

# Analyse der Wirksamkeit von Umweltzonen hinsichtlich Feinstaub- und Stickstoffoxidkonzentrationen

Manfred Boltze, Wei Jiang, Stefan Groer und Dirk Scheuvens

In vielen deutschen Städten wurden seit dem Jahr 2008 Umweltzonen als Maßnahme des Verkehrsmanagements zur Verbesserung der Luftqualität und zum Schutz der Gesundheit der Bevölkerung eingeführt. Dieser Beitrag analysiert die Effektivität von Umweltzonen anhand von statistischen Untersuchungen von Daten zur Schadstoffkonzentration von Luftmessstationen in Deutschland aus den Jahren 2002 bis 2012. Die Ergebnisse zeigen, dass die  $PM_{10}$ -Konzentration an Stationen in Umweltzonen um durchschnittlich ca.  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  stärker zurückgegangen ist als an vergleichbaren Stationen außerhalb von Umweltzonen. Die Anzahl an Tagen mit Grenzwertüberschreitungen ging gegenüber vergleichbaren Stationen außerhalb von Umweltzonen um im Mittel neun zusätzliche Tage zurück. Leicht positive Effekte der Umweltzonen auf einem niedrigeren Signifikanzniveau konnten ebenfalls für die Stickstoffkonzentrationen beobachtet werden. Aussagen zur Wirkung auf die  $PM_{2,5}$ -Konzentration konnten wegen Mangel an Daten nicht getroffen werden. Es kann festgestellt werden, dass die Einführung von Umweltzonen sich positiv auf die Luftqualität ausgewirkt hat, insbesondere durch die Veränderungen in der Fahrzeugflotte gilt dies auch für Bereiche ohne Umweltzone. Das Verbesserungspotenzial für weitere Umweltzonen ohne Weiterentwicklung dieser Maßnahme erscheint jedoch gering.

Since 2008 the low emission zone (LEZ) has been introduced in many German cities as a traffic management measure to improve air quality as well as to protect human health. In order to assess the effectiveness of LEZ, both descriptive and statistical analyses have been done based on concentrations of air pollutants from relevant monitoring stations in Germany from year 2002 to 2012. While a significant general improvement occurred in that period, the results are indicating that  $PM_{10}$  concentrations at stations within the LEZ have been reduced in average by about  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in addition due to the introduction of the LEZ, as well as the annual number of days exceeding the daily threshold, which were reduced by 9 days in addition. Slight positive effects of LEZ on  $NO$ ,  $NO_2$  and  $NO_x$  concentrations with low significance could also be observed. However, the effect of LEZ on  $PM_{2,5}$  concentration cannot be analyzed due to the lack of data. In general, the introduction of LEZ has brought positive effects on reducing the concentrations of air pollution, especially through changes within the vehicle fleet this affected also areas without LEZ. But the potential of further reduction by additional LEZ in Germany without further development of this measure seems to be small.

Verfasserschriften:  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Boltze,  
boltze@verkehr.  
tu-darmstadt.de;  
M. Sc. W. Jiang,  
jiang@verkehr.  
tu-darmstadt.de;  
M. Sc. S. Groer,  
groer@verkehr.  
tu-darmstadt.de,  
Technische Universität  
Fachgebiet Verkehrsplanung  
und Verkehrstechnik,  
64287 Darmstadt,  
Petersenstr. 30  
Dr. D. Scheuvens,  
dscheuvens@  
geo.tu-darmstadt.de,  
Technische Universität  
Fachgebiet Umweltmineralogie,  
64287 Darmstadt,  
Petersenstr. 30

## 1 Einleitung

Luftverschmutzung hat für die Bevölkerung eine erhebliche Schädigung der Gesundheit zur Folge. Die Europäische Union hat deshalb Mindeststandards für die Luftqualität festgesetzt, die in der Richtlinie 2008/50/EG zusammengefasst sind (EU 2008). Nachdem die in der Richtlinie vorgesehenen Grenzwerte bekannt wurden, setzte in Deutschland eine von großem Medieninteresse begleitete Debatte über die Umsetzbarkeit ein, da abzusehen war, dass die Grenzwerte ohne weiter gehende Maßnahmen in vielen Städten nicht einzuhalten waren.

Die deutsche die EU-Richtlinie umsetzende Gesetzgebung (39. BImSchV; § 47 BImSchG) verpflichtet Städte, welche die vorgegebe-

nen Standards nicht einhalten, zur Aufstellung von Luftreinhalteplänen und Aktionsplänen. Eine der bekanntesten, weil für die Allgemeinheit besonders sichtbaren und deshalb wiederum von großem Medieninteresse begleiteten, Maßnahmen solcher Aktionspläne ist die Einführung von Umweltzonen, wie sie in der 39. BImSchV und in § 41 StVO (Zeichen 270.1 und 270.2) spezifiziert sind. Nur Fahrzeuge, die bestimmte Standards beim Schadstoffausstoß einhalten, sind berechtigt, in als Umweltzone ausgewiesene Gebiete einzufahren. Die Maßnahme war zunächst stark umstritten, ist aber mittlerweile in Deutschland weit verbreitet und wird auch nicht mehr wie in früherem Maße infrage gestellt (mögliche Gründe hierfür werden auch am Ende dieses Beitrags diskutiert).

Nach nun über 5 Jahren seit der Einführung der ersten Umweltzonen in Deutschland soll in diesem Beitrag die Wirksamkeit dieser Maßnahme betrachtet werden. Zur Wirksamkeit von Umweltzonen liegt eine Reihe von Einzeluntersuchungen vor (Bruckmann, Wurzler et al. 2011; Cyrus, Peters et al. 2009; GAA-HI 2004; Laberer, Niedermeier 2009; LANUV NRW 2009; Lutz, Rauterberg-Wulff 2009; Morfeld, Stern et al. 2013; Rasch, Birmili et al. 2013; Rauterberg-Wulff, Lutz 2011; Stadt Frankfurt am Main Umweltamt 2012). Diese sind aber mit dem Nachteil behaftet, dass besondere Merkmale (z. B. Topografie, Meteorologie), individuelle Einflüsse und weitere Maßnahmen im Umfeld der Messstationen die Wirkungen überlagern, die letztlich auf die Einführung der Umweltzone zurückzuführen sind.

Tabelle 1: Anzahl der Messstationen in den betrachteten Gruppen

	Umweltzone (UZ) ab Jahr	PM <sub>10</sub> -Jahresdurchschnittswerte und Überschreitungstage	PM <sub>2,5</sub> -Jahresdurchschnittswerte	NO-, NO <sub>2</sub> -, NO <sub>x</sub> -Jahresdurchschnittswerte
Gruppe 1 (mit UZ)	gesamt	33	7	28
	2008	19	2	15
	2009	8	1	5
	2010	2	2	2
	2011	4	2	6
	2012	0	0	0
Gruppe 2 (ohne UZ)		114	27	126
Gruppe 3 (HIN)		103	36	112

Der vorliegende Beitrag betrachtet nicht die Schadstoffbelastungen an einem einzelnen Standort, sondern Gruppen von Messstationen innerhalb und außerhalb von Umweltzonen. Grundgedanke ist es, dass sich die Schadstoffbelastungen an Messstationen innerhalb von Umweltzonen in den vergangenen Jahren im Mittel signifikant besser entwickelt haben müssten als die Schadstoffbelastungen in Stadtgebieten ohne Umweltzone. Dabei sind die verschiedenen Lagen der Messstationen und auch die insgesamt zu beobachtende Veränderung des Belastungsniveaus zu berücksichtigen.

Erste umfassende Datenanalysen hierzu wurden im Rahmen einer Bachelor-Arbeit am Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik der Technischen Universität Darmstadt von Daniel Galley durchgeführt, dem an dieser Stelle besonderer Dank gebührt (Galley 2013). Seine ersten Analysen wurden dann von den Verfassern dieses Beitrags abgesichert, vertieft und ausgeweitet.

## 2 Datengrundlage

Die Basis für die Analysen bilden Luftmessdaten von Stationen aus ganz Deutschland, die vom Umweltbundesamt (UBA) bezogen wurden. Es werden Jahresdurchschnittswerte für die Belastung mit PM<sub>10</sub> sowie die Summe der jährlichen PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertüberschreitungen an den Messstationen herangezogen. Die Jahresdurchschnittswerte für PM<sub>2,5</sub>, NO, NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> wurden aus den vom UBA zur Verfügung gestellten Monatsmittelwerten abgeleitet. Die NO<sub>x</sub>-Belastung wurde auf Basis der NO- und NO<sub>2</sub>-Belastung berechnet (Nagel, Gregor 1999). Der Untersuchungszeitraum erstreckt sich

auf die Jahre 2002 bis 2012. Für die Analyse der Wirkung auf die Konzentration von PM<sub>2,5</sub> liegen erst ab dem Jahr 2005 Messwerte vor.

Die Messstationen, von denen Daten zur Verfügung standen, wurden in drei Gruppen eingeteilt, die auf der Klassifikation gemäß Beschluss 97/101/EG basieren, welche auch in Deutschland standardmäßig verwendet werden (EU 1997):

- Gruppe 1 (mit UZ): Verkehrsstationen, die in mindestens einem Jahr des Betrachtungszeitraums innerhalb einer Umweltzone lagen (weiter unterteilt nach dem Jahr der Einführung der Umweltzone, s.u.). Es sind auch Stationen enthalten, die in derselben Umweltzone wie andere Stationen liegen (z.B. Stuttgart, München).
- Gruppe 2 (Referenzgruppe, ohne UZ): Verkehrsstationen, die im Betrachtungszeitraum nicht in einer Umweltzone lagen.
- Gruppe 3 (Referenzgruppe, HIN): Städtische Hintergrundstationen (innerhalb oder außerhalb von Umweltzonen).

Da nicht für alle Stationen Messwerte für den gesamten Betrachtungszeitraum verfügbar waren (z.B. wurden für einige Stationen keine Werte für nach 2008 ausgewiesen) und für wenige Stationen nur für einzelne Jahre Messwerte angegeben waren, wurden die Daten einer Qualitätsprüfung unterzogen. Um Verzerrungen durch Einzelmessungen zu vermeiden, wurden für die Analyse nur Stationen herangezogen, welche die folgenden Kriterien erfüllen:

- Stationen der Gruppe 1 (mit UZ): Es liegen die Messwerte für mindestens jeweils 2 Jahre vor und nach dem Einführungsjahr der Umweltzone vor.
- Stationen der Gruppen 2 (ohne UZ) und 3 (HIN): Es liegen mindestens die Mess-

werte für 4 Jahre zwischen 2002 und 2012 vor.

Die Anzahl der Stationen, deren Messwerte damit in die Analyse einfließen konnten, ist in Tabelle 1 dargestellt.

Die Stationen der Gruppe 1 wurden weiter nach dem Jahr der Einführung der Umweltzone unterteilt (2008, 2009, 2010, 2011, 2012). Für die deskriptive Datenanalyse in Kapitel 3 wurden aus Gruppe 1 nur solche Stationen berücksichtigt, bei denen die Umweltzone im Jahr 2008 eingeführt wurde, da diese Fraktion über die Hälfte aller Stationen umfasst, die zwischen 2008 und 2012 in einer Umweltzone lagen. Analytische Auswertungen wurden auch für andere Einführungsjahre durchgeführt.

## 3 Vorgehen

### 3.1 Deskriptive Analyse

Für die deskriptive Analyse der Daten wurden zunächst die jährlichen Messwerte der Stationen der Gruppe 1 mit Einführung der Umweltzone 2008 für jedes Jahr gemittelt, um die Gesamtentwicklung der Luftqualität an diesen Stationen (grafisch) darzustellen:

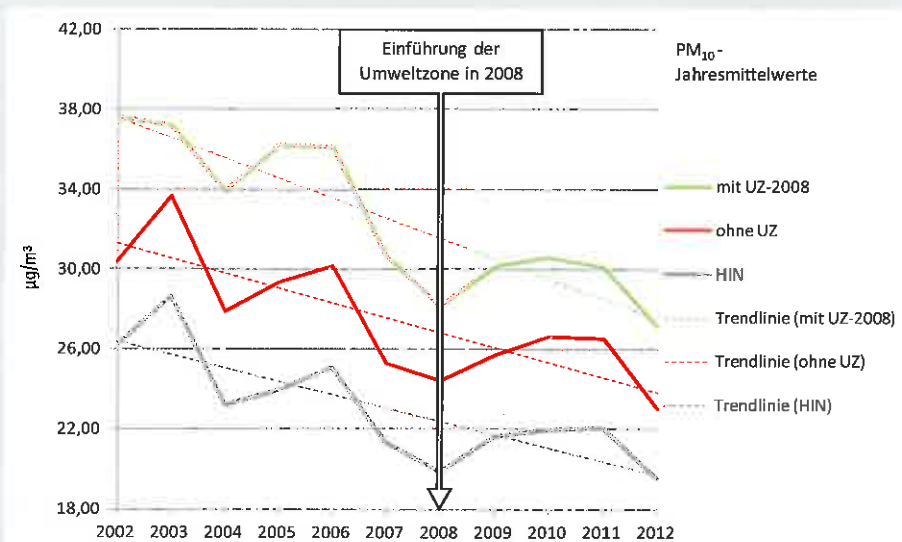
$$\bar{X}_j = \frac{1}{a} \sum_{i=1}^a X_j \quad (1)$$

- mit
- a Anzahl Stationen in Gruppe 1 mit Einführungsjahr der Umweltzone 2008
  - j Jahr des jeweiligen Werts
  - X<sub>j</sub> Konzentration des jeweiligen Luftschadstoffs im Jahr j
  - $\bar{X}_j$  Durchschnittliche Konzentration des Luftschadstoffs im Jahr j über alle Stationen der Gruppe.

Für die Stationen der Gruppen 2 und 3 wurde in gleicher Weise vorgegangen, wobei hier alle Stationen der jeweiligen Gruppe berücksichtigt wurden, welche die o.g. Qualitätskriterien erfüllen. Die durchschnittlichen Schadstoffkonzentrationen werden mit  $\bar{R}_j$  (Gruppe 2) und  $\bar{H}_j$  (Gruppe 3) bezeichnet.

Für den Vergleich der drei Kennwerte wurde zunächst eine grafische Analyse durchgeführt, um festzustellen, ob ein relativ stärkerer Rückgang der durchschnittlichen Schadstoffkonzentration an den Stationen der Gruppe 1 nach Einführung der Umweltzone im Vergleich zu den Stationen ohne Umweltzone und den Hintergrundstationen erkennbar ist.

Für die Analyse der Überschreitungstage wurde analog vorgegangen. Anstatt der Luftschadstoffkonzentration wurde dabei die absolute Anzahl der Überschreitungstage pro Jahr als Kennwert herangezogen.



Abkürzungen: mit UZ-2008 (Gruppe 1 Verkehrsstationen, die in mindestens einem Jahr des Betrachtungszeitraums innerhalb einer 2008 eingeführten Umweltzone lagen), ohne UZ (Gruppe 2 Verkehrsstationen, die im Betrachtungszeitraum nicht in einer Umweltzone lagen), HIN (Gruppe 3 Städtische Hintergrundstationen)

Bild 1: Verlauf der durchschnittlichen jährlichen PM<sub>10</sub>-Konzentrationen von 2002 bis 2012

Besonderheiten beim Vorgehen für einzelne Gruppen und Kennwerte werden nachfolgend in den jeweiligen Unterkapiteln beschrieben.

### 3.2 Statistische Analyse

Zusätzlich zur deskriptiven Datenanalyse wird die Wirksamkeit der Umweltzone mittels statistischer Tests untersucht. Das Vorgehen der Datenaufbereitung für die Tests wird im Folgenden kurz erläutert: Wie die deskriptive Analyse zeigen wird, unterliegen die betrachteten Schadstoffkonzentrationen jährlichen Schwankungen, die z. B. durch unterschiedliche Wetterlagen verursacht werden können (z. B. Stadt Frankfurt am Main Umweltamt 2012). Bei den Schwankungen lassen sich in den meisten Fällen keine Unterschiede zwischen den Stationsgruppen feststellen. Wenn daher davon ausgegangen wird, dass die Messwerte der Stationen in Umweltzonen und der der Referenzgruppen (Gruppen 2 und 3) denselben Schwankungen unterliegen, müsste die Differenz der Jahresmittelwerte der Luftschadstoffkonzentrationen zwischen Stationen der

Gruppe 1 und den Stationen der Referenzgruppen nach Einführung der Umweltzone insgesamt kleiner werden, wenn die Umweltzone eine schadstoffmindernde Wirkung hat. Daher wird im Folgenden untersucht, ob eine signifikante Verringerung der Differenz der Messwerte zwischen den Stationen der Gruppe 1 (alle Stationen, die das Datenqualitätskriterium erfüllen; nicht nur die, bei denen die Umweltzone 2008 eingeführt wurde) und den Referenzstationen nach Einführung der Umweltzone eingetreten ist. Die zu widerlegende Nullhypothese wäre folglich, dass keine Verringerung oder gar eine Erhöhung der Differenz vorliegt.

Zur Überprüfung der Hypothese werden die Messdaten wie folgt analysiert: Zunächst wird für jede Station der Gruppe 1 für jedes Jahr die Differenz zum Durchschnittswert der Referenzgruppe in diesem Jahr gebildet:

$$\Delta X_{i,j} = X_{i,j} - \bar{R}_j \quad (2)$$

mit  
 $X_{i,j}$  Konzentration von Luftschadstoff X an Station i im Jahr j

$\Delta X_{i,j}$  Differenz der Konzentration an der Station i zur durchschnittlichen Konzentration in der Referenzgruppe im Jahr j.

Im nächsten Schritt werden die so ermittelten Differenzen zu Durchschnittswerten für die Zeiträume vor und nach der Einführung der Umweltzone an einzelnen Stationen aggregiert:

$$v = \frac{1}{y} \sum_i \Delta X_{i,j} \quad (3)$$

$$n = \frac{1}{z} \sum_i \Delta X_{i,j} \quad (4)$$

- mit
- v durchschnittliche jährliche Differenz der Schadstoffkonzentration zwischen Stationen der Gruppe 1 und zugehörigem Referenzwert vor Einführung der Umweltzone
  - y Anzahl der vorliegenden Jahresdurchschnittswerte der Schadstoffkonzentration vor der Einführung der Umweltzone an Station i
  - n durchschnittliche jährliche Differenz der Schadstoffkonzentration zwischen Stationen der Gruppe 1 und zugehörigem Referenzwert nach Einführung der Umweltzone
  - z Anzahl der vorliegenden Jahresdurchschnittswerte der Schadstoffkonzentration nach der Einführung der Umweltzone an Station i.

Für diese Datenpaare wird geprüft, ob im Mittel eine signifikante Verringerung der Differenzen vorliegt und somit die Nullhypothese verworfen werden kann. Dazu wird ein statistischer t-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt. Kann durch den Test die Nullhypothese verworfen werden, ist vorläufig davon auszugehen, dass die Einführung von Umweltzonen im Mittel zu einer Verringerung der Schadstoffbelastung beigetragen hat.

Im Testverfahren werden nochmals aggregierte Mittelwerte aus den Werten für die einzelnen Stationen gebildet:

$$V = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^b v \quad (5)$$

$$N = \frac{1}{b} \sum_{i=1}^b n \quad (6)$$

- mit
- b Anzahl Stationen in Gruppe 1
  - V aggregierter Mittelwert der durchschnittlichen Differenzen (s. o.) vor Einführung der Umweltzone
  - N aggregierter Mittelwert der durchschnittlichen Differenzen nach Einführung der Umweltzone.

Die Differenz dieser Mittelwerte kann bei signifikanter Verringerung als Messwert für den durchschnittlichen Beitrag der Umweltzone zur Verringerung der Schadstoffbelastung betrachtet werden.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte

Das Bild 1 zeigt den Verlauf der durchschnittlichen jährlichen PM<sub>10</sub>-Konzentra-

Tabelle 2: Mittelwerte der PM<sub>10</sub>-Belastung vor und nach Einführung der Umweltzone

PM <sub>10</sub>	Mittelwert vor der Einführung [µg/m³]	Mittelwert nach der Einführung [µg/m³]	Reduktion	
			[µg/m³]	[%]
Gruppe 1 (Einführung der Umweltzone 2008)	35,26	29,24	6,03	17,1 %
Gruppe 2 (ohne Umweltzone)	29,47	25,29	4,18	14,2 %
Gruppe 3 (Städtische Hintergrundstationen)	24,75	21,01	3,74	15,1 %



Tabelle 3: Luftschadstoff-Emissionen in Deutschland 2002 bis 2011 (Quelle: Umweltbundesamt 2013)

PM <sub>10</sub>	Einheit	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Verkehr	Tsd. t	55,3	51,7	51,2	48,5	46,7	44	40,3	37,7	36,4	35,4
Gesamt	Tsd. t	244,4	237,3	232,2	224,1	223,3	217,6	211,5	202,8	211,4	208,6
PM <sub>2,5</sub>	Einheit	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Verkehr	Tsd. t	46,4	42,9	42,2	39,7	37,8	35	31,4	28,8	27,4	26,1
Gesamt	Tsd. t	138,2	133,6	130	124,6	122,7	117,4	113,3	109	116,9	111
NO <sub>x</sub>	Einheit	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011
Verkehr	Tsd. t	1018,2	940,5	897,3	832	804	734,7	649,6	594,5	569	538,2
Gesamt	Tsd. t	1767,4	1712	1644,6	1573,5	1558,9	1481,1	1403,7	1305,1	1328,7	1288,3

tionen für die drei betrachteten Gruppen von Stationen in den Jahren 2002 bis 2012.

Die Tabelle 2 zeigt die errechneten Mittelwerte der PM<sub>10</sub>-Belastung vor und nach Einführung der Umweltzone im Jahr 2008. Insgesamt ist für alle Gruppen ein Rückgang der durchschnittlichen jährlichen PM<sub>10</sub>-Konzentrationen im Betrachtungszeitraum erkennbar. Das Belastungsniveau wurde dabei sowohl an Hintergrundmessstationen (Gruppe 3) als auch an verkehrlichen Messstationen in Bereichen mit und ohne Umweltzone (Gruppen 1 und 2) deutlich verringert. Dies deckt sich mit den Berechnungen zur insgesamt in Deutschland durch den Verkehr emittierten Menge an PM<sub>10</sub>, die von 55,3 Tsd. t im Jahr 2002 auf 35,4 Tsd. t 2011 zurückgegangen ist (Tabelle 3). Dies deutet darauf hin, dass Maßnahmen zur Luftreinhaltung in verschiedenen Bereichen, die im Verlauf der Jahre ergriffen wurden, allgemein Wirkung gezeigt haben. Zu den allgemein positiv wirkenden Maßnahmen gehört ausdrücklich auch die Einführung von Umweltzonen, die in einem hier nicht quantifizierbaren Anteil mit dazu beigetragen hat, dass sich Fahrzeuge mit geringeren Emissionen zügig verbreitet haben. Der Verlauf der Kurven für die drei Gruppen ist weitgehend parallel. Dies zeigt, dass die Stationen im Mittel etwa denselben jährlichen Schwankungen unterlagen und dass keine besonderen Abweichungen für eine Gruppe vorliegen.

Es ist erkennbar, dass die Differenz zwischen der mittleren PM<sub>10</sub>-Konzentration in Gruppe 1 (mit Einführung Umweltzone 2008) und Gruppe 2 (Referenzgruppe ohne Umweltzone) nach 2008 geringer ist als vor 2008.

Insgesamt hat sich das Gesamtbelastungsniveau nach Einführung der Umweltzone

## Ankündigung



### Deutscher Straßen- und Verkehrskongress 2014

vom 30. September bis 2. Oktober 2014 in Stuttgart  
mit begleitender Fachausstellung „Straßen und Verkehr 2014“



„Deutscher Straßen- und Verkehrskongress 2014“ der  
Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e.V. (FGSV)  
mit der Fachausstellung „Straßen und Verkehr 2014“

vom 30. September bis 2. Oktober 2014  
im ICS – Internationales Congresscenter Stuttgart

Kongress in den Räumen C1.1 und C1.2  
Ausstellung in den Räumen C2, Foyer,  
Messeplaza



Forschungsgesellschaft für Straßen-  
und Verkehrswesen e. V. (FGSV)  
Am Lyskirchen 14 – 50676 Köln  
Telefon: 0221 / 93 58 3-0 – Fax: 93 58 3-73  
E-Mail: koeln@fgsv.de – Internet: www.fgsv.de



FGSV Verlag GmbH  
Wesselingener Str. 17 – 50999 Köln  
Telefon: 0 22 36 / 38 46 30 – Fax: 38 46 40  
E-Mail: info@fgsv-verlag.de  
Internet: www.fgsv-verlag.de

Tabelle 4: Signifikanztest für Jahresmittelwerte

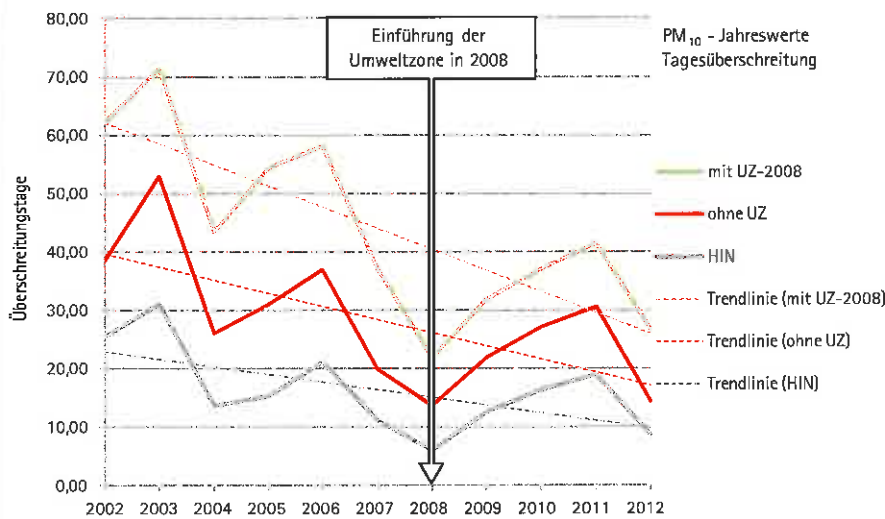
Differenz zwischen Gruppe 1 und Referenzgruppe 2	Mittelwert vor der Einführung	Mittelwert nach der Einführung	Anzahl der Proben	Differenz der Mittelw.	95%-Konfidenzintervall der Differenz		T-Wert	P-Wert zweiseitig
					Untere	Obere		
PM <sub>10</sub>	5,22	3,26	33	1,96	1,19	2,73	5,2	0,000
PM <sub>10</sub> -Tagesüberschreitungen	17,99	8,84	33	9,15	3,81	14,49	3,49	0,001
PM <sub>2,5</sub>	-1,67	-0,17	7	-1,5	-2,32	-0,68	-4,46	0,004
NO	15,10	11,47	28	3,63	0,92	6,34	2,75	0,011
NO <sub>2</sub>	13,68	13,24	28	0,44	-1,12	1,99	0,575	0,570
NO <sub>x</sub>	36,73	30,6	28	6,13	0,82	11,45	2,368	0,025

an Stationen der Gruppe 1 nach den ausgewerteten Daten rechnerisch um ca. 6 µg/m<sup>3</sup> (17%) verringert. An verkehrlichen Messstationen ohne Umweltzone (Gruppe 2) beträgt die Reduktion im Mittel rechnerisch nur gut 4 µg/m<sup>3</sup> (14%), und an Hintergrundmessstationen (Gruppe 3) wurde im Vergleichszeitraum eine ungefähr gleich große Reduzierung der PM<sub>10</sub>-Konzentration um knapp 4 µg/m<sup>3</sup> (15%) ermittelt. Damit kann vereinfacht abge-

schätzt werden, dass die Einführung der Umweltzone lokal im Mittel eine zusätzliche Reduzierung der PM<sub>10</sub>-Konzentration von etwa 2 µg/m<sup>3</sup> bewirkt hat.

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der statistischen Datenanalyse für die PM<sub>10</sub>-Konzentration, wie sie in Abschnitt 3.2 beschrieben wurde, dargestellt. In dieser Analyse sind alle Stationen der Gruppe 1 enthalten, nicht nur die, bei denen die Umweltzone im Jahr 2008 eingeführt wurde.

Der t-Test zeigt eine signifikante Verringerung der Differenz der PM<sub>10</sub>-Konzentration zwischen den Gruppen 1 und 2 vor und nach Einführung der Umweltzone von durchschnittlich 1,96 µg/m<sup>3</sup>. Das bedeutet, dass die PM<sub>10</sub>-Konzentration an den Messstationen innerhalb von Umweltzonen sich stärker reduziert hat als an den Messstationen außerhalb von Umweltzonen, was zunächst auf eine – wenn absolut gesehen auch relativ geringe – positive direkte Wirkung von Umweltzonen schließen lässt. In der deskriptiven Datenanalyse (Tabelle 2) wurde zudem festgestellt, dass der Rückgang an Stationen der Gruppe 1 (Einführungsjahr Umweltzone 2008) auch relativ stärker war als an Stationen außerhalb von Umweltzonen.



Abkürzung mit UZ-2008 (Gruppe 1: Verkehrsstationen, die in mindestens einem Jahr des Betrachtungszeitraums innerhalb einer 2008 eingeführten Umweltzone lagen), ohne UZ (Gruppe 2: Verkehrsstationen, die im Betrachtungszeitraum nicht in einer Umweltzone lagen), HIN (Gruppe 3: Städtische Hintergrundstationen)

Bild 2: Verlauf der durchschnittlichen jährlichen PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertüberschreitungen von 2002 bis 2012

Tabelle 5: Mittelwerte der jährlichen Anzahl von PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertüberschreitungen vor und nach Einführung der Umweltzone

PM <sub>10</sub> -Überschreitungstage	Mittelwert vor der Einführung [Anzahl Tage]	Mittelwert nach der Einführung [Anzahl Tage]	Reduktion	
			[Anzahl Tage]	[%]
Gruppe 1 (Einführung der Umweltzone 2008)	54,41	31,75	22,66	41,6%
Gruppe 2 (ohne Umweltzone)	34,13	21,45	12,69	37,2%
Gruppe 3 (Städtische Hintergrundstationen)	19,56	12,49	7,07	36,2%

#### 4.2 PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertüberschreitungen

Für die Betrachtung der jährlichen PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwertüberschreitungen wurde analog zur Analyse der PM<sub>10</sub>-Schadstoffkonzentration vorgegangen.

Das Bild 2 zeigt den Verlauf der Anzahl der durchschnittlichen jährlichen Überschreitungstage an den Messstationen der Gruppen 1 (mit Einführung Umweltzone 2008) bis 3 im Betrachtungszeitraum.

Wie für die PM<sub>10</sub>-Konzentration wirkt der Verlauf der Kurven plausibel. Er ist denselben jährlichen Schwankungen ausgesetzt, wobei ein Trend zur Verringerung der Anzahl der Überschreitungstage klar erkennbar ist.

Wie in Bild 2 und Tabelle 5 dargestellt, ist die Anzahl der jährlichen Überschreitungstage in Gruppe 1 (Einführung Umweltzone 2008) ab dem Jahr 2009 im Mittel von 54 auf 32 Tage zurückgegangen, also um ca. 22 Tage (42%). In den Referenzgruppen 2 und 3 betrug der Rückgang im Mittel knapp 13 Tage (37%) bzw. ca. 7 Tage (36%). Der Rückgang an den Stationen mit Umweltzone (Gruppe 1) fällt also deutlich stärker aus als in den beiden



anderen Gruppen, und die Differenz zwischen der Anzahl der Überschreitungstage in den Gruppen 1 und 2 hat deutlich abgenommen.

Wie schon bei der  $PM_{10}$ -Konzentration ist statistisch zu prüfen, ob der Rückgang der Differenz zwischen der Anzahl der Überschreitungstage in den Gruppen signifikant ist. Dieser Effekt wäre dann wiederum der direkten Wirkung der Umweltzone zuzuschreiben.

Die statistische Analyse, die analog zu der der  $PM_{10}$ -Schadstoffkonzentration durchgeführt wurde, bestätigt diesen Trend. Die Differenz zwischen der durchschnittlichen Anzahl der jährlichen Überschreitungstage der Gruppen 1 und 2 verringerte sich im Beobachtungszeitraum nach Einführung der Umweltzonen signifikant um im Mittel 9 Tage (siehe Tabelle 4), was als Effekt der Einführung der Umweltzonen interpretiert wird.

Diese auch im Vergleich zu den Resultaten der Analyse der  $PM_{10}$ -Schadstoffbelastung sehr deutliche Verringerung der Differenz der Überschreitungstage zwischen Stationen der Gruppen 1 und 2 resultiert daher, dass der Grenzwert von  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  an vielen Tagen nur geringfügig überschritten wird und so durch den – wenn in absoluter Höhe auch nicht besonders großen (s.o.) – Beitrag von Umweltzonen zur Schadstoffreduktion ein relativ großer Effekt bei der Reduktion der Überschreitungstage eintritt. Der Rückgang der Überschreitungstage hat vor allem Einfluss auf die rechtlichen Folgen, die bei einem zu häufigen Überschreiten des Grenzwerts auf betroffene Städte zukommen können.

Aus dieser Perspektive hat die Einführung der Umweltzone im Mittel deutlich Druck von betroffenen Städten genommen. Ob die Einführung einer Umweltzone aus diesem Grund sinnvoll sein kann, hängt stark von lokalen Bedingungen wie dem Luftbelastungsniveau ab.

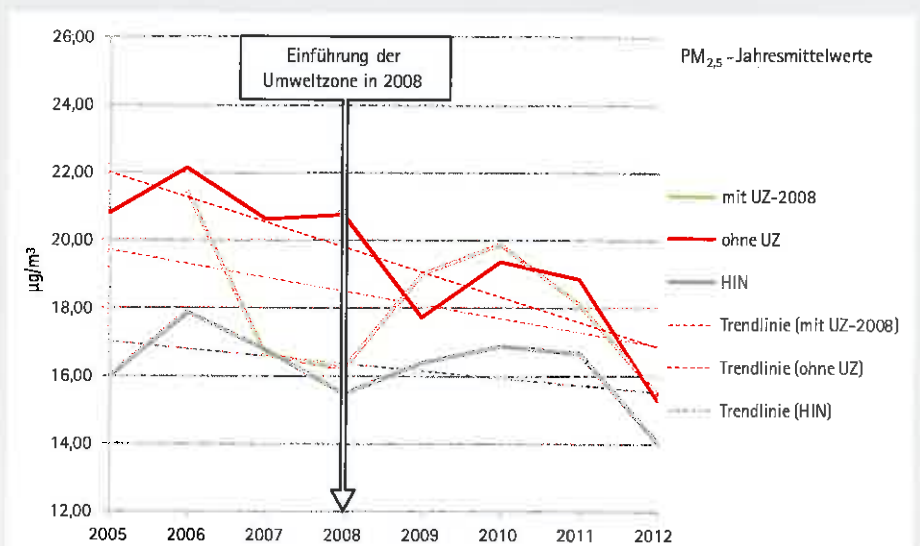
#### 4.3 $PM_{2,5}$ -Jahresmittelwerte

Für den Betrachtungszeitraum liegen deutlich weniger Daten zur  $PM_{2,5}$ -Belastung im Vergleich zur  $PM_{10}$ -Belastung vor. Viele  $PM_{2,5}$ -Messstationen gingen erst in jüngerer Zeit in Betrieb, und deren Gesamtanzahl ist noch deutlich geringer als die für die anderen Kennwerte.

Wie in Tabelle 1 dargestellt, gibt es für die Analyse der  $PM_{2,5}$ -Schadstoffkonzentrationen nur zwei Stationen, die 2008 in einer Umweltzone lagen und die o.g. Da-

Tabelle 6: Mittelwerte der  $PM_{2,5}$ -Belastung vor und nach Einführung der Umweltzone

$PM_{2,5}$	Mittelwert vor der Einführung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Mittelwert nach der Einführung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Reduktion	
			[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[%]
Gruppe 1 (Einführung der Umweltzone 2008)	19,02	17,73	1,29	6,8%
Gruppe 2 (ohne Umweltzone)	20,17	18,39	1,78	8,8%
Gruppe 3 (Städtische Hintergrundstationen)	16,87	15,89	0,98	5,8%



Abkürzung: mit UZ-2008 (Gruppe 1: Verkehrsstationen, die in mindestens einem Jahr des Betrachtungszeitraums innerhalb einer 2008 eingeführten Umweltzone lagen), ohne UZ (Gruppe 2: Verkehrsstationen, die im Betrachtungszeitraum nicht in einer Umweltzone lagen), HIN (Gruppe 3: Städtische Hintergrundstationen)

Bild 3: Verlauf der durchschnittlichen jährlichen  $PM_{2,5}$ -Konzentrationen von 2005 bis 2012

tenqualitätskriterien erfüllen. Somit kann aus diesen wenigen Werten kein repräsentativer Verlauf für die  $PM_{2,5}$ -Konzentration an Messstationen der Gruppe 1 dargestellt werden. Für eine statistische Analyse ist die Datenlage entsprechend unzureichend.

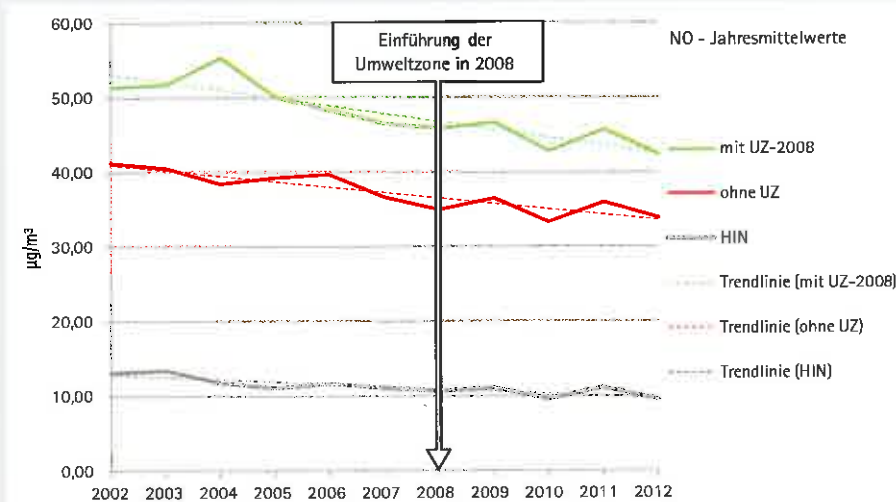
Bild 3 zeigt den Verlauf der durchschnittlichen jährlichen  $PM_{2,5}$ -Konzentrationen von 2005 bis 2012 für alle betrachteten Gruppen. Es wird auch erkennbar, dass das Hinzukommen einzelner Messstationen den Verlauf der Kurven deutlich beeinflussen kann. Zum Beispiel gingen im Jahr 2009 mehrere neue Stationen in den Gruppen 2 und 3 an den Start, was die starken Schwankungen in den Kurvenverläufen erklärt.

Eine Schlussfolgerung auf die Wirksamkeit der Umweltzonen erscheint hier nicht zulässig.

Insgesamt lässt der Verlauf der Kurven für die Stationen der Gruppe 2 und 3 dennoch auch für die  $PM_{2,5}$ -Belastung einen leicht rückläufigen Trend über den Betrachtungszeitraum erkennen. Die vom Umweltbundesamt berechnete Gesamtmenge an durch den Verkehr emittierten Partikeln der Größenklasse  $PM_{2,5}$  ging ebenfalls, wie schon im Fall von  $PM_{10}$ , von 39,7 Tsd. t (2005) auf 26,1 Tsd. t (2011) deutlich zurück (Tabelle 3).

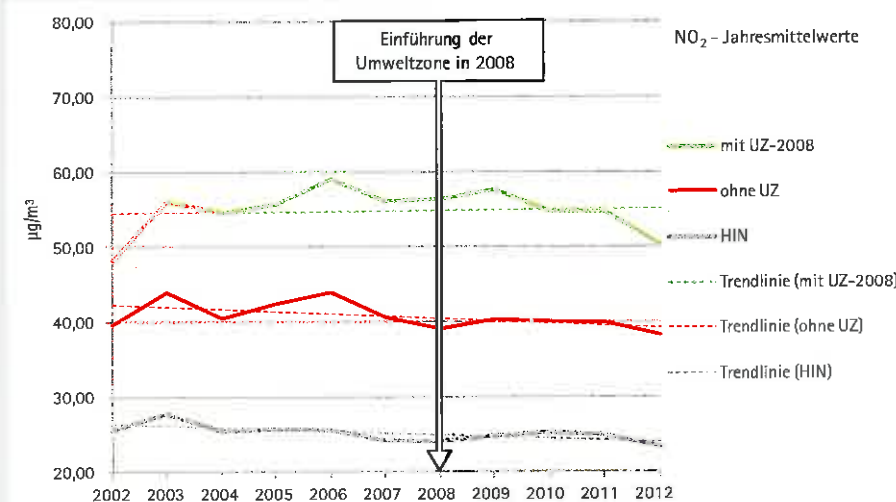
Eine entsprechende statistische Analyse über den gesamten Zeitraum ist aufgrund der unzureichenden Datenlage (s.o.) nicht möglich. Es wurde geprüft, ob eine vorläu-





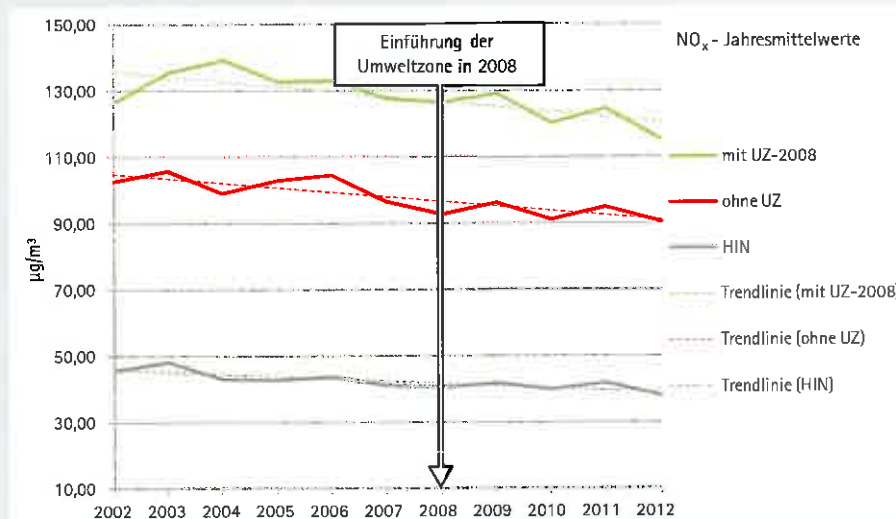
Abkürzung: mit UZ-2008 (Gruppe 1: Verkehrsstationen, die in mindestens einem Jahr des Betrachtungszeitraums innerhalb einer 2008 eingeführten Umweltzone lagen), ohne UZ (Gruppe 2: Verkehrsstationen, die im Betrachtungszeitraum nicht in einer Umweltzone lagen), HIN (Gruppe 3: Städtische Hintergrundstationen)

Bild 4: Verlauf der durchschnittlichen jährlichen NO-Konzentrationen von 2002 bis 2012



Abkürzung: mit UZ-2008 (Gruppe 1: Verkehrsstationen, die in mindestens einem Jahr des Betrachtungszeitraums innerhalb einer 2008 eingeführten Umweltzone lagen), ohne UZ (Gruppe 2: Verkehrsstationen, die im Betrachtungszeitraum nicht in einer Umweltzone lagen), HIN (Gruppe 3: Städtische Hintergrundstationen)

Bild 5: Verlauf der durchschnittlichen jährlichen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen von 2002 bis 2012



Abkürzung: mit UZ-2008 (Gruppe 1: Verkehrsstationen, die in mindestens einem Jahr des Betrachtungszeitraums innerhalb einer 2008 eingeführten Umweltzone lagen), ohne UZ (Gruppe 2: Verkehrsstationen, die im Betrachtungszeitraum nicht in einer Umweltzone lagen), HIN (Gruppe 3: Städtische Hintergrundstationen)

Bild 6: Verlauf der durchschnittlichen jährlichen NO<sub>x</sub>-Konzentrationen von 2002 bis 2012

fige Analyse mit einem weniger strengen Qualitätskriterium für die Datengrundlage möglich ist. Die Datenlage hat sich aber auch mit dem weniger strengen Kriterium nur marginal verbessert.

#### 4.4 NO-/NO<sub>2</sub>-/NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwerte

Zunächst muss an dieser Stelle festgestellt werden, dass die Effekte von Umweltzonen auf die Stickoxidbelastung in der Luft indirekter und komplexer sind als auf die Feinstaubbelastung. Dies liegt zum einen daran, dass das gesundheitsgefährdende Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub> sowohl direkt emittiert wird als auch durch luftchemische Prozesse aus der Reaktion von Stickstoffmonoxid und Ozon entsteht, die wiederum von einer Vielzahl externer Faktoren abhängen. Zum anderen kann es durch Änderungen an der Motorentechnologie (z. B. bei Dieselmotoren), die beispielsweise auf geringen Kraftstoffverbrauch und geringe Feinstaubemissionen hin optimiert wird, zu einer Erhöhung der direkten NO<sub>2</sub>-Emissionen kommen (z. B. Dünnebeil, Lambrecht et al. 2010; Rauterberg-Wulff, Lutz 2011), was den Effekt, der durch die aus Umweltzonen verbannten älteren Fahrzeuge, die mehr Stickoxide ausstoßen als moderne, teilweise aufheben kann.

Trotzdem soll an dieser Stelle eine Analyse des Verlaufs der Luftbelastung mit Stickoxiden vorgenommen werden. Es werden die Werte für Stickstoffmonoxid NO, Stickstoffdioxid NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> untersucht, wobei die NO<sub>x</sub>-Daten wie oben beschrieben berechnet wurden.

Für Stickstoffmonoxid ist ein konstanter leichter Rückgang der Konzentration über den gesamten Beobachtungszeitraum erkennbar, der zunächst nicht mit der Einführung der Umweltzone im Zusammenhang zu stehen scheint. Dies wird am Verlauf der Differenzkurven deutlich, die keinen klaren Rückgang für die Jahre nach Einführung der Umweltzone erkennen lassen. Der Rückgang der NO-Konzentrationen war an Stationen der Gruppe 1 etwas größer als der an den Stationen ohne Umweltzone (siehe Tabelle 7). Für den Schadstoff NO<sub>2</sub> kann an den Stationen der Gruppen 2 und 3 aus Bild 5 über den Untersuchungszeitraum keine eindeutige Änderung der Messwerte abgelesen werden.

Die Grafiken zur NO<sub>x</sub>-Konzentration lassen keinen klaren Trend erkennen. Nach den Berechnungen des Umweltbundesamts sanken die gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen des Verkehrs (Werte für NO sind nicht

verfügbar) zwischen 2002 und 2011 von 1.018 Tsd. t um fast 50% auf 538 Tsd. t (Tabelle 3).

Die Tabelle 7 zeigt, dass der prozentuale Rückgang der  $\text{NO}_x$ -Belastung an Stationen ohne Umweltzone und an Hintergrundstationen stärker war als an Messstationen, die innerhalb einer Umweltzone lagen. Die Wirkung der Umweltzone auf die Stickoxidemissionen bleibt nach dieser vorläufigen Betrachtung unklar, was vermutlich an den oben angedeuteten komplexen Zusammenhängen liegt.

Die statistische Analyse, die im Gegensatz zur grafischen Betrachtung nicht nur die Stationen erfasst, in denen die Umweltzone 2008 eingeführt wurde, zeigt eine signifikante Verringerung (P-Wert 0,025) der Differenz zwischen den  $\text{NO}_x$ -Belastungen der Stationen der Gruppen 1 und 2 vor und nach Einführung der Umweltzonen um etwa  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Wie es die deskriptive Analyse bereits angedeutet hat, ist der Rückgang beim Stickstoffmonoxid signifikant, nicht jedoch beim Stickstoffdioxid. Andere Studien haben gezeigt, dass durch Änderungen in der Motorentechnologie mehr Stickstoffdioxid direkt (ohne zwischenzeitliche Oxidation von NO zu  $\text{NO}_2$ ) durch den Verkehr emittiert wird (Dünnebeil, Lambrecht et al. 2010; Rauterberg-Wulff, Lutz 2011). Dies könnte ein Erklärungsansatz für die dargestellten Ergebnisse sein. In jedem Fall muss die direkte und indirekte Wirkung von Umweltzonen auf die Stickoxidbelastung noch genau untersucht werden, was aber im Rahmen dieser Studie nicht geleistet werden kann.

## 5 Fazit

Die durchgeführten Datenanalysen machen zunächst einmal deutlich, dass in den vergangenen 10 Jahren Fortschritte bei der Reduzierung der Feinstaubbelastung erreicht werden konnten. Dies ist auch auf die generelle Minderung von Emissionen im Verkehr durch neue Fahrzeugtechnik zurückzuführen, zu deren Verbreitung sicher auch die Einführung der Umweltzonen mit beigetragen hat. Die Einführung der Umweltzonen hat vermutlich auch zu einem größeren Problembewusstsein in der Bevölkerung und damit dann indirekt auch zu Belastungsminderungen geführt. Diese Anteile der Umweltzonen an der generellen Reduzierung der Feinstaubbelastung können hier nicht quantifiziert werden. Die durchgeführten Datenanalysen zum

Tabelle 7: Mittelwerte der  $\text{NO}$ -,  $\text{NO}_2$ -,  $\text{NO}_x$ -Belastung vor und nach Einführung der Umweltzone

NO	Mittelwert vor der Einführung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Mittelwert nach der Einführung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Reduktion	
			[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[%]
Gruppe 1 (Einführung der Umweltzone 2008)	50,57	44,67	5,9	11,7 %
Gruppe 2 (ohne Umweltzone)	39,13	34,79	4,33	11,1 %
Gruppe 3 (Städtische Hintergrundstationen)	11,99	10,34	1,65	13,8 %
$\text{NO}_2$	Mittelwert vor der Einführung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Mittelwert nach der Einführung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Reduktion	
			[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[%]
Gruppe 1 (Einführung der Umweltzone 2008)	54,9	54,74	0,16	0,3 %
Gruppe 2 (ohne Umweltzone)	41,76	39,49	2,27	5,4 %
Gruppe 3 (Städtische Hintergrundstationen)	25,7	24,42	1,28	5,0 %
$\text{NO}_x$	Mittelwert vor der Einführung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Mittelwert nach der Einführung [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Reduktion	
			[ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	[%]
Gruppe 1 (Einführung der Umweltzone 2008)	132,26	123,08	9,18	6,9 %
Gruppe 2 (ohne Umweltzone)	101,66	92,89	8,77	8,6 %
Gruppe 3 (Städtische Hintergrundstationen)	44,03	40,25	3,78	8,6 %

Vergleich von Bereichen mit und ohne Umweltzone haben bezogen auf einzelne Kennwerte folgende Ergebnisse gebracht:

- Die lokalen  $\text{PM}_{10}$ -Belastungen an Verkehrsstationen in Umweltzonen sind im Mittel (nur) etwa  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  mehr zurückgegangen als an Verkehrsstationen außerhalb von Umweltzonen. Da Rußpartikel aus Verbrennungsprozessen eine stärkere gesundheitsschädliche Wirkung haben als beispielsweise Bodenpartikel, und die Partikel aus Verbrennungsprozessen je nach vorliegenden Randbedingungen 25 bis 50% der Gesamtbelastung ausmachen, kann auch die gering erscheinende Reduktion positive Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung haben, wie es andere Studien bereits nachgewiesen haben (Wichmann 2008; Zellner, Kuhlbusch et al. 2009).
- Die Anzahl der  $\text{PM}_{10}$ -Grenzwertüberschreitungstage ist an Verkehrsstationen in Umweltzonen hingegen deutlich stärker zurückgegangen als an Verkehrsstationen außerhalb von Umweltzonen. Im Mittel konnte die Anzahl dort zusätzlich um 9 Überschreitungstage reduziert werden, was bei den gegebenen rechtlichen Regelungen erheblichen Druck von den betroffenen Städten genommen hat.
- Aussagen zur Wirkung auf die  $\text{PM}_{2,5}$ -Konzentration lassen sich aufgrund

der unzureichenden Datenlage kaum treffen. Es kann lediglich festgestellt werden, dass der Gesamtausstoß an Partikeln auch in dieser Größenklasse insgesamt deutlich zurückgegangen ist, was sicher ein Effekt der eingeführten Filtertechnologien in der Fahrzeugflotte ist und somit teilweise auch als indirekter Effekt der Einführung von Umweltzonen gewertet werden kann.

- Die Ergebnisse zur Wirkung auf die Stickoxidbelastung sind nicht einfach zu interpretieren, lassen aber, wenn überhaupt, auf eine nur gering positive direkte Wirkung der Umweltzone schließen. Hier sind tiefer gehende Untersuchungen nötig, die sowohl die komplexen chemischen Prozesse als auch die Entwicklungen in der Technologie berücksichtigen.

Die vorliegenden Ergebnisse stehen im Einklang mit Resultaten von Studien zur Effektivität einzelner Umweltzonen, wie beispielsweise der zur Umweltzone Berlin, die ebenfalls eine potenzielle Reduktion von  $\text{PM}_{10}$ -Partikeln in der Größenordnung von  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und 10 Überschreitungstagen pro Jahr ausweist. Gleiches gilt für die Stickoxidbelastung, die sich entgegen geäußelter Befürchtungen nicht erhöht hat (Rauterberg-Wulff, Lutz 2011).

Insgesamt sind Umweltzonen damit insbesondere wegen der hier nicht im Einzelnen



quantifizierbaren allgemeinen Wirkungen auf Fahrzeugflotte und Emissionen sowie wegen der Verringerung von  $PM_{10}$ -Grenzwertüberschreitungen positiv zu beurteilen.

Für die Zukunft sind damit folgende Schlussfolgerungen zu ziehen:

- Die Einführung weiterer Umweltzonen nach bisherigen Grenzwertvorgaben verspricht kein wesentliches zusätzliches Minderungspotenzial, weil der Anteil der in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge mit grüner Plakette bereits bei 89% liegt (ADAC, 2013) und zudem für die übrigen Fahrzeuge in der Praxis erheblich von Ausnahmeregelungen Gebrauch gemacht wird. Weitere Umweltzonen könnten nur mit neuen Grenzwerten oder unter Hinzunahme anderer Emittenten (z.B. Baumaschinen) größere Wirkung haben.
- Auch für die aktuell in vielen Städten erheblichen Grenzwertüberschreitungen bei den Stickoxidbelastungen liefern die vorliegenden Auswertungen keinen Hinweis, dass zusätzliche Umweltzonen in der aktuellen Ausgestaltung einen wesentlichen Beitrag zur Problemlösung leisten könnten.
- Es muss bewusst sein, dass eine Umweltzone in der heutigen Gestaltung nicht vor allen Schadstoffen schützt und keine Lösung für andere Probleme wie dem globalem Klimaschutz ist. In der Öffentlichkeit und auch bei Expertengesprächen, welche die Verfasser zurzeit in einem Forschungsprojekt über Klimaschutz im Stadtverkehr durchführen, wird die Umweltzone aber immer wieder fälschlicherweise als Klimaschutzmaßnahme genannt.
- Nachteile aus Maßnahmen zur Luftreinhaltung müssen berücksichtigt und angemessen abgewogen werden. Zum Teil gibt es zu wenige Kenntnisse über die konkreten Wirkungen, beispielsweise von Lkw-Durchfahrverboten auf Prozesse der Logistik und Produktion. Es sind letztlich integrierte Strategien mit Maßnahmenbündeln erforderlich, mit denen Zielkonflikte ausgeräumt oder zumindest gemindert werden können. Diese Strategien sind bereits nach kurzen Anwendungsdauern (wenige Jahre) auf die aktuellen Herausforderungen abzustimmen und fortzuschreiben.

Zusammenfassend stellt dieser Beitrag zur Diskussion um die Wirksamkeit von Umweltzonen ausdrücklich nicht die Richtigkeit von zurückliegenden Entscheidungen zur Einführung von Umweltzonen infrage.

Er macht aber deutlich, dass sie in der heutigen Ausgestaltung für die Zukunft kein wesentliches Potenzial mehr haben, die noch immer viel zu hohen Luftschadstoffbelastungen zu senken. Stattdessen ist die Ausgestaltung des Instruments Umweltzone weiterzuentwickeln, indem z.B. die Grenzwerte maßvoll weiter herabgesetzt werden und alle relevanten Schadstoffe und Emittenten berücksichtigt werden. Daneben müssen dringend die Potenziale weiterer Maßnahmen zur Verkehrsvermeidung, Verkehrsverlagerung und Verbesserung des Verkehrsablaufs ausgeschöpft werden. Hierzu gehört ganz sicher auch eine umfassendere Optimierung der Lichtsignalsteuerung mit Investitionen in die dafür erforderliche Technik.

#### Literaturverzeichnis

ADAC Ressort Verkehr (2013): Umweltzonen - Analyse der Zulassungszahlen nach Plakettenverordnung, Online verfügbar unter [http://www.adac.de/\\_mmm/pdf/umweltzonen\\_fi\\_zulassungszahlen\\_0113\\_159788.pdf](http://www.adac.de/_mmm/pdf/umweltzonen_fi_zulassungszahlen_0113_159788.pdf), zuletzt geprüft am 12.2.2014.

39. BImSchV (2010): Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065).

BImSchG (2013): Bundes-Immissionsschutzgesetz in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Mai 2013 (BGBl. I S. 1274), das durch Artikel 1 des Gesetzes vom 2. Juli 2013 (BGBl. I S. 1943) geändert worden ist.

Bruckmann, P.; Wurzler, S.; Brandt, A.; Vogt, K. (2011): Erfahrungen mit Umweltzonen in Nordrhein-Westfalen. Umwelt und Mensch - Informationsdienst, 4, 27-33, Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/515/publikationen/umid0411.pdf>, zuletzt geprüft am 20.1.2014.

Cyrus, J.; Peters, A.; Wichmann, H.-E. (2009): Umweltzone München - Eine erste Bilanz. Umweltmed Forsch Prax, 14, 127-132.

Dünnebeil, F.; Lambrecht, U.; Schacht, A.; Kessler, C. (2010): Auswirkungen zukünftiger  $NO_x$ - und  $NO_2$ -Emissionen des Kfz-Verkehrs auf die Luftqualität in hoch belasteten Straßen in Baden-Württemberg, IFEU Heidelberg, Online verfügbar unter [http://www.ifeu.de/verkehr/umwelt/pdf/IFEU\\_et\\_al%282010%29\\_NOx\\_NO2\\_Emission\\_BAWue.pdf](http://www.ifeu.de/verkehr/umwelt/pdf/IFEU_et_al%282010%29_NOx_NO2_Emission_BAWue.pdf), zuletzt geprüft am 12.2.2014.

EU (1997): Entscheidung des Rates vom 27. Januar 1997 zur Schaffung eines Austausches von Informationen und Daten aus den Netzen und Einzelstationen zur Messung der Luftverschmutzung in den Mitgliedstaaten (97/101/EG).

EU (2008): Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa, 1-44.

GAA-HI (2004): Auswirkungen der Umweltzone Hannover auf die Luftqualität, GAA-HI - Staatliches Gewerbeaufsichtsamt Hildesheim, Online verfügbar unter [http://micro.homelinux.net/~mjander/C55049285\\_L20.pdf](http://micro.homelinux.net/~mjander/C55049285_L20.pdf), zuletzt geprüft am 20.1.2014.

Galley, D. (2013): Wirkungen von Umweltzonen (Bachelor Thesis). Fachgebiet Verkehrsplanung und Verkehrstechnik, TU Darmstadt.

Laberer, C.; Niedermeier, M. (2009): Wirksamkeit von Umweltzonen, ADAC e.V. Interessenvertretung Verkehr, Online verfügbar unter [http://www.adac.de/\\_mmm/pdf/umweltzonen\\_wirksamkeit\\_bericht\\_0609\\_43574.pdf](http://www.adac.de/_mmm/pdf/umweltzonen_wirksamkeit_bericht_0609_43574.pdf), zuletzt geprüft am 20.1.2014.

LANUV NRW (2009): Auswirkungen der Umweltzone Köln auf die Luftqualität - Auswertung der Messdaten, LANUV NRW - Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Online verfügbar unter [http://www.lanuv.nrw.de/luft/pdf/Umweltzone\\_Koeln\\_20090625.pdf](http://www.lanuv.nrw.de/luft/pdf/Umweltzone_Koeln_20090625.pdf), zuletzt geprüft am 20.1.2014.

Lutz, M.; Rauterberg-Wulff, A. (2009): Ein Jahr Umweltzone in Berlin: Wirkungsuntersuchung, Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Online verfügbar unter [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftqualitaet/de/luftreinhalteplan/download/umweltzone\\_1jahr\\_bericht.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftqualitaet/de/luftreinhalteplan/download/umweltzone_1jahr_bericht.pdf), zuletzt geprüft am 20.1.2014.

Morfeld, P.; Stern, R.; Bultjes, P.; Gronenberg, D. A.; Spallek, M. (2013): Einrichtung einer Umweltzone und ihre Wirksamkeit auf die  $PM_{10}$ -Feinstaubkonzentration - Eine Pilotanalyse am Beispiel München. Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie, 2, 63, 104-115.

Nagel, H.-D.; Gregor, H.-D. (1999): Ökologische Belastungsgrenzen Critical loads & levels: ein internationales Konzept für die Luftreinhaltungspolitik, Springer, Berlin [etc.].

Rasch, F.; Birmili, W.; Weinhold, K.; Nordmann, S.; Sonntag, A.; Spindler, G. et al. (2013): Signifikante Minderung von Ruß und der Anzahl ultrafeiner Partikel in der Außenluft als Folge der Umweltzone in Leipzig. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft, 11-12, 483-489.

Rauterberg-Wulff, A.; Lutz, M. (2011): Ein Jahr Umweltzone Stufe 2 in Berlin - Untersuchungen zur Wirkung auf den Schadstoffausstoß des Straßenverkehrs und die Luftqualität in Berlin, Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Online verfügbar unter [http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftqualitaet/de/luftreinhalteplan/download/umweltzone\\_1jahr\\_stufe2\\_bericht.pdf](http://www.stadtentwicklung.berlin.de/umwelt/luftqualitaet/de/luftreinhalteplan/download/umweltzone_1jahr_stufe2_bericht.pdf), zuletzt geprüft am 12.2.2014.

Stadt Frankfurt am Main Umweltamt (2012): Wirksamkeit der Umweltzone Frankfurt am Main, Online verfügbar unter [https://www.frankfurt.de/sixcms/media.php/738/wirksamkeit\\_umweltzone\\_frankfurt2012\\_bf.pdf](https://www.frankfurt.de/sixcms/media.php/738/wirksamkeit_umweltzone_frankfurt2012_bf.pdf), zuletzt geprüft am 20.1.2014.

StVO (2013): Straßenverkehrs-Ordnung vom 6. März 2013 (BGBl. I S. 367).

Umweltbundesamt (2013): Luftschadstoff-Emissionen in Deutschland, Online verfügbar unter <http://www.umweltbundesamt.de/daten/luftbelastung/luftschadstoff-emissionen-in-deutschland>, zuletzt aktualisiert am 20.1.2014, zuletzt geprüft am 20.1.2014.

Wichmann, H. (2008): Schützen Umweltzonen unsere Gesundheit oder sind sie unwirksam? Umweltmedizin in Forschung und Praxis, 13, 1, 7-10.

Zellner, R.; Kuhlbusch, T. A. J.; Diegmann, V.; Herrmann, H.; Kasper, M.; Schmidt, K.-G. et al. (2009): Feinstäube und Umweltzonen. Chemie Ingenieur Technik, 81, 9, 1363-1367.