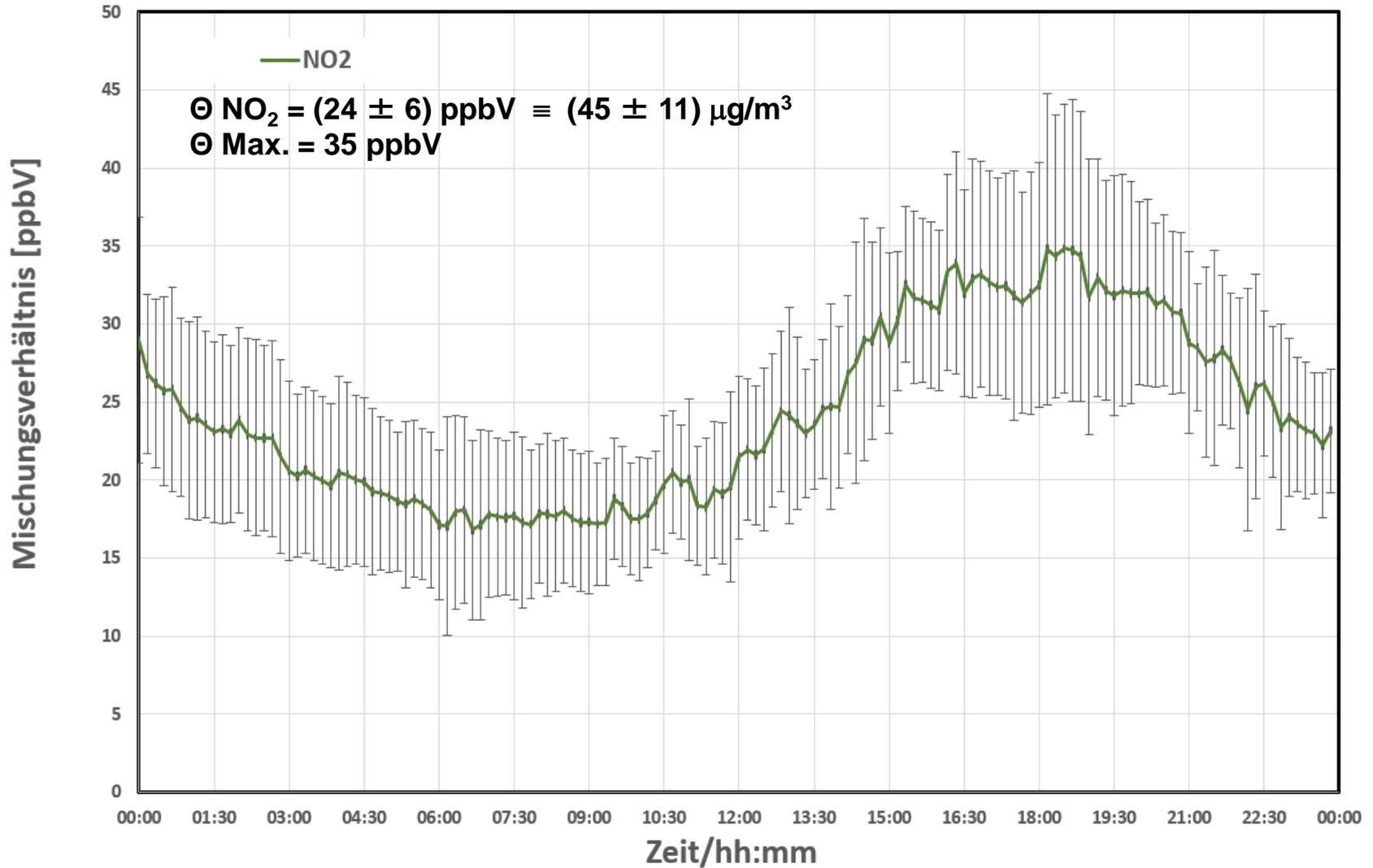
Größenverteilung der Partikelanzahlkonzentration Dom Innen (SMPS Messung)

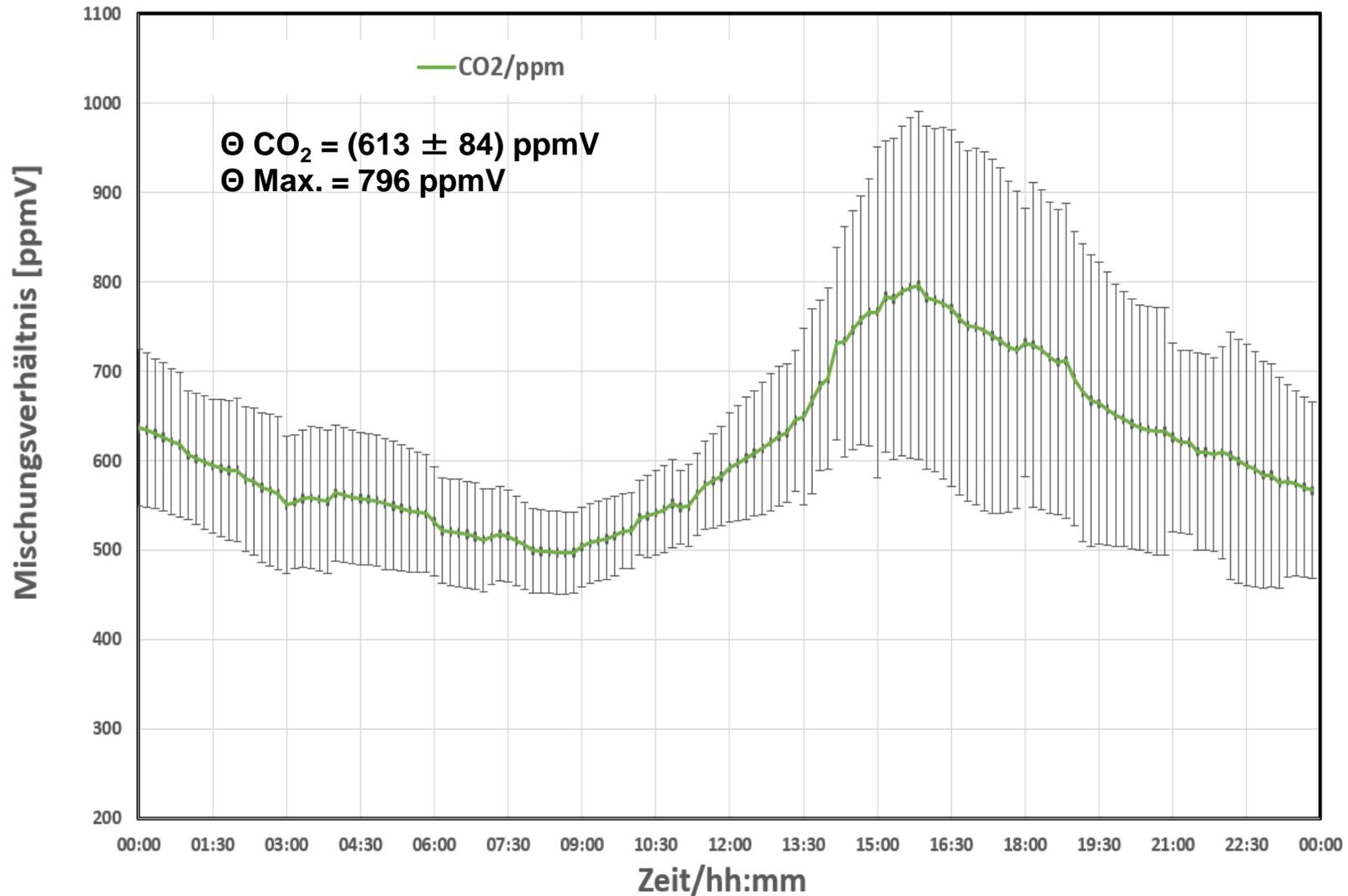


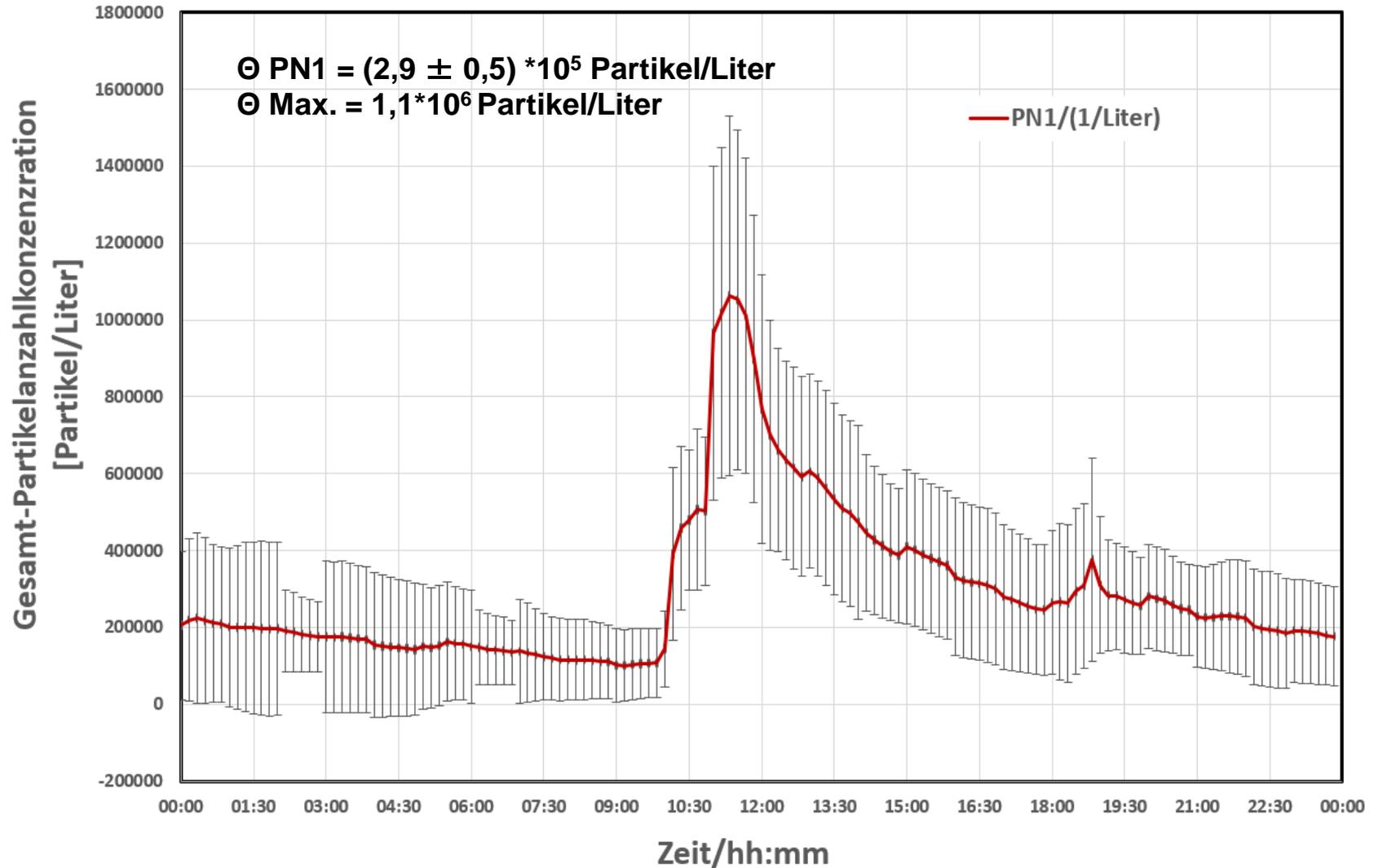
Größenverteilung der Partikelanzahlkonzentration Dom Innen (SMPS Messung)

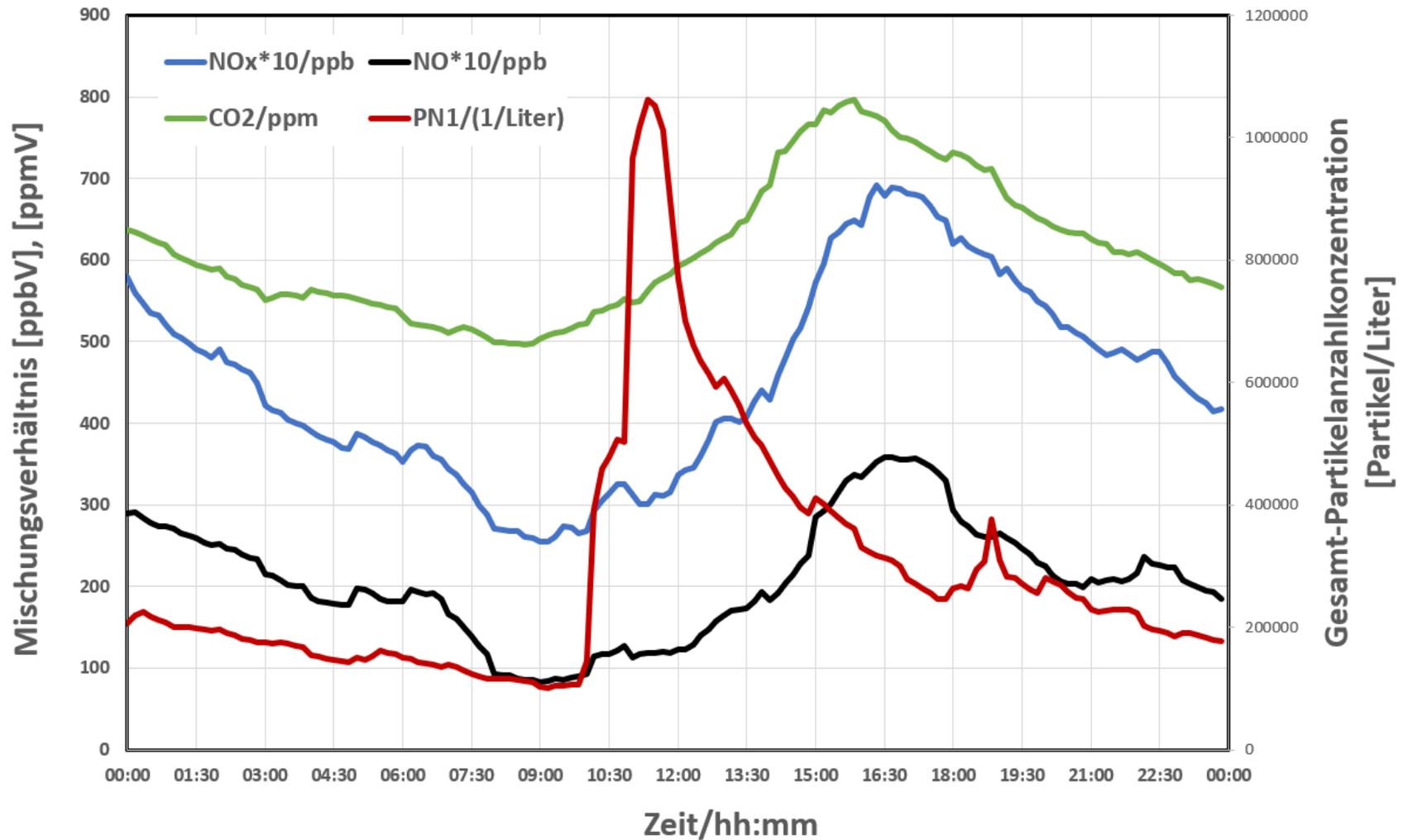


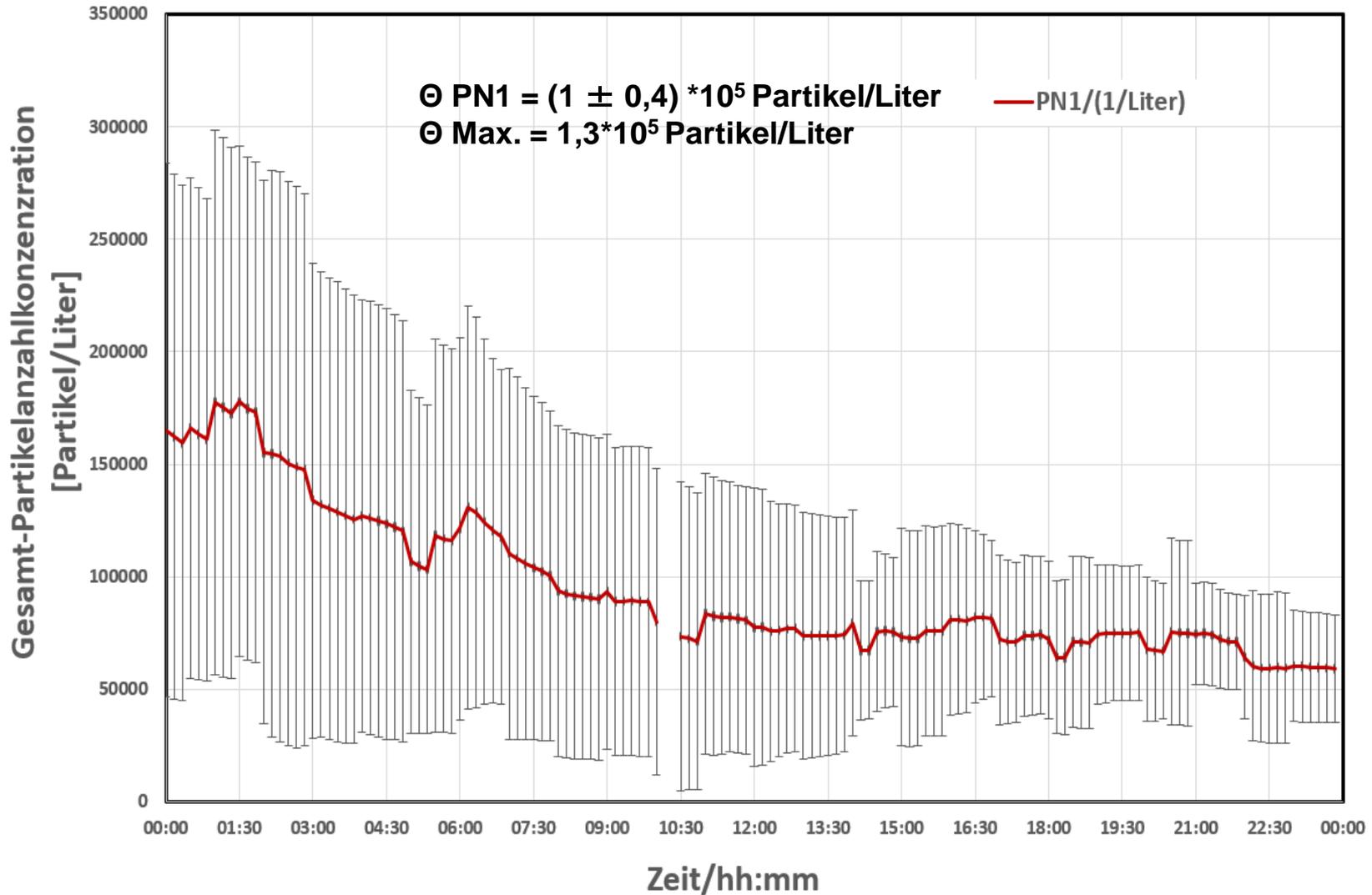


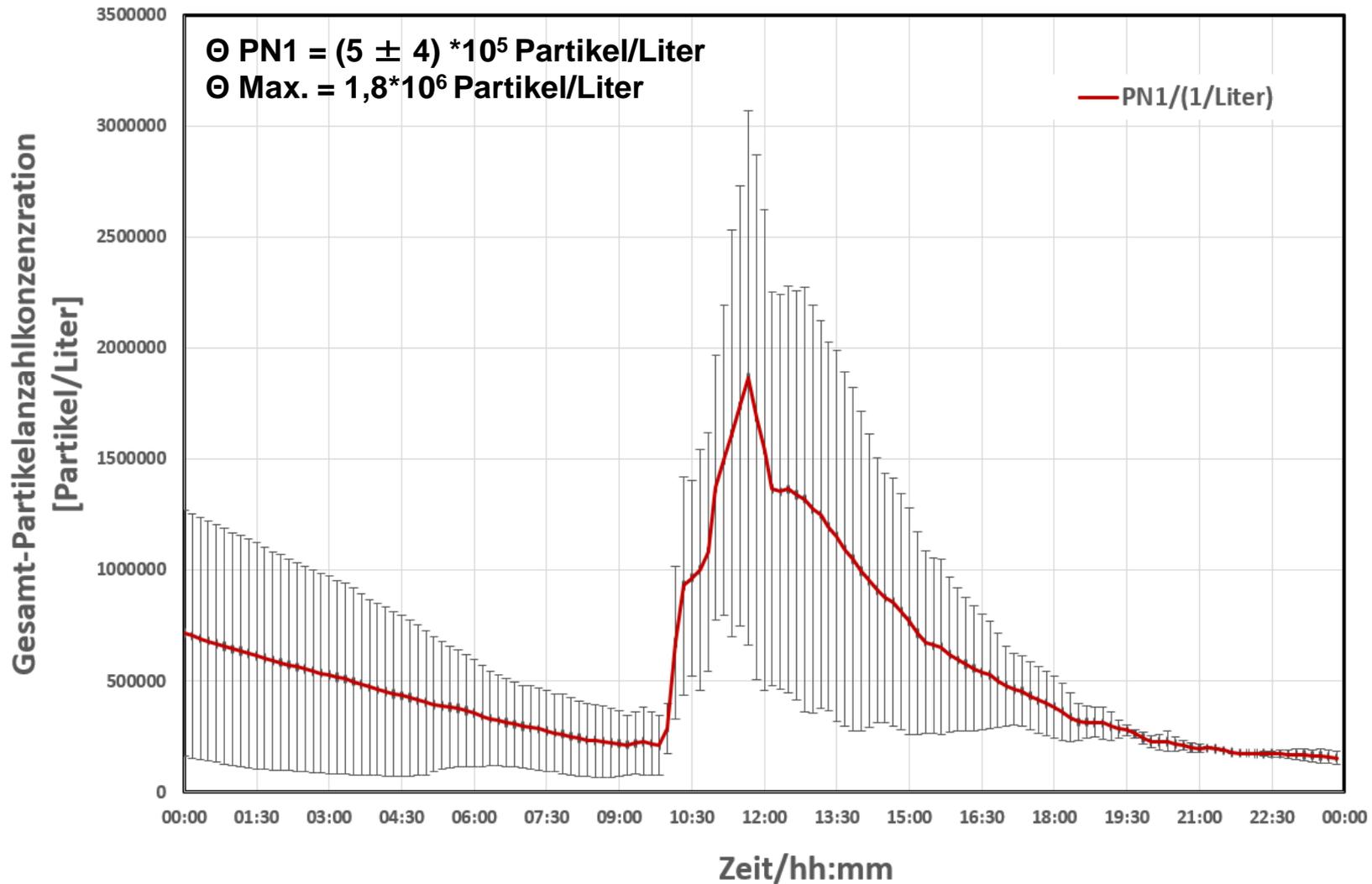


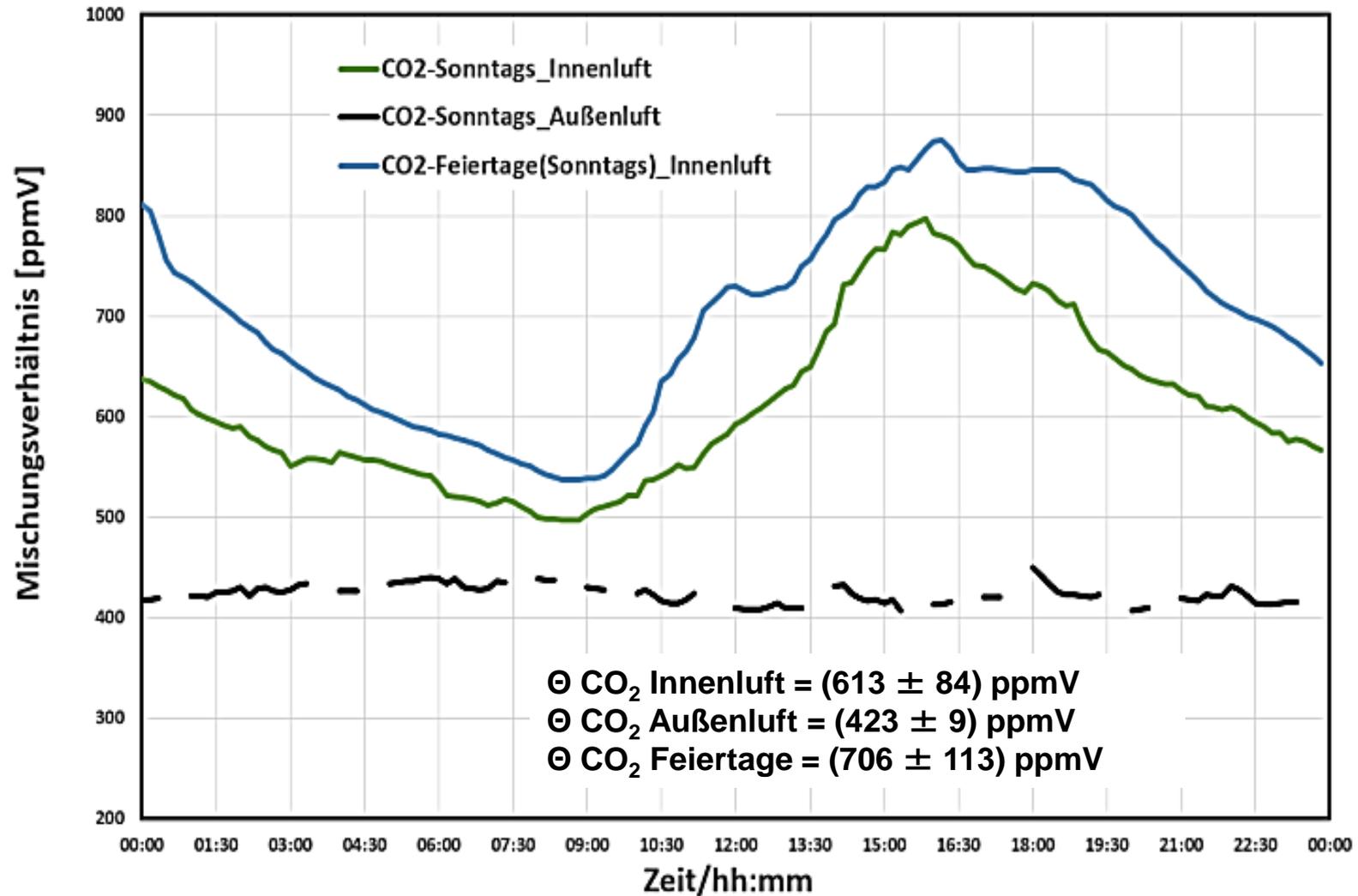


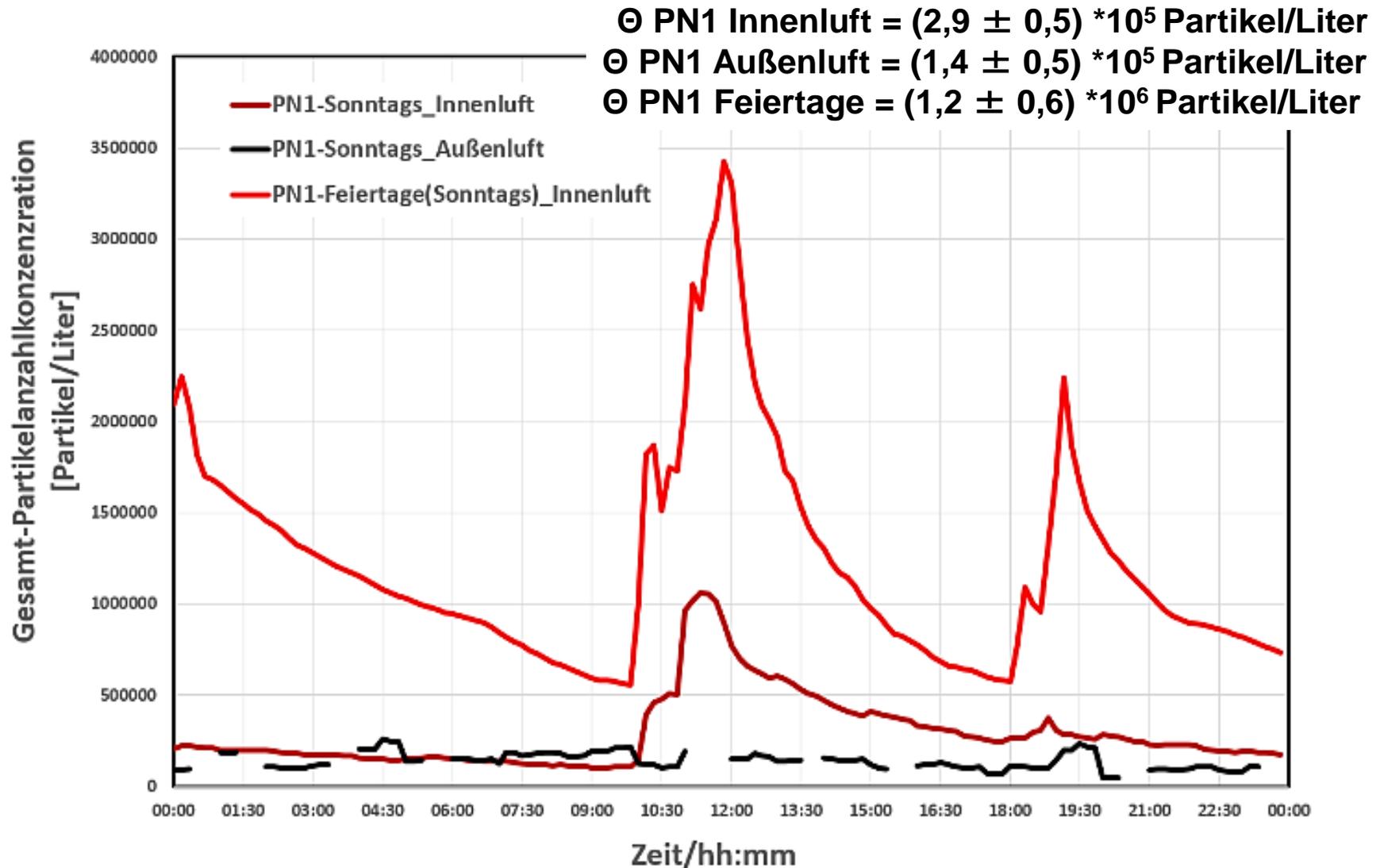


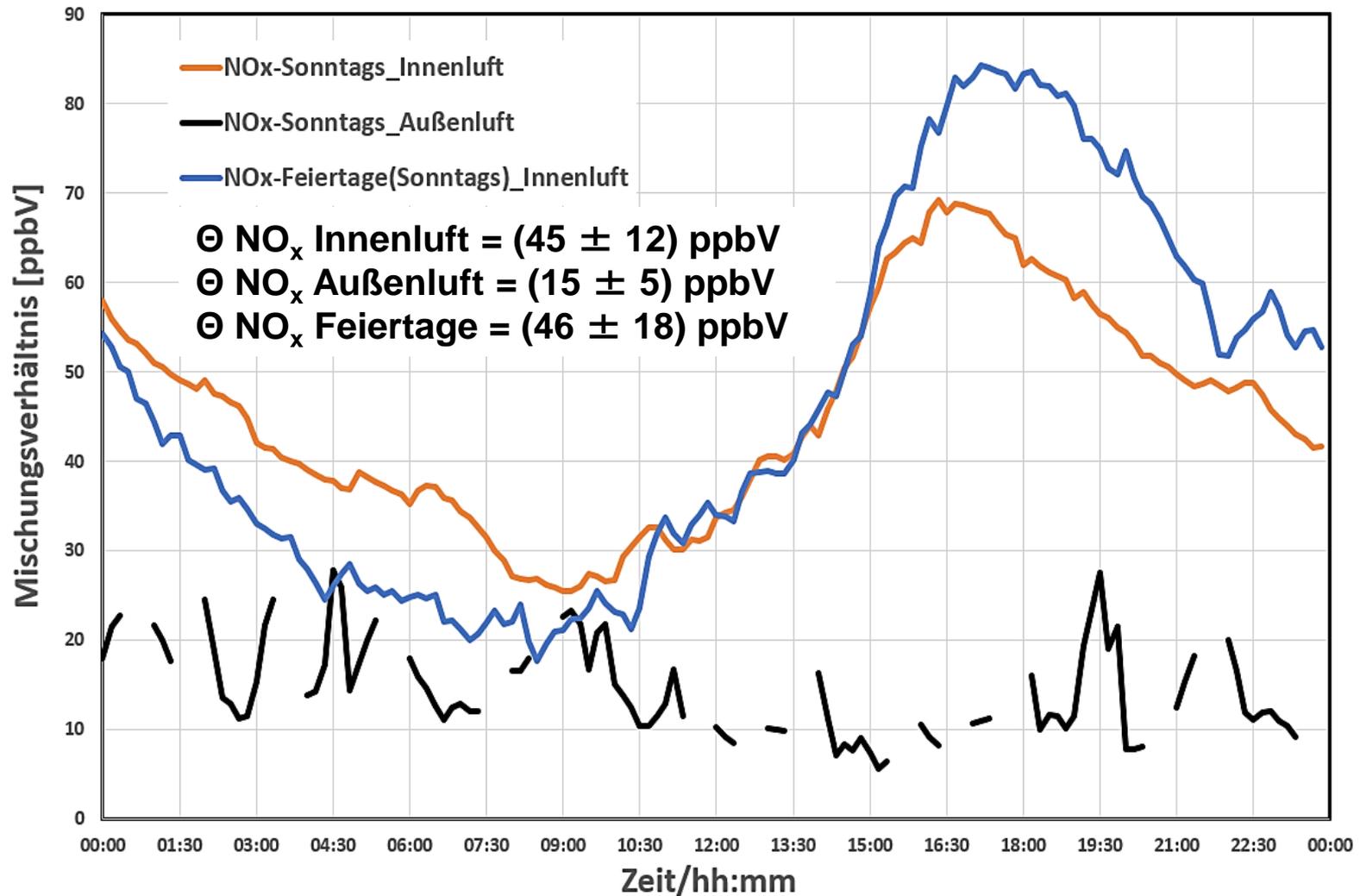












Ergebnisse Übersicht Dom Innen (Chor) und Dom Außen

Spurenstoffe	Typischer Sonntag (16 Sonntage)		Hochfeste (Ostern und Pfingsten)		Typischer Montag (20 Montage)		Feiertage / Hochfeste (Oster und Pfingstmontag, Tag der Arbeit)		Außenluft	
	Mittlerer Wert	Max. Wert	Mittlerer Wert	Max. Wert	Mittlerer Wert	Max. Wert	Mittlerer Wert	Max. Wert	Mittlerer Wert	Max. Wert
NO [ppbV]	21 ± 7	36	17 ± 13	42	19 ± 4	30	21 ± 16	57	2 ± 1	5
NO _x [ppbV]	45 ± 12	69	46 ± 18	79	42 ± 8	58	48 ± 24	100	15 ± 5	23
NO ₂ [ppbV]	24 ± 6	35	27 ± 9	46	22 ± 5	31	27 ± 9	45	11 ± 1	18
HONO [ppbV]	-	-	9 ± 1	18	-	-	9 ± 1	18	1,0 ± 0,1	1
O ₃ [ppbV]	≤ 2	3	≤ 2	2	≤ 2	3	≤ 2	6	30 ± 2	55
CO ₂ [ppmV]	613 ± 84	796	706 ± 103	875	574 ± 62	688	648 ± 144	896	423 ± 9	450
CO [ppmV]	≤ 0,1	≤ 0,1	0,25 ± 0,12	0,65	≤ 0,1	0,15	≤ 0,1	0,24	≤ 0,1	≤ 0,1
SO ₂ [ppmV]	≤ 10 ⁻³									
PN1 [Partikel/Liter]	(2,9 ± 0,5) *10 ⁵	1,1*10 ⁶	(1,2 ± 0,6) *10 ⁶	3,4*10 ⁶	(9 ± 3) *10 ⁴	1,8*10 ⁵	(5 ± 4) *10 ⁵	1,8*10 ⁶	(1,4 ± 0,5) *10 ⁵	3*10 ⁵

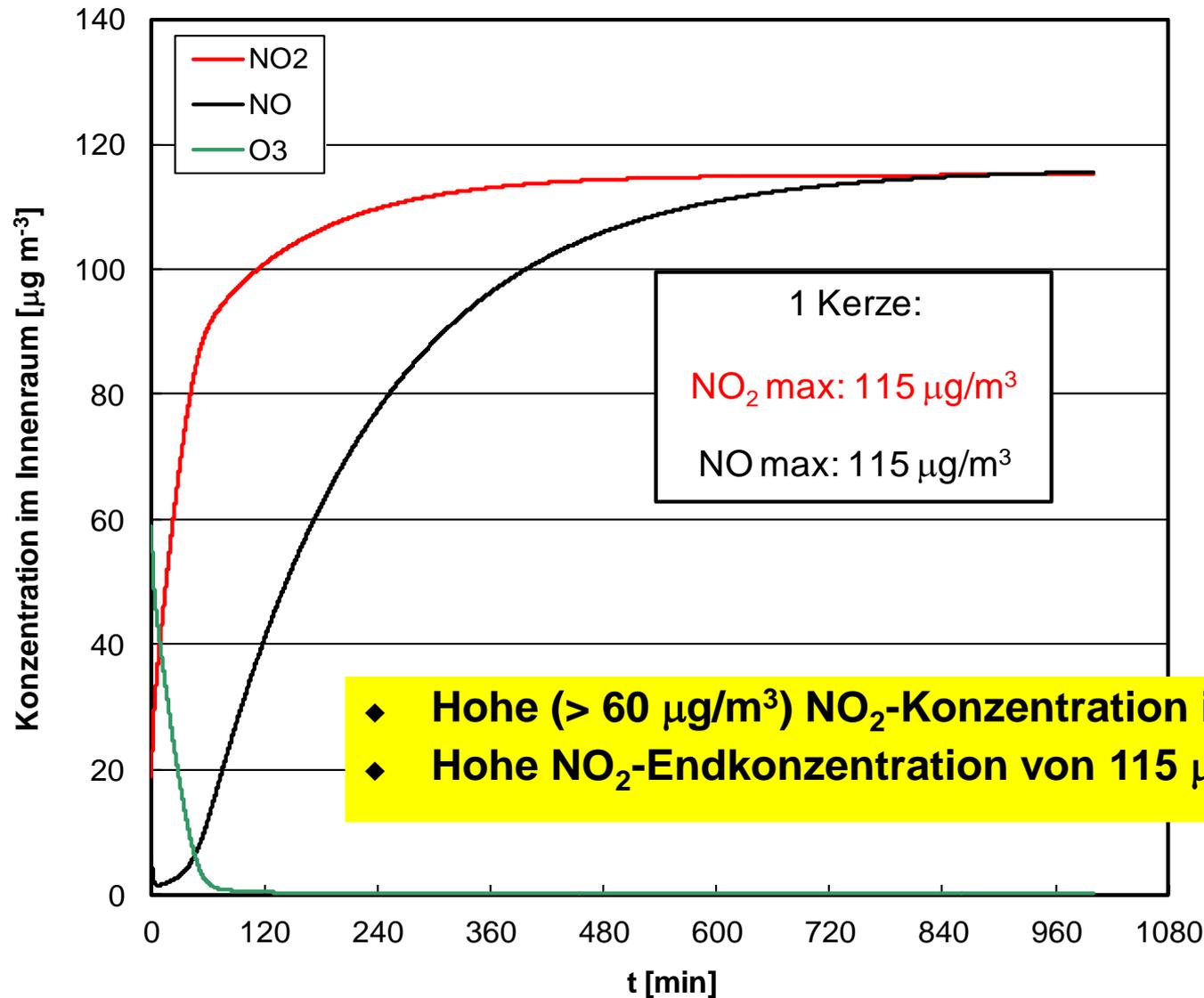
- ◆ **Wohnraum: 6 m mal 6 m (36 m²), Deckenhöhe 2,5 m**
 - ➔ Gesamttraumfläche 132 m²
 - ➔ Gesamttraumvolumen 90 m³

- ◆ **Schadstoffquelle: Kerzenemission von NO und NO₂**
 - ➔ Emissionsfluss pro Kerzen: 4,4 mg/h NO und 2,7 mg/h NO₂ (Klosterköther 2018)

- ◆ **Luftaustausch: Verdünnung durch Außenluft**
 - ➔ Austauschzeit: 180 min (1/e)
 - ➔ Hintergrundkonzentration:
NO: 6, NO₂: 19 und O₃: 60 µg/m³

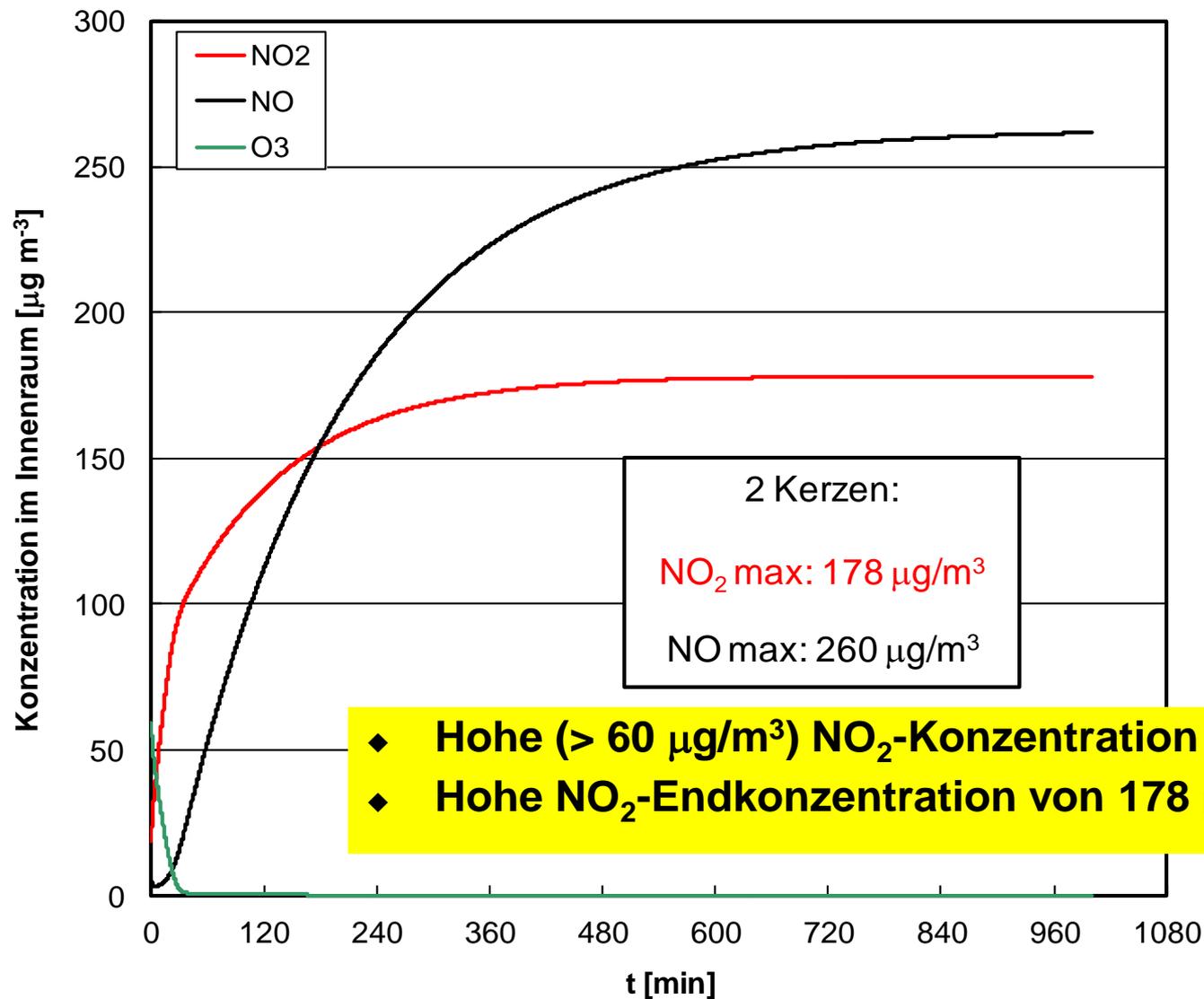
- ◆ **Reaktionen (Chemie):**
 - ➔ Luft: $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$ (Umwandlung)
 - ➔ Wand: $\text{NO}_2 + \text{Wand} \rightarrow \text{Produkte (HONO)}$
 - ➔ Senke für NO_2 aber auch eine Quelle für HONO

- ◆ **Numerische Konzentrationsberechnung nach Euler-Cauchy-Verfahren (Hermann 2004)**



1 Kerze:
 NO₂ max: 115 $\mu\text{g m}^{-3}$
 NO max: 115 $\mu\text{g m}^{-3}$

- ◆ Hohe ($> 60 \mu\text{g m}^{-3}$) NO₂-Konzentration innerhalb von 23 min
- ◆ Hohe NO₂-Endkonzentration von 115 $\mu\text{g m}^{-3}$



Luftgüte-Messstation Wuppertal (B7 Friedrich-Engels-Allee) Dhaka (Universität) Bangladesch

- Seit 2008 Übernahme der Station an der B7 durch die BUW und ab 2014 neues Erscheinungsbild



**Wuppertaler Luftqualität “online” unter
<http://airquality.uni-wuppertal.de>**

Luftgüte-Messstation Wuppertal (B7 Friedrich-Engels-Allee) Dhaka (Universität) Bangladesch



Sie befinden sich hier: > Startseite > Messwerte > Tagesverlauf

Navigation

🏠 Startseite

> Messwerte

> **Tagesverlauf**

> Grenzwerte

> Datenbank

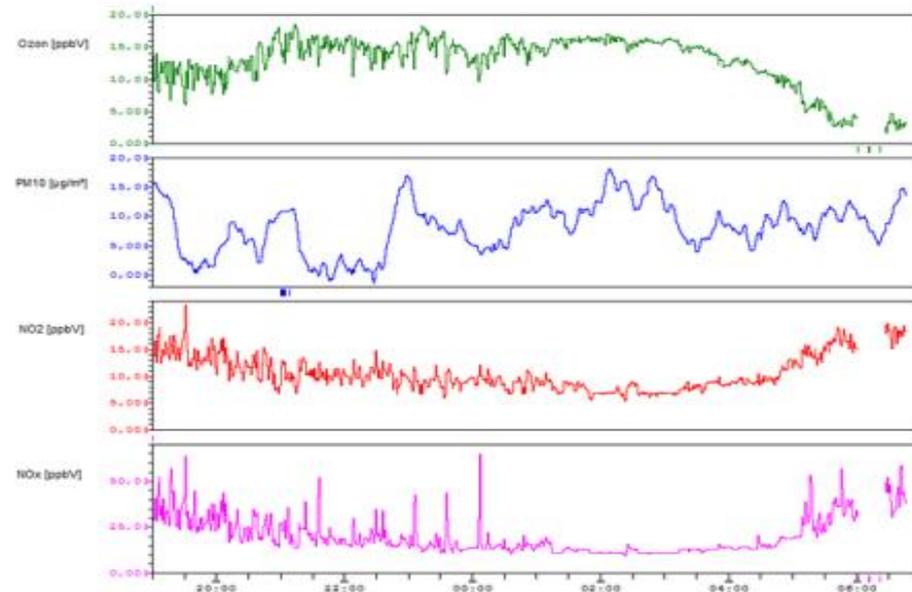
> Messsysteme

> Datenqualität

> Luftschadstoffe

> Impressum

Hier finden Sie eine grafische Darstellung der wichtigsten Luftschadstoffe, die in der Luftmessstation der Bergischen Universität Wuppertal in den vergangenen 12 Stunden gemessen wurden.



letzte Aktualisierung: 18.10.2018, 07:00:00

Luftgüte-Messstation Wuppertal (B7 Friedrich-Engels-Allee) Dhaka (Universität) Bangladesch

> Grenzwerte

> Datenbank

> Messsysteme

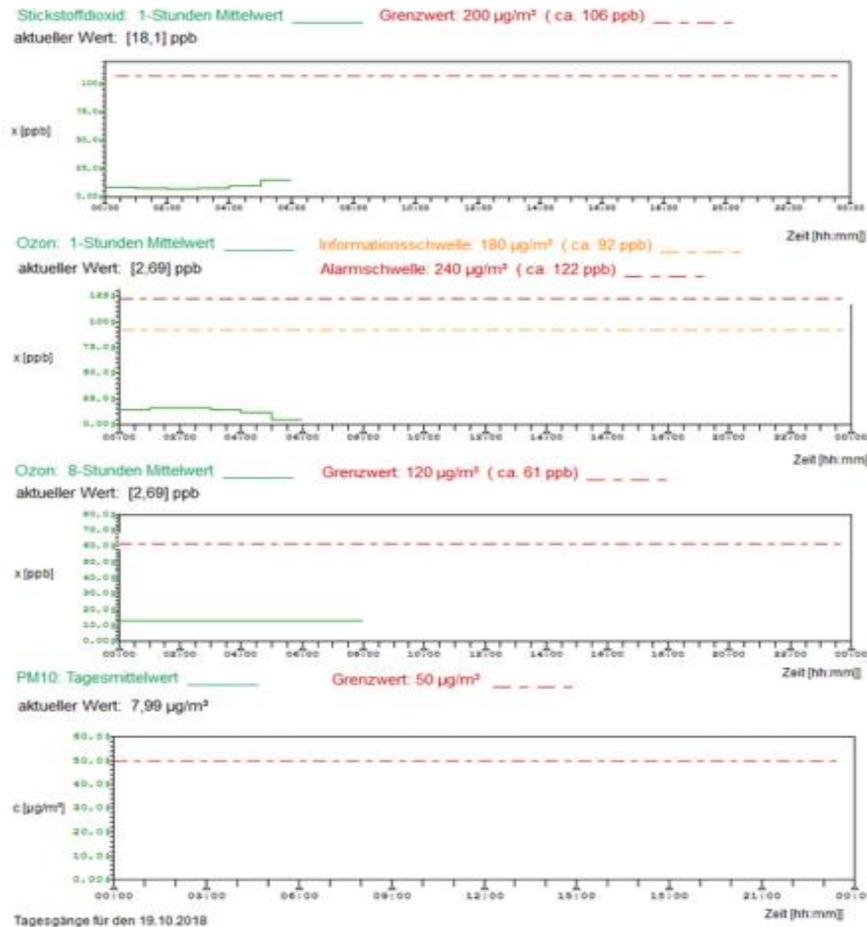
> Datenqualität

> Luftschadstoffe

> Impressum

Näheres dazu entnehmen sie bitten dem entsprechenden Menüpunkt unter Luftschadstoffe.

Weitere Messwerte erhalten Sie über das Menü Messerte → Tagesverlauf, oder Messerte → Datenbank.



Luftgüte-Messstation Wuppertal (B7 Friedrich-Engels-Allee) Dhaka (University) Bangladesch

- Seit 2014 betrieb der Station im „Air Quality Research and Monitoring Center“ des CARS (Centre of Advanced Research in Science)



Dhaka Luftqualität “online” unter
<http://dhaka1.uni-wuppertal.de>

- Verlauf der Tagesgänge stimmt gut mit den Öffnungszeiten überein.
- Tagesgang der Stickoxiden und CO_2 zeigt jeweils ein Maximum am Nachmittag, sind aber zeitlich verschoben.
- Stickoxide aus der Verbrennung von Opferkerzen, CO_2 hauptsächlich aus der Atmung der Besucher (frühere Arbeit) und Feinstaubpartikel insbesondere durch Verbrennung von Weihrauch.
- An den katholischen Hochfesten höhere Volumenmischungsverhältnisse der untersuchten Spezies.
- Mittlere Konzentration der Spurengase an Montagen und Sonntagen, bis auf die Partikel, nahezu identisch.
- Tageskonzentrationen im Dom höher (außer Ozon) als in der Außenluft. Dies gilt besonders für Hochfeste und Sonntage
- Luftqualität in Wohninnenräumen kann maßgeblich durch Emissionen aus Verbrennungsprozessen (Kerzen, Gasherd etc.) beeinflusst werden.

- BlmSchV BlmSchV (Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes), 39. BlmSchV, Bundesgesetzblatt 2010, Teil 1, Nr. 40, S. 1065 ff.
https://www.bgbl.de/xaver/bgbl/start.xav?start=%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl116s2244.pdf%27%5D#__bgbl__%2F%2F*%5B%40attr_id%3D%27bgbl110s1065.pdf%27%5D__1539785062407
- AIR AIR (Ausschuss für Innenraumrichtwerte)
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/355/bilder/dateien/0_ausschuss_fuer-innenraumrichtwerte_empfehlungen_und_richtwerte_20180412.pdf
- TRGS TRGS (Technische Regeln für Gefahrstoffe), TRG 900, BArBI Heft 1/2006, Nr. 28
https://www.baua.de/DE/Angebote/Rechtstexte-und-Technische-Regeln/Regelwerk/TRGS/pdf/TRGS-900.pdf?__blob=publicationFile&v=11
- LUBW LUBW (Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg)
http://mnz.lubw.baden-wuerttemberg.de/messwerte/langzeit/static_pages/doku/erl_lqi_klassen.htm
- Gültekin Gültekin, M., 2005. Immissionsmessungen reaktiver Stickstoffverbindungen am Kölner Dom. Diplomarbeit: Physikalische Chemie der Bergischen Universität Wuppertal.
- Klosterköther Klosterköther A., 2018. Bestimmung der Emissionsfaktoren ausgewählter Opferkerzen und von Weihrauch. Masterarbeit (in Arbeit)
- Hermann Hermann, M., 2004. Numerik gewöhnlicher Differentialgleichungen: Anfang- und Randwertprobleme. Oldenburg: De Gruyter Verlag



Danke für Ihre Aufmerksamkeit