**Evaluation von Umweltzonen – Probates Mittel zu Einhaltung ambitionierter Luftqualitätsstandards?**

Dr. Josef Cyrys\*, Institut für Epidemiologie II, Helmholtz Zentrum München, Neuherberg, Deutschland

Prof. Dr. Dr. H.-Erich Wichmann,

Prof. Dr. Annette Peters, Institut für Epidemiologie II, Helmholtz Zentrum München, Neuherberg, Deutschland

\*Korrespondenzautor:
Ingolstädter Landstr. 1
85764 Neuherberg
Tel.: 089 3187 4156
Fax: 089 3187 3380
Email: cyrys@helmholtz-muenchen.de

Schlüsselwörter: Umweltzonen, Deutschland, Effektivität, Feinstaub, Stickoxide

**Einleitung**

Die Umweltzone (engl.: "low emission zone") ist eine europaweite Form kommunaler Maßnahmen die zur Reduzierung der verkehrsbedingten Luftschadstoffe in der Außenluft führen soll. Diese wurden meistens in innerstädtischen Gebieten und Ballungsräumen mit hohem Verkehrsaufkommen eingerichtet, in denen die EU-weit gültigen Grenzwerte für Luftschadstoffe, in erster Linie für den sogenannten PM10-Feinstaub (Partikel, deren aerodynamischer Durchmesser kleiner als 10 Mikrometer ist) und Stickstoffdioxid (NO2), nicht eingehalten werden können. Mittlerweile wurden in vierzehn EU-Ländern Umweltzonen eingeführt, die sich aber hinsichtlich der Regelungen erheblich voneinander unterscheiden.

In der öffentlichen Diskussion spielt die Frage der Wirksamkeit von Umweltzonen eine wichtige Rolle. Daher wird im Folgenden der aktuelle Wissensstand zur Wirksamkeit von Umweltzonen dargestellt und analysiert. Es werden ausschließlich die Umweltzonen in Deutschland betrachtet.

1. **Umweltzonen in Deutschland**

In Deutschland sind Umweltzonen als Gebiete definiert, in die nur Kraftfahrzeuge hineinfahren dürfen, die bestimmte Abgasstandards einhalten. Um Fahrzeuge nach ihrer Schadstoffklasse unterscheiden zu können, werden sie in vier verschiedenen Schadstoffgruppen eingeordnet und mit farbkodierten Plaketten visuell gekennzeichnet (rot, gelb und grün). Die Einteilung der Schadstoffgruppen richtet sich nach den Emissionsschlüsselnummern der einzelnen Fahrzeuge und ist durch die 35. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetz (35. BImSchV) geregelt. Fahrzeuge dürfen in eine Umweltzone nur dann hineinfahren, wenn sie über eine entsprechende Plakette verfügen. Die Schärfe der Regelungen wird in den einzelnen Umweltzonen durch die jeweilige Kommune bestimmt. So werden in der Stufe 1 nur Fahrzeuge ohne Plakette ausgesperrt. In der Folgezeit sind dann auch Fahrzeuge mit roter (Stufe 2) oder gelber Plakette (Stufe 3) betroffen und dürfen in das als Umweltzone ausgewiesene Gebiet nicht mehr hineinfahren.

Wie in Abbildung 1 dargestellt, gibt es derzeit in Deutschland 56 Umweltzonen (Stand Oktober 2017). In 55 sind ausschließlich Fahrzeuge mit grüner Plakette erlaubt (Stufe 3) und nur in einer (Neu-Ulm) sind noch Fahrzeuge mit einer gelben Plakette zugelassen (Stufe 2). Somit befinden sich fast alle derzeit aktiven Umweltzonen in Deutschland in Stufe 3 und sind hinsichtlich der Schärfe der Regelungen gut vergleichbar. Allerdings unterscheiden sie sich dennoch, hauptsächlich bezüglich ihrer Größe sowie begleitender Maßnahmen (wie Lkw-Durchfahrtsverbote).

1. **Wirksamkeit von Umweltzonen in Deutschland**

Die ersten Umweltzonen (z.B. in Berlin, Köln und Hannover) traten Anfang 2008 in Kraft und wurden primär wegen Überschreitungen der Grenzwerte für PM10-Feinstaub eingeführt, die bereits im Jahr 2005 eingeführt wurden. Die Grenzwerte für NO2 wurden erst im Jahr 2010 eingeführt. Somit wurden die ersten Umweltzonen in Luftreinhalteplänen als Maßnahme zur Reduzierung des PM10-Feinstaubs festgelegt (bei Überschreitung der Grenzwerte für PM10-Feinstaub). Auch bei Analysen der Wirksamkeit von Umweltzonen stand in der Anfangsphase eher der PM10-Feinstaub im Vordergrund.

**2.1 Beurteilung der Wirksamkeit von Umweltzonen in Deutschland anhand von Modellrechnungen**

Die Minderungswirkung der Umweltzone wurde in vielen Kommunen vor der Einführung dieser Maßnahme durch Modellrechnungen und anhand von aktuellen Verkehrsdaten prognostiziert. Die ortspezifische Änderung der Fahrzeugflotte wurde ebenfalls berücksichtigt. Hierbei ging man davon aus, dass die Einführung der Umweltzone zu einem schnelleren Austausch älterer Fahrzeuge führt. Dies bedeutet, dass sich die Wirkung der Umweltzone auf das gesamte Straßennetz einer Stadt auswirkt und sich nicht nur auf das Gebiet der Umweltzone beschränkt.

Eine Schätzung des Umweltbundesamtes, die in Zusammenarbeit mit dem Institut für Energie- und Umweltforschung (IFEU, <http://www.ifeu.de/>) vor der Einführung der Umweltzonen durchgeführt wurde, prognostizierte Immissionsminderungen von PM10-Feinstaubkonzentrationen von bis zu 10 %, je nach technischem Zustand der Fahrzeugflotte (Diegmann et al. 2006). In dieser Studie wurde eine Immissionsminderung von NO2 nicht berechnet.

Darüber hinaus haben einzelne Kommunen bereits vor der Einführung der Umweltzone die Auswirkungen im Vorfeld durch Modellrechnungen abgeschätzt. Das Umweltbundesamt hat die Ergebnisse vieler Modellierungen zusammengetragen und prognostizierte für die Stufe 1 der Umweltzone eine Verminderung der PM10-Konzentration um etwa 2 % (bezogen auf den Jahresmittelwert). Für die Stufe 3 wurde eine Verminderung von bis zu 10 % des PM10- Feinstaubs berechnet (UBA, 2008). Eine entsprechende Zusammenfassung für NO2 wurde nicht erstellt.

Diese relativ geringe Minderung der PM10-Konzentrationen war der Hauptkritikpunkt der Einführung von Umweltzonen. Es wurde kritisiert, dass die Einrichtung der Umweltzonen zwar mit dem Feinstaubproblem begründet wird, aber nach vielen Abschätzungen die Reduktion der Feinstaubkonzentration nur wenige Prozent ausmacht. Darüber hinaus wurde diskutiert, ob diese Veränderungen wegen des störenden Einflusses der Meteorologie messtechnisch überhaupt nachzuweisen sind.

* 1. **Beurteilung der Wirksamkeit von Umweltzonen in Deutschland anhand von Immissionsmessdaten**

Der messtechnische Nachweis der erwarteten Minderungseffekte von nur wenigen µg/m3 ist schwierig. Eine Messung bildet nur die summarische Wirkung aller beeinflussenden Faktoren ab. Ein wesentlicher Faktor, der die Konzentration der Luftschadstoffe bestimmt, ist die Meteorologie, die bei der Analyse der Messdaten berücksichtigt werden muss.

Bei der Ermittlung der Auswirkungen von Umweltzonen können prinzipiell entweder (a) im Querschnitt ähnlich strukturierte Gebiete (Städte) mit und ohne Umweltzonen miteinander für gleichen Zeitraum verglichen werden, oder es werden (b) im Längsschnitt für das gleiche Gebiet Zeiträume vor und nach der Einführung der Umweltzone einander gegenüber gestellt. Dieser Ansatz wurde erstmals in einer Studie von Cyrys und Kollegen (2009) angewendet. Allerdings wurde diese Studie nur für einen relativ kurzen Beobachtungszeitraum von nur 4 Monaten vor und 4 Monaten nach der Einführung der Umweltzone in München durchgeführt. Wie von Bruckmann und Kollegen (2007) gezeigt, soll diese Methode wegen der hohen, meteorologisch bedingten Variabilität der Luftbelastung auf Zeiträume von mindestens einem Jahr und länger angewendet werden.

Morfeld und Kollegen (2011) haben für die Ermittlung der Konzentrationsänderungen von Schadstoffen durch Einführung von Umweltzonen die Anwendung von Regressionsmodellen empfohlen. Dabei sollten die Regressionsmodelle nicht nur auf die Werte der Referenzmessstation adjustiert werden, sondern auch auf weitere wichtige Einflussfaktoren, wie zum Beispiel Mischungsschichthöhe, Windgeschwindigkeit oder Niederschlagsmenge.

**Beurteilung der Wirksamkeit von Umweltzonen in Deutschland anhand von PM10-Immissionsmessdaten**

Eine Übersicht der bisher veröffentlichten Auswertung zur Wirksamkeit von Umweltzonen auf die Konzentration von PM10-Feinstaub in Deutschland befindet sich in Tabelle 1. Die in dieser Tabelle dargestellten Auswertungen folgen überwiegend der Längsschnittmethode, d.h., der Referenzzustand ist der Zeitraum vor Einrichtung der Umweltzone für das Maßnahmengebiet.

Cyrys und Kollegen (2009) stellten in ihrer Studie eine Abnahme der relativen PM10-Feinstaub Belastung fest, die insbesondere an den verkehrsnahen Standorten deutlich ausgefallen war (bis 12 %).

In einer Pilotstudie haben Morfeld und Kollegen (2013) ein Regressionsmodel auf die gleiche Zeitperiode wie bei Cyrys und Kollegen (2009) angewendet. Insgesamt waren die Ergebnisse unterschiedlich für unterschiedliche Messstationen (Abnahme von PM10-Konzentrationen an Verkehrsmessstation und Zunahme im städtischen Hintergrund). Die Heterogenität der Effektschätzer könnte durch die relativ kurzen Beobachtungsperioden von jeweils nur 4 Monaten verursacht sein, die nicht ausreichend für die Anwendung des Regressionsmodels ist.

In einer nachfolgenden Analyse hat Morfeld und Kollegen (2014) die PM10-Konzentrationen von Messstationen innerhalb und außerhalb der Umweltzonen in 19 deutschen Städten analysiert. Alle untersuchten Umweltzonen waren aktiv in der Stufe 1 (gesperrt für Fahrzeuge der Schadstoffgruppe 1, ohne Plakette). Der beste Effektschätzer an allen Verkehrsstationen (also ohne Hintergrund- und Industriestationen) lag unterhalb von 1 μg/m3 (bzw. weniger als 5%). Damit liegen die Ergebnisse durchaus in dem Bereich, der in vielen Wirkungsanalysen für die erste Stufe der Umweltzonen prognostiziert wurde (nicht höher als 5% an verkehrsbelasteten Stationen).

In einer Arbeit von Fensterer und Kollegen (2014) wurden die Effekte der Umweltzone in München unter Verwendung eines semiparametrischen Modells mit autoregressiven Störtermen erster Ordnung durchgeführt. Die Modellierung erfolgte mithilfe von stündlichen Feinstaubdaten aus verschiedenen Messstationen über einen Zeitraum von insgesamt 4 Jahren. Die geschätzten PM10-Konzentrationen wurden für die Feinstaubbelastung an der Referenzstation, die Stunde des Tages, den Wochentag, die Jahreszeit, die Windrichtung und die Feiertage (Ferienzeiten) adjustiert. Die Autoren berichten über eine Minderung der PM10-Feinstaubkonzentration an einer verkehrsbelasteten Station um bis 13% und eine kleinere Minderung um 4.5% im städtischen Hintergrund.

In einer Abschätzung der gesundheitlichen Effekte der Einführung von Umweltzonen stellten Malina und Kollegen (2015) eine deutschlandweite Abnahme der Konzentration von PM10-Feinstaub um ca. 8 % nach der Einführung von Umweltzonen in Stufe 1 und um ca. 18 % für Umweltzonen in Stufe 2 fest.

Eine weitere Analyse der Wirksamkeit von Umweltzonen wurde durch Jiang und Kollegen (2017) durchgeführt. Sie analysierten die Daten der amtlichen Messstationen in Deutschland und adjustierten für meteorologische Einflüsse mit Hilfe von Referenzmessstationen. Sie beobachteten an städtischen Hintergrundstationen einen statistisch signifikanten Rückgang der Konzentration von PM10 um 15% nach der Einführung von Umweltzonen.

**Beurteilung der Wirksamkeit von Umweltzonen in Deutschland anhand von NO2-Immissionsmessdaten**

Eine Übersicht der bisher veröffentlichten Auswertung zur Wirksamkeit von Umweltzonen auf die NO2-Konzentration in Deutschland befindet sich in Tabelle 2. Auffallend ist dass die Reduzierung der NO2-Konzentrationen aufgrund der Einführung von Umweltzonen deutlich schwächer ausgefallen ist als beim Feinstaub. Während in der Anfangsphase noch eine deutliche Reduktion von NO2-Konzentrationen im Bereich von 7 bis 10% beobachtet wurde (Lutz und Rauterberg-Wulff (2009)), zeigen neuere Analysen keine Minderung bzw. sogar Anstieg der NO2-Konzentrationen (Löschau und Kollegen (2015 und 2016), Jiang und Kollegen (2017)).

Die geringere Reduktion von NO2 im Verglich zum Feinstaub könnte dadurch verursacht werden, dass die Umweltzonen überwiegend die Nachrüstung mit Partikelfiltern bei bestehenden Fahrzeugen gefördert haben und weniger zu einer Flottenerneuerung geführt haben. Eine Änderung der Zusammensetzung von Fahrzeugflotte hin zu Fahrzeugen mit höheren Abgasnormen kann aber durchaus auch eine Reduzierung von NO2 an Hauptverkehrsstraßen verursachen. So wurde die im Ruhrgebiet erzielte Reduktion von NO2-Konzentration um etwa 2 µg/m3 interpretiert (UBA 2017).

Nach Einschätzung von Lorenz (2011) wird der EU-Grenzwert für NO2 in vielen deutschen Großstädten trotz der Einführung von Umweltzonen in Zukunft weiterhin zum Teil um ein Vielfaches überschritten. Nach damaligen Immissionsprognosen war weder 2015 noch 2020 mit einer Einhaltung des Grenzwertes zu rechnen.

**Beurteilung der Wirksamkeit von Umweltzonen in Deutschland anhand zusätzlicher Immissionsmessdaten (PM2.5-Feinstaub, EC, Partikelanzahl)**

Die in der Öffentlichkeit geführte Diskussion über die Wirksamkeit von Umweltzonen als Maßnahme für eine verbesserte Luftqualität ist oft vom Blick auf die gemessenen PM10-Feinstaubkonzentrationen geprägt. Ein Grundproblem des Wirksamkeitsnachweises durch PM10-Immissionsdaten besteht darin, dass PM10 (und in geringerem Umfang auch PM2.5) lokal nur relativ wenig durch Abgasemissionen vom Kfz-Verkehr beeinflusst werden. Der Hauptanteil des PM10-Feinstaubes wird im Allgemeinen durch relativ hohe Beiträge der atmosphärisch langlebigen Partikel im Größenbereich 0,2 bis 1 µm (in dem sogenannten Akkumulationsmode) gebildet. Einen wichtigen Bestandteil des Feinstaubes bilden größere Partikel (> 1 µm) die durch Aufwirbelung von Bodenstaub sowie durch Abrieb von Reifen, Bremsen und Fahrbahn entstehen. Die Emission dieser Partikel wird aber durch die Einführung der Umweltzonen kaum beeinflusst. Die durch diese Maßnahme beeinflussten Abgasemissionen enthalten vorwiegend Rußpartikel, die meist kleiner 0,2 μm sind und in sehr großer Anzahl emittiert werden. An der großen Oberfläche dieser Rußpartikel lagern sich toxische Produkte des Verbrennungsprozesses an. Diesem kleinen Feinstaubanteil wird aber eine erhebliche Gesundheitsrelevanz zugeschrieben. Es ist davon auszugehen, dass die Einführung von Umweltzonen insbesondere den hochtoxischen Dieselrußanteil im Feinstaub reduziert. Durch die Messung von Ruß-Konzentrationen in der Außenluft könnte man somit die Wirksamkeit der Umweltzonen viel genauer untersuchen, als durch Messungen von PM10-Feinstaubkonzentrationen.

Leider werden derzeit in Deutschland die Ruß-Konzentrationen in der Außenluft nicht routinemäßig gemessen. Eine Ausnahme stellt Berlin dar, wo seit den neunziger Jahren die Konzentration von kohlenstoffhaltigen Partikeln an mehreren Standorten bestimmt wird. Darüber hinaus wurden in der letzten Zeit auch Studien aus Leipzig und München publiziert, in denen unter anderem auch die Konzentration von Dieselruß bestimmt wurde. Eine Übersicht der bisher veröffentlichten Studien über die Wirkung von Umweltzonen auf andere Partikelparameter als PM10-Feinstaub ist in Tabelle 3 zu finden.

In einer Auswertung für Berlin zeigen Rauterberg-Wulff und Lutz (2011), dass mit Einführung der Umweltzone der an den Straßen gemessene Beitrag des lokalen Straßenverkehrs zur Ruß-Konzentrationen sowohl innerhalb als auch außerhalb der Umweltzone gesunken ist und zwar mit Einführung der Stufe 1 im Jahr 2008 um 21 bis 24% gegenüber 2007 und mit Einführung der Stufe 3 im Jahr 2010 um 52% gegenüber 2007.

In Leipzig trat am 1 März 2011 erstmalig in Deutschland eine Umweltzone direkt mit der höchsten Regulierungsstufe 3 (grüne Plakette) in Kraft. Das Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LFULG) in Sachsen und das Leibniz Institut für Troposphärenforschung TROPOS in Leipzig haben die Einführung der Umweltzone in Leipzig mit Sondermessungen von Ruß-Massenkonzentration und Partikelgrößen-verteilungen begleitet. Zur Ermittlung der Ruß-Immissionen wurden zwei Messverfahren angewendet. Der Dieselruß wurde sowohl als EC (elementarer Kohlenstoff) als auch als BC (schwarzer Kohlenstoff) bestimmt.

Eine Analyse der Leipziger Daten wurde bereits von Rasch und Kollegen (2013) publiziert. Bei dieser Trendanalyse wurden die Sommermonate der Jahre 2009 bis 2012 analysiert (in den Wintermonaten ist die straßennahe Zusatzbelastung im Vergleich zu den absoluten Werten der Hintergrundbelastung relativ niedrig). Die Autoren belegen eine signifikante Abnahme der Ruß-Massenkonzentrationen an den verkehrsnahen Messstellen Leipzig-Mitte und Leipzig-Eisenbahnstraße. In Leipzig-Mitte betrug die Abnahme 0,7 bis 0,8 µg/m3, in Leipzig-Eisenbahnstraße zwischen 0,3 bis 0,8 µg/m3, je nach Bezugszeitraum. Bei der PM10-Massenkonzentration konnte hingegen keine signifikante Abnahme registriert werden. Die Autoren schlussfolgern, dass die Umweltzone für die Reduzierung der gesundheitlich als hochrelevant eingestuften Teilmengen des Aerosols (Ruß, ultrafeine Partikel) einen deutlichen Nutzen bringen kann, selbst wenn dies bei der Betrachtung der gesetzlich geregelten PM10-Massenkonzentration nicht erkennbar ist.

In einer Auswertung von Löschau und Kollegen (2016) wurden die größten Minderungen an der Messstation Leipzig-Mitte im Zentrum der Umweltzone ermittelt. Für den Immissionsanteil durch die Motoremissionen der Kraftfahrzeuge wurden an diesem Standort folgende Änderungen 2015 gegenüber 2010 nachgewiesen: (a) deutliche Abnahme um 36 % für Ruß-Partikel gemessen als elementarer Kohlenstoff, (b) deutliche Abnahme um 48 % für Ruß-Partikel gemessen als schwarzer Kohlenstoff und (c) deutliche Abnahme um 61 % für Partikel von 30 bis 200 nm. Demgegenüber wurde im gleichen Zeitraum eine Zunahme der Stickoxide (NOx) um 5 % beobachtet. Weil sich die Anzahl der Fahrzeuge nur wenig änderte, wird dies als Effekt durch die Modernisierung der Fahrzeugflotte, die durch die Umweltzone beschleunigt wurde, gewertet. Die deutliche Partikel-Minderung wurde durch die fortschreitende Durchdringung der Fahrzeugflotte mit Partikelfiltern erreicht.

In einer Münchener Studie von Qadir und Kollegen (2013), wurde PM2.5-Feinstaub im Winter 2006/07 (vor der Einführung der Umweltzone) und Winter 2009/2010 (nach der Einführung der Umweltzone) auf Filtern gesammelt und dann auf organische Komponenten und EC/OC-Gehalt analysiert. Um die wichtigsten Partikelquellen zu identifizieren wurde die Methode der Positiven Matrix Faktorisierung (PMF) angewendet. Es wurden unterschiedliche Partikelquellen (wie Kfz-Verkehr, Verbrennung fester Fossilstoffe, Kochen und andere) identifiziert und quantifiziert. Der Beitrag der Partikelquelle „Kfz-Verkehr“ zu der Gesamtkonzentration von PM2.5-Feinstaub sank um 60% in der zweiten Beobachtungsperiode (nach der Einführung der Umweltzone in München). Außerdem nahm die Konzentration von EC in dem Kfz-Verkehr Faktor von 1,1 auf 0,5 µg/m3 ab (eine Abnahme um 50%).

1. **Gesundheitliche Vorteile von Umweltzonen**

Die vielfältig nachgewiesenen gesundheitlichen Auswirkungen von PM10-Feinstaub und vor allem PM2.5-Feinstaub sind wissenschaftlich unstrittig (WHO 2006, US-EPA 2004, Rückerl et al., 2011). Studien zur **Langzeitexposition** gegenüber Feinstaub ergeben einen statistischen Zusammenhang zwischen der Sterblichkeit an kardiopulmonalen Ursachen und Lungenkrebs. Der daraus berechnete Verlust an Lebenserwartung in der Bevölkerung kann die Größenordnung eines halben bis einen Jahres erreichen. Die Studien zeigen außerdem deutlich, dass die Langzeitexposition gegenüber Feinstaub zu chronischen Atemwegserkrankungen und bei Kindern zu vermindertem Lungenwachstum führen kann. Ältere Erwachsene, Kinder und Kranke werden als empfindliche Gruppen betrachtet.

Die Zusammensetzung des Feinstaubes ist sehr variabel und hängt von vielen Faktoren ab, wobei der Standort (straßennah, städtischer Hintergrund, regionaler Hintergrund) eine wichtige Rolle spielt. Man kann davon ausgehen, dass im Mittel nur ca. 20% des Feinstaubs hochtoxisch sind, während ca. 80% wenig toxische Anteile (aufgewirbelter Staub, Reifenabrieb, biologische Materialien, Staub aus dem Ferntransport etc.) enthalten (Cassee et al., 2013). Eine Reduktion der hoch toxischen Komponenten ist in Hinblick auf die menschliche Gesundheit sehr relevant, während eine Reduktion der harmlosen Komponenten sich kaum auswirkt. Verbrennungspartikel sind als besonders schädlicher Anteil des in der Außenluft gemessenen Feinstaubs (PM10 bzw. PM2.5) anzusehen. In den Städten stammt der größte Anteil hoch toxischer Partikel aus dem Kfz-Verkehr, und hier insbesondere aus Dieselfahrzeugen (Wichmann, 2008).

Somit führen Umweltzonen zu einer Minderung des zusätzlichen Gesundheitsrisikos für Menschen, die in der Nähe einer stark befahrenen Straße wohnen, die prozentual deutlich stärker ist als die PM10-Konzentrationsabnahme. Geht man hypothetisch davon aus, dass die hochtoxischen Anteile von PM10 20% ausmachen, aber für 100% der Gesundheitseffekte verantwortlich sind, dann würde eine PM10-Konzentrationsabnahme um 10% zu einer Reduktion der Gesundheitseffekte um 50% führen (Wichmann 2011).

Damit zeigt sich deutlich, dass die Beurteilung der Wirksamkeit von Umweltzonen anhand Messungen der Konzentrationsänderungen von PM10-Feinstaub nur bedingt möglich ist. Die Umweltzonen wurden zwar primär als Maßnahme für die Reduktion der PM10-Belastung eingeführt (weil diese gesetzlich reguliert wird), haben aber deutlicheren Einfluss auf die Reduktion des toxisch sehr viel relevanteren Rußanteils. Die Überwachung von Ruß wäre daher eine deutlich bessere Strategie, die Wirksamkeit der Umweltzonen zu beurteilen. Zusätzlich wäre es sinnvoll, die Veränderung der Konzentrationen anderer Partikelgrößenklassen, wie des PM2,5–Feinstaubs oder ultrafeiner Partikel, zu bestimmen. Die Reduktion dieser Partikelparameter aufgrund der Einführung von Umweltzonen sollte ebenfalls deutlicher ausfallen wie für PM10 (Cyrys et al., 2014). Außerdem haben diese Partikelfraktionen nachweislich gesundheitliche Effekte auf die Bevölkerung, die über die Wirkungen von PM10 hinausgehen.

Auch das Umweltbundesamt stellt in einer Einschätzung fest: „der große Mehrwert der Umweltzone im Bezug auf die Feinstaubreduzierung ist weniger hinsichtlich der Minderung der Partikelmasse zu werten als in der Art der reduzierten Partikel und deren Gesundheitsgefährdungspotenzial“ (UBA, 2017).

1. **Perspektiven und Fazit**

**Mögliche Verbesserungen der Effektivität von Umweltzonen**

Die Effektivität der Umweltzonen im Hinblick auf die Reduktion der Luftschadstoffbelastung hängt von vielen Faktoren ab: der lokalen Zusammensetzung der Kfz-Flotte, ihrer Größe, der Schärfe der Regelungen und der Anzahl der zugelassen Ausnahmen (um nur einige Beispiele zu nennen). Die Wirksamkeit der Umweltzonen hängt aber auch vom Zeitpunkt der Einführung ab. Einige Jahre nach der Einführung lässt die Effektivität nach, bedingt durch den natürlichen Prozess der Erneuerung der Kfz-Flotte und Ausstattung mit besserer und modernerer Technik gemäß den gesetzlichen Anforderungen. Nach Einschätzung des Umweltbundesamtes erfüllen derzeit über 90% der Autos die Abgasstandards für eine grüne Plakette. Deshalb können die Umweltzonen mit ihren derzeitigen Kriterien kaum noch zusätzliche Wirkung erzielen (UBA 2017). Allerdings wird vom Umweltbundesamt (UBA) der bisherige Effekt der Einführung der Umweltzone auf die Feinstaubkonzentration in Deutschland als wirksam eingeschätzt, da derzeit alle Städte den europaweit geltenden Grenzwert von 40 µg/m3 im Jahresmittel einhalten können.

Die Reduzierung der NO2-Konzentrationen aufgrund der Einführung von Umweltzonen ist allerdings deutlich schwächer ausgefallen als beim Feinstaub. Gegenwärtig werden immer noch an rund 60% der verkehrsnahen Messstationen in Deutschland Überschreitungen der Grenzwerte für NO2 beobachtet. Ein Grund für die geringe Reduzierung der NO2-Konzentration sei der Unterschied zwischen dem Emissionsgrenzwert, der auf einem so genannten Rollenprüfstand „unter Laborbedingungen“ gemessen wird, und den Realemissionen auf der Straße. Die Testprozedur, die bei der Typgenehmigung auf dem Rollenprüfstand zum Einsatz kommt, bildet nur einen geringen Teil der realen Fahrsituation ab (UBA 2017).

Deshalb plädiert das UBA für eine Anpassung der Kriterien der Umweltzone. Die Grundlage für die Vergabe einer neuen (z. B. blauen) Umweltplakette soll ein neues europaweit abgestimmtes Verfahren zur Messung der NOx-Emission von Pkw und leichten Nutzfahrzeugen im realen Betrieb bilden. Das Messverfahren soll die Grundlage für die Überprüfung der zukünftig gültigen Abgasgrenzwerte für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge mit Dieselmotor sein. Neben der Einführung der blauen Umweltplakette sollen die Umweltzonen auch auf andere Emissionsquellen als Kraftfahrzeuge ausgeweitet werden (zum Beispiel auf Baumaschinen, Holzfeuerungen oder Schiffe).

**Fazit**

Die Überwachung der Luftqualität durch die zuständigen Behörden beinhaltet PM10 und NO2 Messungen, da die Konzentration dieser Schadstoffe gesetzlich reguliert wird. Die Einführung der Umweltzone wurde durch die Überschreitung der Grenzwerte für diese Schadstoffe ausgelöst. Die Luftqualität bezogen auf Partikelemission konnte in den letzten Jahren insbesondere durch die Einführung von Partikelfiltern in Kraftfahrzeugen deutlich verbessert werden. Somit haben Umweltzonen einen klaren positiven Einfluss auf die Bevölkerung ausgeübt. Bei der Reduzierung von NOx-Emissionen konnte trotz signifikanter Verschärfung der Emissionsgrenzwerte bisher noch kein vergleichbarer Erfolg verzeichnet werden.

Die Umweltzonen wurden zwar primär als Maßnahme für die Reduktion der PM10-Belastung eingeführt (weil diese gesetzlich reguliert wird), haben aber deutlicheren Einfluss auf die Reduktion des toxisch relevanten Rußanteils des Feinstaubs. Die Überwachung des toxisch relevanten Anteils des PM10-Feinstaubs wäre eine bessere Strategie, die Wirksamkeit der Umweltzonen zu beurteilen. Die Beurteilung der Wirksamkeit von Umweltzonen anhand der Konzentrationsänderungen von PM10-Feinstaub in der Außenluft bleibt schwierig und ist nur bedingt möglich. Der Grund dafür sind schwankende meteorologische Verhältnisse, Unsicherheiten der Messmethode und Änderungen von anderen Faktoren (zum Beispiel der Zusammensetzung der Kfz-Flotte oder der Verkehrsintensität in der Nähe der Messstation). Außerdem spielt die Wahl einer geeigneten statistischen Methode bei diesen Studien eine große Rolle.

**Literaturverzeichnis**

Bruckmann, P., D. Gladtke, W. Kappert, K. Vogt, S. Wurzler, A. Brandt: The effectiveness of local abatement measures on air quality – five cases from the Rhine Ruhr region, Germany. Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft 67 (2007), 481-489.

Bruckmann, P, M. Lutz: Wie effektiv sind Umweltzonen? KRdL-Expertenforum 07.10.2009, Bonn, ISBN 987-3-931384-67-8 (2009).

Bruckmann P, Lutz M. 2010. Verbessern Umweltzonen die Luftqualität? In: Tagungsband zum 12. Technischen Kongress des Verbandes der Automobilindustrie (VDA), 24.-25. März 2010, Ludwigsburg (VDA, ed). Henrich Druck + Medien GmbH 299–311.

Bruckmann, P., Wurzler, S., Brandt, A., Vogt, K.: Erfahrungen mit Umweltzonen in Nordrhein-Westfalen, UMID. Umwelt und Mensch – Informationsdienst, Nr. 4/2011 (2011), Hrsgb. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Robert Koch-Institut (RKI), Umweltbundesamt (UBA)

Cassee, FR., Heroux, ME., Gerlofs-Nijland, ME., Kelly, FJ. 2013: Particulate matter beyond mass: recent health evidence on the role of fractions, chemical constituents and sources of emission. Inhal Toxicol., 25(14): 802–812.

Cyrys J, Peters A, Wichmann H-E. 2009. Umweltzone München – Eine erste Bilanz. Umweltmedizin in Forschung und Praxis 14:127-132.

Cyrys, J., Peters, A., Soentgen, J., Wichmann, H.-Erich: Low Emission Zones Reduce PM10 Mass Concentrations and Diesel Soot in German Cities. Journal of the Air & Waste Management Association 2014, 64 (4): 481 – 487.

Diegmann V, Pfäfflin F, Wiegand G, Wursthorn H, Dünnebeil F, Helms H, Lambrecht U (2006).Verkehrliche Maßnahmen zur Reduzierung von Feinstaub – Möglichkeiten und Minderungspotenziale. Dessau: Umweltbundesamt.

Fensterer, V., Küchenhoff, H., Maier, V., Wichmann, HE., Breitner, S., Peters, A., Gu., J., Cyrys, J.: Evaluation of the Impact of Low Emission Zone and Heavy Traffic Ban in Munich (Germany) on the Reduction of PM10 in Ambient Air. International Journal of Environmental Research and Public Health 2014, 11, 5094 – 5112.

Jiang W, Boltze M, Groer S, Scheuvens D.: Impacts of low emission zones in Germany on air pollution levels. Transportation Research Procedia 25 (2017) 3370–3382.

Lorenz J.: Feinstaub: Beim Immissionsschutz sind alle in der Pflicht: Erfahrungen mit der Umweltzone in München. UMID. Umwelt und Mensch – Informationsdienst, Nr. 4/2011, Hrsgb. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Robert Koch-Institut (RKI), Umweltbundesamt (UBA).

Lutz, M., A. Rauterberg-Wulff: Ein Jahr Umweltzone Berlin: Wirkungsuntersuchungen. Senatsverwaltung für Gesundheit, Umwelt und Verbraucherschutz, Berlin (2009).

Löschau G, Wiedensohler A, Birmili W, Rasch, F Spindler G, Müller K, Wolf U, Hausmann A, Böttger M, Bastian S., Anhalt M, Dietz V, Herrmann H, Böhme U.: Messtechnische Begleitung der Einführung der Umweltzone in der Stadt Leipzig, Teil 4: Immissionssituation von 2010 bis 2014 und Wirkung der Umweltzone. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, 2015.

Löschau G, Wiedensohler A, Birmili W, Rasch, F Spindler G, Müller K, Wolf U, Hausmann A, Anhalt A, Dietz V, Herrmann H, Böhme U. und Kath H-G.: Messtechnische Begleitung der Einführung der Umweltzone in der Stadt Leipzig, Teil 5: Immissionssituation von 2010 bis 2015 und Wirkung der Umweltzone. Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie, Dresden, 2016.

Malina C., Scheffler F.: The impact of Low Emission Zones on particulate matter concentration and public health. Transportation Research Part A 77 (2015) 372–385.

Morfeld P., Spallek M., Groneberg D.A.: Zur Wirksamkeit von Umweltzonen: Design einer Studie zur Ermittlung der Schadstoffkonzentrationsänderung für Staubpartikel (PM10) und andere Größen durch Einführung von Umweltzonen in 20 deutschen Städten. Zentralblatt für Arbeitsmedizin 61 (2011) 148–165.

Morfeld P., Stern R., Builtjes P., Groneberg D.A. und Spallek M., 2013. Einrichtung einer Umweltzone und ihre Wirksamkeit auf die PM10-Feinstaubkonzentration – eine Pilotanalyse am Beispiel München. Zentralblatt für Arbeitsmedizin 63: 104–115.

Morfeld P., Groneberg D.A., Spallek M.: Wirksamkeit von Umweltzonen in der ersten Stufe: Analyse der Feinstaubkonzentrationsänderungen (PM10) in 19 deutschen Städten. Effectiveness of Low Emission Zones of Stage 1: Analysis of the Changes in Fine Dust Concentrations (PM10) in 19 German Cities. Pneumologie 2014; 68: 173–186.

Qadir, R., Abbaszade, G., Schnelle-Kreis, J., Chow, J., Zimmermanna, R., 2013. Concentrations and source contributions of particulate organic matter before and after implementation of a low emission zone in Munich, Germany. Environ. Pollut. 175, 158-167.

Rasch, F., Birmili, W., Weinhold, K. Nordmann, S. Sonntag, A. Spindler, G. Herrmann, H. Wiedensohler, A. Loeschau, G. 2013. Significant reduction of ambient black carbon and particle number in Leipzig as a result of the low emission zone. Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft, 73, 483-489.

Rauterberg-Wulff A. und Lutz M., 2011, Wirkungsuntersuchungen zur Umweltzone Berlin, UMID. Umwelt und Mensch – Informationsdienst, Nr. 4/2011, Hrsgb. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR), Robert Koch-Institut (RKI), Umweltbundesamt (UBA)

Rückerl R, Schneider A, Breitner S, Cyrys J, Peters A. Health Effects of Particulate Air Pollution – A Review of Epidemiological Evidence. Inhalation Toxicology 2011, 23(10): 555–592.

Umweltbundesamt 2008: Kurzinformation zum Thema „Umweltzonen in Deutschland“ <https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/pdfs/umweltzonen.pdf> [Abrufdatum 25.11.2017].

Umweltbundesamt 2017: Umweltzonen in Deutschland.

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/luft/luftschadstoffe/feinstaub/umweltzonen-in-deutschland>) [Abrufdatum 25.11.2017].

US-EPA (Environmental Protection Agency). Air quality criteria for particulate matter, Research Triangle Park, NC, USA, October 2004.

WHO (World Health Organisation) Air quality guidelines – gobal update 2005: Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide. WHO Regional Office for Europe, Copenhagen 2006.

Wichmann HE (2008): Umweltmedizin in Forschung und Praxis, Schützen Umweltzonen unsere Gesundheit oder sind sie unwirksam? Umweltmed Forsch Prax 13, 7-10)

Wichmann HE (2011): Umweltzonen aus der Sicht des Gesundheitsschutzes. Helmholtz Zentrum München Institut für Epidemiologie I. Pressekonferenz Deutsche Umwelthilfe 7.4.2011 Berlin. <http://www.duh.de/uploads/tx_duhdownloads/Wichmann_2011-04_Umweltzonen_DUH_Berlin.pdf> [Abrufdatum 25.11.2017].

**Abbildungslegenden und Abbildungen:**

Abbildung 1: Umweltzonen in Deutschland (UBA, 2017)



Abbildung 1: Umweltzonen in Deutschland (UBA, 2017)

Tabelle 1: Übersicht bisher veröffentlichter Studien zur Wirksamkeit von Umweltzonen in Deutschland hinsichtlich der Reduktion vom PM10-Feinstaub.

| Zitat | Studiengebiet und Analyse der Daten | Wirkung von Umweltzonen |
| --- | --- | --- |
| Cyrys und Kollegen, 2009 | **München** Vergleich der Messdaten mit und ohne UWZ.Multiplikative Adjustierung auf Referenzstation. Studiendauer: 4 Monate. | 5 % – 12 % relative Minderung von PM10 |
| Lutz und Rauterberg-Wulff, 2009 | **Berlin** Vergleich von PM10 Jahresmittelwerten Adjustierung auf Referenzstation | 5 % Minderung von PM10 Jahresmittelwerten |
| Bruckmann und Lutz, 2009 | **Köln**Vergleich von PM10 JahresmittelwertenAdditive Adjustierung auf Referenzstation | 7 % Minderung von PM10 Jahresmittelwerten |
| Bruckmann und Lutz, 2010 | **Ruhrgebiet**Vergleich von PM10 Jahresmittelwerten Additive Adjustierung auf Referenzstation | 7 % Minderung von PM10 Jahresmittelwerten |
| Bruckmann und Kollegen, 2011 | **NRW**Vergleich von PM10 Jahresmittelwerten Auswertungen für unterschiedliche Stationsklassen | 7 % Minderung von PM10 Jahresmittelwerten |
| Morfeld et al., 2013 | **München**Vergleich der Messdaten mit und ohne UWZ.Regressionsmodellierung. Studiendauer: 4 Monate. | Gesamt-Effektschätzer nicht signifikant |
| Morfeld, 2014 | **Gesamtanalyse von 19 Umweltzonen**Alle Umweltzonen waren in der ersten Stufe. Regressionsmodellierung.  | Relative PM10-Reduktionen ≤1% (an Verkehrsstationen ≤5%). |
| Fensterer et al, 2014 | **München**Vergleich der Messdaten mit und ohne UWZ.Regressionsmodellierung. Studiendauer: 2 Jahre.  | Relative PM10-Reduktionen um 13% an einer Verkehrsstationen und 4.5% im städtischen Hintergrund. |
| Malina et al, 2015 | **Gesamtanalyse Deutschland**Vergleich der Messdaten mit und ohne UWZ.Regressionsmodellierung. Studiendauer: 2000-2009  | Relative PM10-Reduktionen um 8% nach der Einführung der Umweltzonen in Stufe 1 und 18% in Stufe 2 |
| Jiang et al, 2017 | **Gesamtanalyse Deutschland**Vergleich der Messdaten mit und ohne UWZ.Adjustierung auf Referenzstation. Studiendauer: 2002-2011  | Relative PM10-Reduktionen um 17% an Verkehrsstationen und 15% im Hintergrund. |

Tabelle 2: Übersicht bisher veröffentlichter Studien zur Wirksamkeit von Umweltzonen in Deutschland hinsichtlich der Reduktion vom NO2.

| Zitat | Studiengebiet und Analyse der Daten | Wirkung von Umweltzonen |
| --- | --- | --- |
| Lutz und Rauterberg-Wulff, 2009 | **Berlin** Vergleich von NO2 Jahresmittelwerten Additive Adjustierung auf Referenzstation | 7-10 % Minderung von NO2 Jahresmittelwerten |
| Bruckmann und Lutz, 2009 | **Köln**Vergleich von NO2 JahresmittelwertenAdditive Adjustierung auf Referenzstation | 1.5 % Minderung von NO2 Jahresmittelwerten |
| Bruckmann und Lutz, 2010 | **Ruhrgebiet**Vergleich von NO2 Jahresmittelwerten Additive Adjustierung auf Referenzstation | 2 % Minderung von NO2 Jahresmittelwerten |
| Bruckmann und Kollegen, 2011 | **NRW**Vergleich von NO2 Jahresmittelwerten Auswertungen für unterschiedliche Stationsklassen | 2 % Minderung in NRW an Verkehrsmessstationen |
| Rauterberg-Wulff und Lutz, 2011 | **Berlin**Vergleich von NO2 Jahresmittelwerten Additive Adjustierung auf Referenzstation | 5 % Minderung von NO2 Jahresmittelwerten |
| Löschau et al., 2015 | **Leipzig**Vergleich der Messdaten mit und ohne UWZ. Referenzjahr: 2010.  | Keine Minderung der NO2-Konzentration gegenüber 2010. |
| Jiang et al, 2017 | **Gesamtanalyse Deutschland**Vergleich der Messdaten mit und ohne UWZ.Adjustierung auf Referenzstation. Studiendauer: 2002-2011  | Keine Minderung an Verkehrsmessstationen nachweisbar. |
| Löschau et al., 2016 | **Leipzig**Vergleich der Messdaten mit und ohne UWZ. Referenzjahr: 2010.  | Anstieg der NO2-Konzentration um 5 % im Jahr 2015 gegenüber 2010. |

Tabelle 3: Übersicht bisher veröffentlichter Studien zur Wirksamkeit von Umweltzonen in Deutschland hinsichtlich zusätzlicher Partikelparameter

| Zitat | Studiengebiet und Analyse der Daten | Wirkung von Umweltzonen |
| --- | --- | --- |
| Lutz und Rauterberg-Wulff, 2009 | **Berlin** Vergleich von PM10 und EC Jahresmittelwerten Additive Adjustierung auf Referenzstation | 14–16% Minderung von EC |
| Rauterberg-Wulff und Lutz, 2011 | **Berlin**Vergleich der Messdaten mit und ohne UWZ. Adjustiert auf Veränderungen der Verkehrsintensität. Referenzjahr: 2007 | 21 - 24 % Minderung von EC Jahresmittelwerten in 2008. 52 % Minderung von EC in 2010 |
| Löschau et al., 2013 | **Leipzig**Vergleich der Messdaten mit und ohne UWZ. Separate Analyse für Sommer und Winter.Referenzjahr: 2010.  | An verkehrsnahen Messstationen:6 – 14% Minderung von EC 8 – 19% Minderung von BC.Im Sommer (Leipzig Mitte):15% Minderung von PM2.521% Minderung von EC31% Minderung von BC |
| Rasch et al., 2013 | **Leipzig**Vergleich der Messdaten mit und ohne UWZ durch Ermittlung der Änderungen der straßennahen Zusatzbelastung. Referenzjahr: 2009 und 2010.  | Abnahme der Dieselruß-Konzentration bis 36%.Abnahme der Zahl der ultrafeinen Partikel bis 27%. |
|  |  |  |
| Qadir et al., 2013 | **München**Vergleich der Messdaten mit und ohne UWZ.Quellenzuordnung anhand von OC und EC Daten | 50 % Minderung von EC im Verkehrsfaktor |
|  |  |  |
| Lutz, 2013 | **Berlin**Vergleich von Dieselrußemissionen mit und ohne Einführung der UWZ anhand der beobachteten Flottenzusammensetzung für das Jahr 2012  | Minderung der Dieselruß-Emissionen um 63% in 2012. |
| Löschau et al., 2016 | **Leipzig**Vergleich der Messdaten mit und ohne UWZ. Referenzjahr: 2010.  | 36 % Minderung von EC 48 % Minderung von BC. |