



LUFTREINHALTUNG

Entwicklung der Luftqualität in Rheinland-Pfalz im Zeitraum 1980–2008



LUWG-Bericht 3/2010

LUFTREINHALTUNG

Entwicklung der Luftqualität in Rheinland-Pfalz im Zeitraum 1980–2008

Maßnahmen und Entwicklungen auf der Grundlage des Bundes-Immissionsschutzgesetzes und der zugehörigen Durchführungsverordnungen und Verwaltungsvorschriften, sowie der Gesetzgebung zur Verringerung der Emissionen des Straßenverkehrs

Bearbeitung

Annette Kindinger,
Peter Simm,
Raimund Zemke

Mainz, März 2010

IMPRESSUM:

Herausgeber: Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft
und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz (LUWG)
Kaiser-Friedrich-Straße 7 • 55116 Mainz

Publikation: 3/2010

Bearbeiter: Annette Kindinger, Peter Simm, Raimund Zemke

Herstellung: LUWG



Auflage: 50 Exemplare

© März 2010

Nachdruck und Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers

Inhalt

1	Gesetzgebung und wichtige Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität	9
1.1	Bundes-Immissionsschutzgesetz und Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft 1974	9
1.2	Großfeuerungsanlagenverordnung 1983	10
1.3	Weitergehende Maßnahmen zur Entstickung der Rauchgase aus Großfeuerungsanlagen	11
1.4	Neufassung der TA Luft und Verpflichtung zur Altanlagenanierung 1986	11
1.5	Einführung des geregelten Abgaskatalysators bei Benzin-PKW ab 1985	12
1.6	Luftqualitätsrichtlinien der Europäischen Union (EU) ab dem Jahr 1996	12
2	Technische Maßnahmen bei Industrieanlagen	15
2.1	Anlagen zur Rauchgasentschwefelung	15
2.2	Anlagen zur Rauchgasentstickung	16
2.4	Techniken zur Entfernung von organischen Verbindungen aus Abgasen	17
3	Abgasgesetzgebung und Abgasbehandlung bei Kraftfahrzeugen	18
3.1	Dreiwegekatalysator bei PKW mit Ottomotor	19
3.2	Ungeregelter Dreiwegekatalysator ab dem Jahr 1985 bei PKW mit Ottomotor	20
3.3	Geregelter Dreiwegekatalysator bei PKW mit Ottomotor	20
3.4	Diesel-Oxidationskatalysator	21
3.5	Dieselpartikelfilter	21
3.6	Speicherkatalysator für Stickoxide	22
3.7	Entstickungskatalysator bei Dieselmotoren	22
4	Immissionsmessungen an den ZIMEN-Messstationen	23
5	Entwicklung der Schadstoffimmissionen an den ZIMEN-Messstationen in Rheinland-Pfalz	25
5.1	Kohlenmonoxid	25
5.2	Stickstoffoxide	28
5.2.1	Stickstoffmonoxid	30
5.2.2	Stickstoffdioxid	33
5.2.3	Vergleich der Immissionswerte von Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid am Beispiel Mainz-Parcusstraße	36
5.3	Schwefeldioxid	37
5.4	Ozon	39
5.5	Feinstaub	43
5.6	Organische Luftschadstoffe	45
5.6.1	Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOC)	45
5.6.2	Toluol	46

6	Luftreinhaltepläne und Aktionspläne	48
7	Schlusswort	50
8	Anhang	51
8.1	Tabellenverzeichnis	51
8.2	Abbildungsverzeichnis	51
8.3	Quellen- und Literaturverzeichnis	52

VORWORT



Seit dem Jahr 1974 gibt es das Bundes-Immissionsschutzgesetz. Dieses bildet zusammen mit den zugehörigen Durchführungsverordnungen und Verwaltungsvorschriften die Grundlage für die in den letzten 30 Jahren durchgeführten weitreichenden Maßnahmen zur Luftreinhaltung.

Bereits im Jahr 1976 wurden durch die Landesregierung Rheinland-Pfalz die Belastungsgebiete Ludwigshafen-Frankenthal und Mainz-Budenheim festgelegt. Für diese und für andere Regionen in Rheinland-Pfalz wurden Luftreinhaltepläne erstellt und teilweise auch fortgeschrieben.

Neben den nationalen Maßnahmen zur Emissionsminderung bei Industriebetrieben haben insbesondere die seit dem Jahr 1985 drastisch verschärften Abgasnormen für Kraftfahrzeuge zu einer deutlichen Verbesserung der Luftqualität geführt.

Seit dem Jahr 1996 gibt die Europäische Union mit den Luftqualitätsrichtlinien die Immissionswerte vor. An die Stelle der einst für die Belastungsgebiete vorgesehenen Luftreinhaltepläne treten jetzt Luftreinhaltepläne zur Verringerung der vorwiegend durch den Kraftfahrzeugverkehr verursachten Luftbelastung in den Innenstädten.

Im Folgenden sind entscheidende gesetzliche Vorgaben und die durchgeführten technischen Maßnahmen zur Luftreinhaltung, sowie die Entwicklung der Schadstoffbelastung über den Zeitraum von 1980 bis 2008 beschrieben.

A handwritten signature in blue ink that reads "Stefan Hill". The signature is written in a cursive, slightly slanted style.

Dr.-Ing. Stefan Hill

Präsident des Landesamtes für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht Rheinland-Pfalz

1 GESETZGEBUNG UND WICHTIGE MASSNAHMEN ZUR VERBESSERUNG DER LUFTQUALITÄT

Seit dem Jahr 1980 bis heute hat sich die Luftqualität stark verbessert. Dies ist auf den deutlichen Rückgang der in die Luft eingebrachten Schadstoffmengen (Emissionen) zurückzuführen. Industrie, Gewerbebetriebe, Kraftfahrzeugverkehr und Privathaushalte als Verursacher dieser Emissionen wurden durch eine Reihe staatlicher Vorgaben zu diesen Reduzierungen veranlasst.

Erklärung der Begriffe „Emission“ und „Immission“

Als Emissionen werden die Stoffe bezeichnet, die aus dem Schornstein oder Auspuff in die Atmosphäre abgegeben werden. Wenn diese Stoffe nach Transport und Verdünnung in der Atmosphäre im Atembereich von Menschen (oder an einem Messgerät) ankommen, bezeichnet man diese als Immissionen.

1.1 Bundes-Immissionsschutzgesetz und Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft 1974

Bereits 1974 war die erste Fassung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) in Kraft getreten. Dazu kam die Verwaltungsvorschrift „Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft)“. Der emissionsmindernde Effekt dieser Vorschriften war zunächst begrenzt, da insbesondere die TA Luft nur für neu errichtete Industrieanlagen galt. Ansonsten kamen die strengeren Emissionsgrenzwerte nur dann zur Anwendung, wenn bestehende Anlagen wesentlich geändert wurden. Mit dem Bundes-Immissionsschutzgesetz und der TA Luft hatte der Gesetzgeber eine erste Grundlage geschaffen, um durch eine Reduktion der Schadstoffemissionen eine bessere Luftqualität zu erreichen.

In den folgenden Jahren wurden eine Reihe von Durchführungsverordnungen zum Bundes-Immissionsschutzgesetz erlassen, in denen Emissionsminderungen für die verschiedensten Bereiche festgelegt wurden.

In Tabelle 1 sind die wichtigsten gesetzlichen Vorgaben der Bundesregierung und der Landesregierung Rheinland-Pfalz aufgeführt.

Tab. 1: Inkrafttreten von nationalen gesetzlichen Vorgaben zur Luftreinhaltung

Jahr	Gesetz/ Vorschrift	Auswirkung
1974	BImSchG	Gesetzliche Grundlage für die nachfolgenden Durchführungsverordnungen und Verwaltungsvorschriften
1974	TA Luft 1974	Emissionsstandards für neue genehmigungsbedürftige Anlagen
1974	1. BImSchV	Emissionsminderung Kohlenmonoxid und Staub aus Kleinf Feuerungsanlagen
1975	3. BImSchV	Emissionsminderung Schwefeldioxid aus Hausbrand und Verkehr
1983	13. BImSchV	Emissionsminderung Schwefeldioxid und Stickstoffoxide aus Großfeuerungsanlagen

Jahr	Gesetz/ Vorschrift	Auswirkung
1984	Verwaltungsvorschrift	Verwaltungsvorschrift für Rheinland-Pfalz: Verschärfung Emissionsgrenzwerte für Stickstoffoxide aus bestehenden Großfeuerungsanlagen
1986	TA Luft 1986	Verschärfte Emissionsstandards für genehmigungsbedürftige Anlagen. Sanierung der Altanlagen bis zum Jahr 1994
1990	17. BImSchV	Emissionsminderung Abfallverbrennungsanlagen
1998	20. BImSchV	Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen
1998	20. BImSchV	Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen
2002	TA Luft 2002	Verschärfte Emissionsstandards für genehmigungsbedürftige Anlagen. Sanierung der Altanlagen bis zum Jahr 2007
2002	3. BImSchV 2002	Verschärfung der Emissionsminderung von Schwefeldioxid aus Hausbrand und Verkehr
2002	22. BImSchV	Festlegung von Immissionswerten für Schadstoffe entsprechend den Vorgaben der EU-Richtlinien

In Tabelle 1 sind nur die Vorschriften aufgelistet, durch die drastische Emissionsreduzierungen erzielt wurden. Seit dem Jahr 2002 wurden noch etliche Vorschriften erlassen, die weiterhin zur Verbesserung der Luftqualität beigetragen haben.

1.2 Großfeuerungsanlagenverordnung 1983

Der erste wesentliche Schritt zur Verringerung der Emissionen in der damaligen Bundesrepublik Deutschland war die Großfeuerungsanlagen-Verordnung vom Juni 1983 (13. BImSchV), die eine drastische Verminderung der Emissionen an Schwefeldioxid (SO₂), Staub und auch an Stickoxiden (NO_x) bewirkte. Großfeuerungsanlagen – insbesondere die mit Stein- oder Braunkohle befeuerten Kraftwerke – waren die Hauptverursacher von Emissionen an SO₂, Staub und NO_x. Die Großfeuerungsanlagenverordnung (13. BImSchV) wurde zügig verabschiedet, weil Schwefeloxide und Stickstoffoxide, bzw. deren Umwandlungsprodukte für die damals beobachteten neuartigen Waldschäden verantwortlich gemacht wurden. Erstmals wurden auch für bereits bestehende Großfeuerungsanlagen (Altanlagen) Emissionsgrenzwerte festgelegt, die nach bestimmten Übergangsfristen, im Regelfall fünf Jahre, einzuhalten waren. Ein wesentlicher Schritt war die Nachrüstung der Altanlagen mit Einrichtungen zur Entfernung der Schwefeloxide aus dem Rauchgas (Rauchgasentschwefelungsanlage (REA)).

Die Grenzwerte der Großfeuerungsanlagenverordnung wurden am 01.07.1990 auf dem Gebiet der damaligen DDR gültig und mussten ebenfalls durch die Nachrüstung von Altanlagen eingehalten werden.

Dadurch wurde die jährliche Schwefeldioxidemission aus Großfeuerungsanlagen, die 1980 deutschlandweit etwa 5 Mio. t betragen hatte, bis 2007 auf ca. 0,4 Mio. t und somit um über 90 % verringert (Quelle: Umweltbundesamt).

Eine deutliche Verringerung der SO₂-Emissionen bewirkten auch die auf dem Verordnungsweg festgelegten Begrenzungen des Schwefelgehalts in Dieselkraftstoff sowie leichtem und schwerem Heizöl.

1.3 Weitergehende Maßnahmen zur Entstickung der Rauchgase aus Großfeuerungsanlagen

Zusätzlich zur Großfeuerungsanlagenverordnung wurde 1984 die Entscheidung für eine starke Verminderung der Stickoxidemissionen von Großfeuerungsanlagen der damaligen Bundesrepublik Deutschland getroffen. Grundlage für diese Maßnahme war ein Beschluss der Umweltministerkonferenz der Länder im Jahr 1984, der dann in den einzelnen Bundesländern, wie auch in Rheinland-Pfalz, durch eine Verwaltungsvorschrift in die Praxis umgesetzt wurde. Bereits in der Großfeuerungsanlagenverordnung waren Maßnahmen zur Begrenzung der Stickoxidemissionen verbindlich vorgegeben. Diese waren mit einer „Dynamisierungsklausel“ versehen. Diese Klausel bedeutete, dass die Stickoxidemissionen entsprechend dem jeweils aktuellen Stand der Emissionsminderungstechnik zu begrenzen waren. Wenn neue Verfahren zur Minderung dieser Emissionen technisch verfügbar waren, so mussten diese auch eingesetzt werden.

Zunächst wurden nur feuerungstechnische Maßnahmen zur Begrenzung der Stickoxide durchgeführt, wie z. B. die Absenkung der Verbrennungstemperatur, die Abgasrückführung oder die gestufte Zugabe der Verbrennungsluft. Wenig später waren bereits Techniken verfügbar, um mit Ammoniak als Reduktionsmittel die Stickoxide im Rauchgas auf chemischem Wege in elementaren Stickstoff umzuwandeln. Aufgrund dieses zügigen Fortschritts der Abgasreinigungstechnik zur Rauchgasentstickung wurden in der Verwaltungsvorschrift Emissionsgrenzwerte vorgegeben, die den Einsatz dieser fortschrittlichen Technik zwingend notwendig machten.

Von der Nachrüstung mit Entstickungsanlagen waren bereits vorhandene Feuerungsanlagen ausgenommen, wenn für diese eine Restnutzungsdauer von maximal 30.000 Betriebsstunden festgeschrieben wurde.

Die Aus- und Nachrüstung der großen Feuerungsanlagen (hauptsächlich Kohlekraftwerke) mit Entstickungsanlagen (DeNO_x-Anlagen) ging sehr zügig vonstatten. Die vorgegebene Frist wurde allgemein eingehalten, sodass ab dem Jahr 1990 alle westdeutschen Großfeuerungsanlagen mit Entstickungseinrichtungen arbeiteten.

Die Stickoxidemission aus Großfeuerungsanlagen wurde von etwa 1,1 Mio. t im Jahr 1980 bis 2007 um 70 % auf etwa 0,3 Mio. t verringert (Quelle: Umweltbundesamt).

1.4 Neufassung der TA Luft und Verpflichtung zur Altanlagenanierung 1986

Mit der Neufassung der TA Luft im Februar 1986 wurden die Anforderungen zur Begrenzung der Emissionen für die betroffenen industriellen und gewerblichen Anlagen entsprechend dem inzwischen fortgeschrittenen Stand der Abgasreinigungstechnik spürbar verschärft. Außerdem war eine bedeutende Neuerung, dass bestehende Anlagen (Altanlagen) nach bestimmten Übergangsfristen – abhängig von der Höhe der Grenzwertüberschreitung, aber längstens bis 1994 – grundsätzlich die gleichen Anforderungen wie neue Anlagen zu erfüllen hatten.

Das „Altanlagenanierungsprogramm“ erfasste alle Luftschadstoffe, für die in der TA Luft Grenzwerte vorgegeben waren. Es führte landesweit zu einer deutlichen Reduzierung der Emissionen, die allerdings wegen der Vielzahl der betroffenen emittierten Stoffe nicht im Einzelnen zu quantifizieren sind. In industriell geprägten Ballungsgebieten lag hingegen der Schwerpunkt der Emissionsminderung bei Stickoxiden, Schwefeldioxid und den Emissionen organischer Stoffe.

Landesweit gesehen lag der Schwerpunkt der Emissionsreduzierung bei den staubförmigen Stoffen, deren Freisetzung durch den Einsatz verbesserter Filtertechnik (Gewebefilter anstelle von Schwerkraftabscheidern) erheblich vermindert wurde.

1.5 Einführung des geregelten Abgaskatalysators bei Benzin-PKW ab 1985

Die Festlegung von Abgasgrenzwerten für Kraftfahrzeuge erfolgte seit dem Jahr 1970 durch die Europäische Union (EU). Seit dem Jahr 1985 wurde in Europa durch Verschärfung der Grenzwerte der Einsatz der Katalysatortechnik bei PKW mit Ottomotor vorangebracht. Eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz von Katalysatoren bei Fahrzeugen mit Ottomotor war die flächendeckende Versorgung mit bleifreiem Benzin, da Bleiverbindungen im Benzin zur Inaktivierung des Katalysators führen.

Ab 1991 galten dann strengere Abgasgrenzwerte für Neufahrzeuge, die bei den PKW mit Benzinmotor nur noch durch den Einsatz des geregelten Dreiwege-Katalysators („G-Kat“) eingehalten werden konnten. Dieser bewirkt zum einen die Oxidation des giftigen Kohlenmonoxids und der unverbrannten Kohlenwasserstoffe zu Kohlendioxid und Wasserdampf. Parallel dazu werden die Stickstoffoxide zu Stickstoff reduziert. Zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen aus dem Benzintank wurden Aktivkohlefilter eingebaut. Die veraltete Vergasertechnik wurde durch moderne, elektronisch gesteuerte Einspritzanlagen ersetzt, was auch einen geringeren Benzinverbrauch zur Folge hatte.

Im Jahr 1999 waren über 90 % des Kraftfahrzeugbestandes mit Benzinmotor mit Abgaskatalysatoren ausgerüstet.

Strengere Abgasnormen wurden auch für Diesel-PKW festgelegt. Zur Verringerung der Partikelemissionen und der Emissionen von Kohlenmonoxid und unverbrannten Kohlenwasserstoffen werden Diesel-PKW etwa seit dem Jahr 1996 mit einem Oxidationskatalysator ausgestattet. Die Verringerung der Stickoxidemissionen erfolgt beim Dieselmotor derzeit durch motorseitige Maßnahmen wie z. B. die Abgasrückführung.

Die zunehmende Verbreitung des Abgaskatalysators bei Fahrzeugen mit Ottomotor führte parallel zu den Maßnahmen bei den Großfeuerungsanlagen und den Industrieanlagen im Geltungsbereich der TA Luft zu einer Abnahme der emittierten Schadstoffe, insbesondere der Stickoxide. Allerdings wurde die Verringerung der Emissionen beim einzelnen PKW durch den starken Anstieg der Anzahl der PKW sowie der Fahrleistung bei der Gesamtemission teilweise wieder aufgehoben.

1.6 Luftqualitätsrichtlinien der Europäischen Union (EU) ab dem Jahr 1996

Die nächsten Schritte zur Festsetzung neuer Vorgaben im Bereich der Luftreinhaltung kamen dann von der EU. Grundlage war zunächst die EU-Luftqualitätsrahmenrichtlinie vom September 1996 (Richtlinie 96/62/EG), auf deren Grundlage im Folgenden von der EU vier Tochterrichtlinien erlassen wurden, in denen dann Luftqualitätsnormen für einzelne Luftschadstoffe festgelegt wurden. Die Rahmenrichtlinie sowie die Tochterrichtlinien wurden durch Änderung des BImSchG, die Änderung der Verordnung über Immissionswerte (22. BImSchV) im September 2002, Juli 2004 und März 2007, sowie den Erlass der Verordnung zum Sommersmog (33. BImSchV) im Juli 2004 in nationales deutsches Recht umgesetzt.

Abweichend vom bisherigen deutschen Recht, das grundsätzlich bei anlagen- bzw. produktbezogenen Maßnahmen zur Luftreinhaltung ansetzt, geht die EU-Rahmenrichtlinie mit ihren Tochterrichtlinien von einer gebietsbezogenen Luftreinhaltung aus. Diese Art der Beurteilung der Luftqualität führt dazu, dass bei der Umsetzung von erforderlichen Maßnahmen zur Minderung der Luftbelastung zunächst alle in Frage kommenden Verursacher dieser Belastung, nämlich Industrie, Gewerbe, Verkehr, Haushalte und evtl. auch die Landwirtschaft in Betracht zu ziehen sind. Anschließend ist der mutmaßliche Anteil dieser potentiellen Verursacher an der Gesamtbelastung zu ermitteln oder abzuschätzen. Anhand dieses Ergebnisses sind entsprechende Minderungsmaßnahmen durchzuführen. Diese müssen für den jeweiligen Verursacher sinnvoll, praktisch umsetzbar und zudem hinsichtlich des damit verbundenen Aufwands verhältnismäßig sein.

Am 10. Dezember 2007 verabschiedete das Europäische Parlament eine Novellierung der Regelungen zur Luftqualität. Mit der neuen Richtlinie 2008/50/EG gelten die vorherigen Vorgaben im Wesentlichen weiter. Neu hinzugekommen sind allerdings Begrenzungen für Feinstaubpartikel PM_{2,5} (Partikel mit weniger als 2,5 Mikrometer Durchmesser). Diese haben zum Ziel, die Belastung durch PM_{2,5} bis zum Jahre 2020 um bis zu 20 % zu verringern.

Auf Basis dieser Rechtsgrundlagen wurden bislang in Rheinland-Pfalz acht Luftreinhaltungs- und Aktionspläne für die Städte Koblenz, Ludwigshafen, Mainz, Neuwied, Pirmasens, Speyer, Trier und Worms erstellt. Der Grund, warum diese Pläne ausschließlich für größere Städte oder auch nur für Bereiche dieser Städte aufgestellt wurden, liegt darin, dass es gerade dort zu Überschreitungen der Grenzwerte der EU-Richtlinien bzw. 22. BImSchV kam. Ursächlich dafür ist hauptsächlich die starke Verkehrsbelastung in bestimmten Innenstadtbereichen, die an diesen Stellen zur Nichteinhaltung der Grenzwerte für PM₁₀-Feinstaub und Stickstoffdioxid führt. Als zusätzlicher wesentlicher Faktor kommt hinzu, dass sich in den betroffenen Bereichen oftmals starke Verkehrsströme durch vergleichsweise schmale Straßen mit höherer geschlossener Randbebauung (Straßenschluchten) bewegen, was zu einer deutlichen Behinderung des Abtransports der Kraftfahrzeugabgase und des verkehrsbedingten Feinstaubes führt.

Tab. 2: Inkrafttreten von Immissionsgrenzwerten für Stickstoffdioxid (NO₂) und PM₁₀-Feinstaub

		1986**)	2000	2005	2010
Immissions- grenz- werte (Jahresmittel) (µg/m ³)	PM ₁₀	150*	48	40	40
	NO ₂	80	60	50	40

* Gesamtstaub

** TA Luft 1986

Schließlich muss darauf hingewiesen werden, dass es auch witterungsbedingt zu Grenzwertüberschreitungen kommen kann. Das ist der Fall bei austauscharmen Wetterlagen, die während der kalten Jahreszeit auftreten können. Schlimmstenfalls kommt es zu einer Inversionswetterlage, die durch eine Umkehr (Inversion) des vertikalen Temperaturverlaufs in der Atmosphäre geprägt ist. Dabei sind die oberen Luftschichten wärmer als die unteren. Durch die Inversion wird die obere Luftschicht von der

unteren abgeschirmt. Infolge dieser Abschirmung kommt es zu einer Ansammlung von Luftschadstoffen in der kühlen unteren Schicht, da kein Luftaustausch in die wärmere obere Schicht möglich ist. Wenn eine Inversion mehrere Tage andauert, kommt es regelmäßig zu deutlichen Grenzwertüberschreitungen im gesamten Bereich der Inversion. Bei großräumigeren Inversionen können das ganze Land oder auch größere Teile des Bundesgebietes betroffen sein.

In den Innenstädten wird am 1. Januar eines Jahres oftmals eine Überschreitung des Tagesmittelwerts für PM10-Feinstaub von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert. Diese wird ausschließlich durch das Feuerwerk zum Jahreswechsel verursacht. Insbesondere dann, wenn es zum Jahreswechsel zusätzlich zu austauscharmen Wetterlagen kommt, ist landesweit ein Überschreitungstag für PM10-Feinstaub vorprogrammiert. Doch wurden bisher keine Überlegungen angestellt, zugunsten einer besseren Luftqualität am 1. Januar auf das Silvesterfeuerwerk zu verzichten oder dieses zu verbieten.

2 TECHNISCHE MASSNAHMEN BEI INDUSTRIEANLAGEN

Ein Schwerpunkt der Maßnahmen zur Reinhaltung der Luft lag im Bereich der Industrie, deren Ablüfte und Abgase vor dem Jahr 1970 oftmals ungefiltert oder nach einer einfachen Entstaubung in die Atmosphäre abgeleitet wurden. Hohe Luftbelastungen, insbesondere durch Schwebstaub, Schwefeldioxid und Staubniederschlag waren die Folge. Die ersten Gesetze und Maßnahmen betrafen die Industriebetriebe, zumal das Verkehrsaufkommen damals weit geringer war als heute.

Im Folgenden sind die wichtigsten Techniken zur Luftreinhaltung bei Industriebetrieben beschrieben, die aufgrund der Großfeuerungsanlagenverordnung und der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) eingesetzt wurden.

2.1 Anlagen zur Rauchgasentschwefelung

Die Rauchgasentschwefelungsanlage (REA) ist eine Einrichtung zur Entfernung von Schwefeloxiden (Schwefeldioxid (SO_2) und Schwefeltrioxid (SO_3)) aus dem Abgas von Feuerungsanlagen wie Kraftwerken und Müllverbrennungsanlagen. Schwefeloxide entstehen bei der Verbrennung schwefelhaltiger Brennstoffe. Dies sind hauptsächlich Stein- und Braunkohle sowie schwefelhaltige Heizöle. Derzeit gibt es etwa 15 bis 20 großtechnisch entwickelte und eingesetzte Verfahren zur Rauchgasentschwefelung.

Unter den Verfahren zur Rauchgasentschwefelung hat sich insbesondere bei Kraftwerken ein Nassverfahren durchgesetzt, bei dem die Schwefeloxide mit einem flüssigen Waschmittel aus dem Rauchgas ausgewaschen werden. Als Waschmittel wird oftmals eine Kalksuspension verwendet, das ist in Wasser fein verteilter Kalk (Kalziumkarbonat). Alternativ wird auch Kalkmilch verwendet, das ist in Wasser gelöstes Kalziumhydroxid, das durch Löschen von gebranntem Kalk mit Wasser entsteht. Das Rauchgas aus der Feuerung wird zunächst in einem Elektro- oder Gewebefilter entstaubt und anschließend von unten durch einen Waschturm geleitet und darin von oben mit Waschflüssigkeit besprüht. Dabei lösen sich die gasförmigen Schwefeloxide in der Waschflüssigkeit. Durch die Reaktion von Schwefeldioxid mit dem Kalk entstehen Kalziumsulfid und Kohlendioxid. Bei der Verwendung von Kalziumhydroxid entsteht ebenfalls Kalziumsulfid, aber kein Kohlendioxid. Unter dem Aspekt des Klimaschutzes macht dies aber keinen Unterschied, da bereits beim Brennen des Kalks zu Branntkalk eine entsprechende Menge an Kohlendioxid freigesetzt wird.

Im unteren Teil des Waschturms sammelt sich die mit Kalziumsulfid beladene Waschflüssigkeit. Durch Einblasen von Luft in die Flüssigkeit wird das Kalziumsulfid mit Luftsauerstoff zu Kalziumsulfat (Gips) oxidiert. Dadurch entsteht eine Gipssuspension. Nach Entzug des Wassers fällt Gips mit ca. 10 % Restfeuchte in rieselfähiger Form an, der als Einsatzmaterial an die Baustoffindustrie abgegeben werden kann.

Der Abscheidegrad beim Schwefeldioxid liegt in der Größenordnung von 95 %. Die durch die Wäsche abgekühlten gereinigten Rauchgase werden dann auf die vorgeschriebene Mindesttemperatur von 75 °C aufgeheizt und über einen Tropfenabscheider durch den Schornstein oder einen Kühlturm abgeleitet.

Eine solche Entschwefelungsanlage entspricht technisch und auch hinsichtlich der Abmessungen einer chemischen Produktionsanlage. Der Flächenbedarf hat die Größe eines halben Fußballfeldes und die Bauhöhe der Anlage kann bis zu 50 m betragen.

Außer Schwefeldioxid werden in Rauchgasentschwefelungsanlagen auch andere saure Schadgase wie Chlorwasserstoff (HCl) und Fluorwasserstoff (HF) aus dem Rauchgas entfernt.

2.2 Anlagen zur Rauchgasentstickung

Die Rauchgasentstickungsanlage (DeNO_x) ist eine Einrichtung zur Entfernung von Stickstoffoxiden (Stickstoffmonoxid (NO) und Stickstoffdioxid (NO₂)) aus dem Abgas von Feuerungsanlagen wie Kraftwerken und Müllverbrennungsanlagen. Stickstoffoxide (Stickoxide, NO_x) entstehen bei allen Verbrennungsvorgängen aus dem in der Verbrennungsluft enthaltenen Stickstoff (N₂).

Bei der Rauchgasentstickung durch Primärmaßnahmen wird das Entstehen von Stickoxiden beim Verbrennungsvorgang so weit wie möglich unterdrückt.

Bei den Sekundärmaßnahmen handelt es sich dagegen um Abscheideverfahren, mit denen die im Rauchgas vorhandenen Stickstoffoxide durch chemische Reaktion mit einem Reduktionsmittel in elementaren Stickstoff umgesetzt werden.

Die Bildung von Stickstoffoxiden (NO_x) beim Verbrennungsprozess wird vor allem durch eine hohe Verbrennungstemperatur, hohen Sauerstoffgehalt im Verbrennungsbereich sowie lange Verweildauer der verbrennenden Stoffe im Bereich der Flamme gefördert. Die primären Maßnahmen sollen diesen Einflussfaktoren entgegenwirken. So werden durch die Rückführung von Rauchgas in die Brennzone der Sauerstoffgehalt und gleichzeitig die Verbrennungstemperatur herabgesetzt. Die „Luftstufung“, d.h. die Zuführung der Verbrennungsluft in mehreren Stufen, wirkt in der gleichen Richtung. Durch diese Art der Luftzufuhr wird der Sauerstoffgehalt am Beginn der Verbrennungszone herabgesetzt und durch die damit verbundene Ausweitung des Verbrennungsbereichs ebenfalls eine Erniedrigung der Verbrennungstemperatur erreicht. Schließlich kann man auch noch den Brennstoff in mehreren (meistens zwei) Stufen in den Verbrennungsraum geben, wodurch man ähnlich wie bei der Luftstufung Zonen mit unterschiedlichen Brennstoff-Luft-Verhältnissen schafft, die ebenfalls eine Verminderung der Stickoxidbildung bewirken.

Große Feuerungsanlagen – wie Kraftwerke, Heizwerke oder Müllverbrennungsanlagen – sind heute in der Regel mit sekundären Maßnahmen zur Entfernung der Stickoxide aus dem Abgas ausgestattet.

Es gibt eine Reihe unterschiedlicher Verfahren zur Abscheidung von Stickoxiden aus dem Abgas. Am weitesten verbreitet ist die selektive Reduktion der Stickoxide mit Ammoniak. Diese chemische Reaktion kann mit Katalysator (SCR, selective catalytic reduction) oder auch ohne Katalysator (SNCR, selective non catalytic reduction) durchgeführt werden.

Wenn kein Katalysator verwendet wird, benötigt die Reduktionsreaktion eine Temperatur zwischen 800 und 1000 °C. Der obere Bereich des Kesselzugs darf keinen zu großen Querschnitt haben, damit dieser bei einer seitlichen Eindüsung von Ammoniakwasser vollständig abgedeckt werden kann. Das Verfahren ohne Katalysator hat aber den Nachteil, dass der Abscheidegrad für Stickoxide niedriger ist und der Gehalt an nicht umgesetztem Ammoniak (Ammoniakschlupf) höher ist als bei dem Verfahren mit Katalysator.

Deshalb ist heute das Verfahren mit Katalysator bei großen Anlagen das am stärksten verbreitete Verfahren. Der Katalysator ermöglicht die Reaktion schon im Temperaturbereich von 200 bis 450 °C. Zudem lassen sich mit diesem Verfahren Entstickungsgrade von über 95 % erreichen und die Emissionen an nicht umgesetztem Ammoniak sind deutlich niedriger.

2.3 Techniken zur Entstaubung von Abgasen

Die älteste Abgasreinigungseinrichtung überhaupt ist die Entstaubung. Zum einen, da staubförmige Emissionen ab einer bestimmten Konzentration sichtbar sind und die Verschmutzung der Luft somit direkt erkennbar wird. Zum anderen muss verhindert werden, dass sich Staubemissionen in der Umgebung eines Industriebetriebes als Staubbiederschlag auf Autos und an Gebäuden wieder finden.

Mit der Diskussion um die Einhaltung der Grenzwerte für PM10-Feinstaub in der Atemluft kommt der Verringerung von staubförmigen Emissionen eine besondere Bedeutung zu.

Bei den verfügbaren Techniken zur Abscheidung von Stäuben aus Abgasen werden verschiedene Verfahren unterschieden.

- **Mechanische Staubabscheidung:**
Diese beruht auf der Abscheidung der Staubpartikel durch die Schwerkraft oder Fliehkraft in Absatzkammern oder Zyklonen.
- **Nassentstaubung:**
Die Staubpartikel werden in einem Wäscher an feine Wassertröpfchen gebunden und mit diesen aus dem Gas abgetrennt.
- **Filtrationsentstaubung in einem Schlauchfilter:**
Die Staubpartikel werden an einem Filtermedium abgeschieden, während das Abgas das Filtermedium durchströmt.
- **Elektroentstaubung in einem Elektrofilter:**
Dazu werden die Staubteilchen elektrisch aufgeladen und in einem elektrischen Feld von der entgegengesetzt aufgeladenen Elektrode angezogen und auf dieser abgeschieden.

2.4 Techniken zur Entfernung von organischen Verbindungen aus Abgasen

Aus organischen Verbindungen entsteht zusammen mit Stickstoffdioxid und Sonnenlicht Ozon. Um die Bildung von bodennahem Ozon zu verringern, müssen Emissionen der Vorläufersubstanzen gemindert werden. In Lacken und Farben wurden organische Lösemittel weitgehend durch Wasser substituiert. Wenn dies nicht möglich war oder wenn im Bereich der Industrie Abgase entstehen, die mit organischen Verbindungen beladen sind, dann müssen diese aus dem Abgas entfernt werden.

Dazu stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung:

- **Adsorption auf Feststoffen:**
Adsorption organischer Stoffe oder Lösemittel auf einem geeigneten Adsorptionsmittel, z. B. Aktivkohle oder Zeolithe. Dazu muss das adsorbierte Lösemittel in regelmäßigen Abständen vom Adsorptionsmittel desorbiert werden.
- **Abgaswäsche:**
Das Abgas wird mit Wasser oder einem geeigneten hochsiedenden organischen Lösemittel gewaschen. Bei der Wäsche mit Wasser werden die abgeschiedenen organischen Verbindungen zusammen mit dem Abwasser entsorgt. Wenn hochsiedende Lösemittel als Waschmittel verwendet werden, können die abgeschiedenen organischen Verbindungen durch Destillation zurückgewonnen werden.
- **Thermische Nachverbrennung:**
Das Abgas wird zusammen mit einem Brennstoff, in der Regel Erdgas, in einer Brennkammer verbrannt.
- **Katalytische Nachverbrennung:**
Das Abgas wird über einen Katalysator geführt. Auf diesem verbrennen die organischen Inhaltsstoffe, ohne dass ein Brennstoff zugeführt werden muss.

3 ABGASGESETZGEBUNG UND ABGASBEHANDLUNG BEI KRAFTFAHRZEUGEN

Durch die Verbrennung von Kraftstoffen in Otto- und Dieselmotoren entstehen die Schadstoffe Kohlenmonoxid, organische Verbindungen, Stickoxide und Dieselruß. Aus dem früher verwendeten bleihaltigen Benzin, dem zur Verbesserung der Klopfestigkeit Bleitetraethyl beigemischt wurde, resultierten Bleiemissionen.

Mit der Verringerung der Emissionen aus Industrieanlagen verlagerte sich der Schwerpunkt der Luftreinhaltemaßnahmen auf die verkehrsbedingte Luftbelastung. Insbesondere die Luftbelastung durch Stickoxide in den Innenstädten ist zu einem großen Teil durch den Straßenverkehr verursacht und kann somit nur durch Maßnahmen beim Kraftfahrzeugverkehr verringert werden.

Die ersten einheitlichen Abgasvorschriften in der Europäischen Gemeinschaft (EG) traten 1970 in Kraft. Begrenzt wurden die Emissionen von Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffen. 1977 wurden die Stickstoffoxide als zusätzlich zu begrenzende Abgasinhaltsstoffe eingeführt. Die Einhaltung dieser Grenzwerte wurde bei der Zulassung neuer Fahrzeugtypen geprüft. Eine Abgasnachbehandlung war nicht erforderlich.

Grenzwerte für Partikel (Ruß) aus Dieselmotoren wurden 1988 eingeführt. Ebenfalls 1988 erfolgte die Festlegung von Grenzwerten für Lastkraftwagen und Busse. Eine weitere Verschärfung ergab sich für die Testabläufe zur Prüfung der Einhaltung der Grenzwerte.

Tab. 3: Abgaswerte für PKW mit Ottomotor in mg/km

Jahr	1992	1996	2000	2005	2010	2015
Schadstoff	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
Partikel	-	-	-	-	5*	5*
NO _x	-	-	150	80	60	60
CO	3.160	2.200	640	500	500	500
HC+NO _x	1.130	500	-	-	-	-
HC			200	100	100	100

* Direkteinspritzer

Partikel: Partikelmasse (particulate mass)

NO_x: Masse der Stickstoffoxide, angegeben als Stickstoffdioxid (NO₂)

CO: Masse des Kohlenmonoxids

HC+NO_x: Summe der Kohlenwasserstoffe und der Stickstoffoxide

HC: Kohlenwasserstoffe (hydrocarbons)

Tab. 4: Abgaswerte für PKW mit Dieselmotor in mg/km

Jahr	1992	1996	2000	2005	2010	2015
Schadstoff	Euro 1	Euro 2	Euro 3	Euro 4	Euro 5	Euro 6
Partikel	180	80/100*	50	25	5	5
NO _x	-	-	500	250	180	80
CO	3.160	1.000	640	500	500	500
HC+NO _x	1.130	700/900*	560	300	230	170

* Direkteinspritzer

Partikel: Partikelmasse (particulate mass)

NO_x: Masse der Stickstoffoxide, angegeben als Stickstoffdioxid (NO₂)

CO: Masse des Kohlenmonoxids

HC+NO_x: Summe der Kohlenwasserstoffe und der Stickstoffoxide

Tab. 5: Abgaswerte für LKW in g/kWh

Jahr	1992	1996	2000	2005	2010	2015
Schadstoff	Euro I	Euro II	Euro III	Euro IV	Euro V	Euro VI
Partikel	0,4	0,15	0,1	0,02	0,02	0,01
NO _x	9	7	5	3,5	2	0,5
CO	4,9	4	2,1	1,5	1,5	1,5
HC	1,23	1,1	0,66	0,46	0,46	0,46
NH ₃						10 (ppm)

Partikel: Partikelmasse (particulate mass)

NO_x: Masse der Stickstoffoxide, angegeben als Stickstoffdioxid (NO₂)

CO: Masse des Kohlenmonoxids

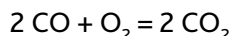
HC+NO_x: Summe der Kohlenwasserstoffe und der Stickstoffoxide

NH₃: Ammoniak, Grenzwert in ppm

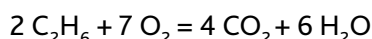
3.1 Dreibegekatalysator bei PKW mit Ottomotor

Der Dreibegekatalysator wandelt die Schadstoffe Kohlenmonoxid und organische Verbindungen durch Oxidation in Kohlendioxid und Wasser um. Stickoxide werden durch Reduktion mit Kohlenmonoxid in Stickstoff und Kohlendioxid umgewandelt:

Oxidationsreaktion mit Platinkatalysator

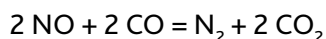


Kohlenstoffmonoxid wird mit Sauerstoff zu Kohlendioxid umgesetzt.



Kohlenwasserstoffe reagieren mit Sauerstoff zu Kohlendioxid und Wasser.

Reduktionsreaktion mit Rhodiumkatalysator



Stickstoffmonoxid reagiert mit Kohlenstoffmonoxid zu Stickstoff und Kohlendioxid.

Der Katalysator besteht aus einem stahlummantelten Keramikkörper, dessen mit Platin, Rhodium oder Palladium beschichtete Bohrungen (ca. 8000 Kanäle) von den Abgasen durchströmt werden. Die Oberfläche des Katalysators entspricht der Fläche von ca. 5 Fußballfeldern. Jeder Katalysator enthält etwa 2–3 Gramm der teuren Edelmetalle. PKW mit Katalysator benötigen bleifreies Benzin, da der Katalysator durch Bleiverbindungen im Benzin unwirksam (vergiftet) würde.

Der Katalysator wird nach dem Kaltstart möglichst schnell durch die Motorabgase aufgeheizt. Bei Temperaturen oberhalb von 250 °C beginnt die Umwandlung der Schadstoffe. Im Bereich von 400 bis 800 °C wird der höchste Wirkungsgrad erreicht.

3.2 Ungeregelter Dreivegeekatalysator ab dem Jahr 1985 bei PKW mit Ottomotor

Der Begriff „ungeregelter Katalysator“ bedeutet, dass der Sauerstoffgehalt im Abgas nicht durch eine Motorsteuerung reguliert wird, sondern je nach Lastzustand des Motors variieren kann. Die Umsetzungsgrade der Schadstoffe sind vom Sauerstoffgehalt im Abgas abhängig. Ein hoher Sauerstoffgehalt im Abgas hat eine schlechtere Umsetzung der Stickoxide zur Folge. Bei niedrigen Sauerstoffgehalten werden Kohlenmonoxid und Kohlenwasserstoffe ungenügend oxidiert.

Die im Jahr 1985 festgelegten Abgasgrenzwerte für PKW mit Ottomotoren waren auf den Hubraum bezogen und erforderten nicht zwingend den Einbau von geregelten Dreivegeekatalysatoren, sondern konnten auch mit motorischen Maßnahmen oder mit unregelmäßigem Dreivegeekatalysatoren eingehalten werden. Hinzu kam, dass in den Jahren nach der Grenzwertfestlegung aufwendige Motorsteuerungen und Einspritzsysteme noch nicht ausreichend verfügbar waren. Deshalb haben viele Hersteller in ihren kleineren Modellen entweder auf den Katalysator verzichtet oder einen unregelmäßigem Dreivegeekatalysator eingebaut. Auch beim steuerlich geförderten nachträglichen Einbau wurden überwiegend unregelmäßige Dreivegeekatalysatoren verwendet.

Der Einbau von unregelmäßigem Abgaskatalysatoren war zeitlich begrenzt, denn die Festlegung strengerer Abgasgrenzwerte für PKW mit Benzinmotor ab dem Jahr 1993 erforderte den Einsatz von Dreivegeekatalysatoren zusammen mit einer Regelung des Sauerstoffgehalts im Abgas.

3.3 Geregelter Dreivegeekatalysator bei PKW mit Ottomotor

Die Einführung von auf den Hubraum bezogenen Abgasgrenzwerten für PKW mit Ottomotor im Jahr 1985 erforderte für Motoren mit mehr als zwei Litern Hubraum den Einbau eines geregelten Dreivegeekatalysators. Dieser hat für alle Schadstoffe einen Umwandlungsgrad von etwa 90–98 %.

Spätestens mit der Einführung der Euro-1-Abgasnorm im Jahr 1993 wurde die Verwendung von geregelten Dreivegeekatalysatoren unabhängig vom Hubraum für alle PKW unumgänglich. Zusätzlich wurden bordseitige Kontrollsysteme eingeführt (On-Board-Diagnosesysteme -OBD-), um Fehlfunktionen zu erkennen und das Versagen der Abgasreinigung zu überwachen. Zudem wurden die Verdunstungsemissionen von Kraftstoffdämpfen begrenzt.

Ab dem Jahr 1993 wurden sowohl die Abgasgrenzwerte als auch die zu absolvierenden Prüfzyklen für Neufahrzeuge mit Benzinmotor durch die Weiterentwicklung der Europäischen Abgasnormen für PKW immer weiter verschärft.

3.4 Diesel-Oxidationskatalysator

Diesel-Oxidationskatalysatoren werden mit der Einführung der Euro-2-Abgasnorm im Jahr 1996 in Diesel-PKW eingebaut. Der Diesel-Oxidationskatalysator wandelt Kohlenmonoxid und organische Verbindungen durch Oxidation in Kohlendioxid und Wasser um. Die ausgestoßene Partikelmasse wird ebenfalls reduziert.

Im Diesel-Oxidationskatalysator wird auch das im Abgas enthaltene Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid oxidiert, das wiederum die Verbrennung (Oxidation) der in Dieselpartikelfiltern abgeschiedenen Rußpartikel bewirkt.

3.5 Dieselpartikelfilter

Dieselmotoren emittieren neben den gasförmigen Schadstoffen Kohlenmonoxid, organischen Verbindungen und Stickstoffoxiden auch Rußpartikel. Diese entstehen aufgrund der Kraftstoffeigenschaften und des Verbrennungsverfahrens und bestehen hauptsächlich aus Ruß und unverbrannten Kohlenwasserstoffen.

Da diese Partikel in Verdacht stehen, eine krebserzeugende Wirkung zu haben und zudem zur Feinstaubbelastung in den Städten beitragen, kommt der Abscheidung dieser Partikel aus dem Abgas eine große Bedeutung zu.

Beim geschlossenen System wird das Abgas bei der Durchdringung einer porösen Filterwand gefiltert. Die Partikel bleiben dabei bei Oberflächenfiltern hauptsächlich an der Oberfläche der Filterwand hängen oder verbleiben bei Tiefenfiltration im Inneren der Filterwand. Durch die Ablagerung der Partikel an der Oberfläche oder im Inneren der Filterwand steigt der durch den Abgasvolumenstrom erzeugte Differenzdruck über den Filter an. Wenn aufgrund der eingelagerten Partikelmasse ein bestimmter Schwellenwert erreicht wurde, wird durch die Motorsteuerung die Regeneration des Filters eingeleitet. Der Wirkungsgrad der geschlossenen Filtersysteme liegt bei über 95 %.

Bei PKW hat sich die katalytisch unterstützte Regeneration etabliert. Die Dieselpartikelfilter sind wie ein Oxidationskatalysator katalytisch beschichtet und bewirken bei genügend hohen Temperaturen von 350 bis 500 °C und ausreichend hohen Konzentrationen von Stickstoffdioxid eine permanente Verbrennung der Rußpartikel zu Kohlendioxid.

Bei Betrieb mit geringer Last, z. B. im Stadtverkehr, werden viele Rußpartikel aufgrund der niedrigeren Abgastemperatur nicht direkt verbrannt, sondern im Filter abgeschieden. Nach Erreichen einer bestimmten Filterbeladung erfolgt die aktive Regeneration durch Erhöhung der Abgastemperatur auf 600 °C durch die Nacheinspritzung von Dieseldieselkraftstoff.

Beim offenen System ist eine Regeneration des Filters und somit ein Eingriff in die Motorsteuerung nicht erforderlich. Auch bei diesen Filtern erfolgt weitestgehend die direkte Verbrennung der Rußpartikel auf der katalytischen Beschichtung. Allerdings erfolgt keine dauerhafte Abscheidung der Partikel im Filter. Offene Dieselpartikelfilter haben deshalb im Vergleich zu den geschlossenen Systemen einen weitaus geringeren Wirkungsgrad von 30 bis 50 % und werden in der Regel als Nachrüstfilter verwendet.

Offene Partikelfiltersysteme wurden zur Einhaltung der Partikelgrenzwerte auch in Nutzfahrzeuge eingebaut.

3.6 Speicherkatalysator für Stickoxide

Alle Dieselmotoren und auch einige Ottomotoren arbeiten zur Erhöhung des Motorwirkungsgrades mit einem Sauerstoffüberschuss. Die katalytische Oxidation von Kohlenmonoxid und organischen Verbindungen ist im herkömmlichen Dreiwegekatalysator weiterhin möglich. Da die katalytische Reduktion der Stickoxide nur in einem stöchiometrischen oder fetten Abgasgemisch möglich ist, werden diese zunächst in einem Speicherkatalysator zwischengespeichert.

Die Zwischenspeicherung der Stickstoffoxide erfolgt in einem Katalysator mit einer NO_x -Speicherkomponente. Dafür wird ein Erdalkalimetall wie Barium verwendet. Im Magerbetrieb werden die Stickoxide im sauerstoffreichen Abgas durch den Edelmetallkatalysator zu Stickstoffdioxid aufoxidiert und dann als Bariumnitrat im Katalysator absorbiert und somit aus dem Abgasstrom entfernt. Der Beladungsvorgang des Stickoxid-Speicherkatalysators dauert etwa 60–90 Sekunden und wird durch einen NO_x -Sensor im Abgas überwacht. Die Regeneration des beladenen Stickoxid-Speicherkatalysators erfolgt durch das regelmäßige kurzzeitige „Anfetten“ des Abgases durch eine Mehr- oder Nacheinspritzung des Kraftstoffs für einen Zeitraum von etwa zwei Sekunden. Dabei laufen die Reaktionen in der entgegengesetzten Richtung ab. Die Stickoxide werden wieder in den Abgasstrom abgegeben und durch die in der fetten Atmosphäre vorhandenen reduzierenden Komponenten wie organische Verbindungen und Kohlenmonoxid zu Stickstoff reduziert.

3.7 Entstickungskatalysator bei Dieselmotoren

Die Einhaltung der ab dem Jahr 2015 gültigen Euro-6-Grenzwerte bei PKW mit Dieselmotor ist nur mit aufwendigen Abgasreinigungstechniken möglich. Dabei kommt der „Selektiven katalytischen Entstickung (SCR-Verfahren)“ eine besondere Bedeutung zu. Bei diesem Verfahren wird kontinuierlich eine wässrige Harnstofflösung in den Abgasstrom eingespritzt. Diese hydrolysiert zu Ammoniak und Wasser. Am Katalysator werden dann die Stickstoffoxide Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid mit Ammoniak zu Wasser und Stickstoff umgesetzt.

Das SCR-Verfahren wird bereits in zahlreichen Nutzfahrzeugen eingesetzt, um die Abgas-Grenzwerte nach Euro V und Euro VI zu unterschreiten.

Die Anwendung dieses Verfahrens in PKW befindet sich derzeit in der Entwicklung, einzelne Hersteller bieten bereits PKW mit dieser Abgasreinigungstechnik zur Einhaltung der Euro-5- und Euro-6-Grenzwerte an.

4 IMMISSIONSMESSUNGEN AN DEN ZIMEN-MESSSTATIONEN

Seit dem Jahr 1978 betreibt das Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz in Rheinland-Pfalz das Zentrale Immissionsmessnetz (ZIMEN) mit 33 Messstationen.

Das Messnetz hat die Aufgabe, in Städten und Waldgebieten des Landes die Luftqualität fortlaufend zu überwachen und die langfristige Entwicklung der Luftschadstoffe zu ermitteln. In Städten mit hohem Verkehrsaufkommen wurden straßennahe Luftmessstationen zur Überwachung der Immissionen des Kfz-Verkehrs eingerichtet.

Das ZIMEN dient auch zur Überwachung der Ozonkonzentrationen und damit der aktuellen Information der Bevölkerung über die Überschreitung der Grenzwerte der Ozon-Konzentration in Rheinland-Pfalz.

Das Messnetz ZIMEN ist ein zentral gesteuertes Echtzeitsystem. Die Messgeräte werden von einem stationsinternen Rechner kontrolliert. Die Messergebnisse sind durch telemetrische Übertragung in die Messnetzzentrale in Mainz sofort als Konzentrationseinheiten verfügbar.

Die Messwerte der Luftschadstoffe sowie auch meteorologische Daten sind der Öffentlichkeit über das Internet zugänglich. Über die Website www.luft-rlp.de sind auch Monats- und Jahreszusammenstellungen abrufbar.

Tab. 6: Übersicht der erfassten Parameter

Parameter	Anzahl der Messstationen	Bemerkung
Schwefeldioxid (SO ₂)	20	
Stickstoffoxide: - Stickstoffmonoxid (NO) - Stickstoffdioxid (NO ₂) - Summe Stickoxide (NO _x)	31	
Kohlenmonoxid	18	nicht an Waldmessstationen
Ozon	18	alle sechs Waldmessstationen
PM10-Feinstaub	21	
PM2,5-Feinstaub	11	
Ruß	6	verkehrsnahe Messstationen
- Kohlenwasserstoffe - Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOC) - Methan (CH ₄)	8	
Benzol und Toluol	7	verkehrsnahe Messstationen
Meteorologische Parameter - Temperatur - Feuchte - Niederschlag	16	
Luftdruck	7	

Quelle: ZIMEN Monats- und Jahresberichte

5 ENTWICKLUNG DER SCHADSTOFFIMMISSIONEN AN DEN ZIMEN-MESSSTATIONEN IN RHEINLAND-PFALZ

Für die Erstellung dieses Berichts zur Entwicklung der Immissionsbelastung in Rheinland-Pfalz wurden die Jahresmittelwerte der ZIMEN-Messstationen ausgewertet, um einen Trend über einen langjährigen Zeitraum aufzuzeigen.

Die negativen Auswirkungen der Schadstoff-Emissionen machen sich besonders in verkehrsreichen Innenstädten bemerkbar. Repräsentativ für Rheinland-Pfalz wurden für die Auswertung drei Regionen ausgewählt: Der Großraum Mainz mit sieben Messstationen, die Region Ludwigshafen-Frankenthal mit fünf Messstationen und die Städte Koblenz und Neuwied mit jeweils einer Messstation.

Trotz der stetigen Zunahme des Straßenverkehrs und des industriellen Wachstums dokumentieren die folgenden Abbildungen über den gesamten Untersuchungszeitraum überwiegend rückläufige Schadstoff-Immissionswerte. Die über den gesamten Messzeitraum zu erkennenden jährlichen Schwankungen sind auf den Einfluss unterschiedlicher Wetterlagen zurückzuführen. Windarme Wetterlagen haben beispielsweise eine langsamere Durchmischung der Schadstoffe in der Atmosphäre zur Folge. Hohe Windgeschwindigkeiten hingegen können bei Messungen nahe der Emissionsquelle niedrigere Immissionsbelastungen bewirken.

Die Entfernung der Messstationen zur Emissionsquelle spielt für die Höhe des Messwertes eine entscheidende Rolle und muss bei der Datenauswertung berücksichtigt werden. Begründungen hierzu werden im folgenden Text beschrieben.

Aufgrund der geburtenstarken Jahrgänge der 60er Jahre hat sich zwanzig Jahre später die Zahl der Verkehrsteilnehmer deutlich erhöht. Daher sind zu Beginn der 80er Jahre auffallend hohe, durch Kfz-Abgase bedingte Schadstoffwerte gemessen worden.

Entscheidende Maßnahmen für Schadstoff-Minderungen waren auf dem Verkehrssektor die Einführung der Abgassonderuntersuchung zum 1. April 1985 und des Fahrzeugkatalysators (siehe Kapitel 1.5), in der Industrie die Rauchgasentschwefelung (siehe Kapitel 2.1) und die Entstickung von Feuerungsanlagen (siehe Kapitel 2.2). Im Bereich der privaten Haushalte ist die Einführung der Niedrigtemperaturheizkessel und Brennwertkessel zu nennen. Zu den weiteren Maßnahmen gehören die Entschwefelung von Heizöl und Dieselmotoren, sowie die Gaspendingung beim Betanken von Fahrzeugen.

5.1 Kohlenmonoxid

Kohlenmonoxid wird in die Atmosphäre aus unterschiedlichen Quellen eingetragen. Ein großer Teil ist natürlichen Ursprungs und entstammt dem Algenstoffwechsel. Toxikologisch wirksam sind die aus menschlichen Quellen entstandenen Anteile aus der unvollständigen Verbrennung von Kohlenstoff und kohlenstoffhaltigen Verbindungen in Feuerungsanlagen und Motoren. Die Emissionen aus Kfz-Motoren sind allerdings um ein Vielfaches höher als bei anderen Verbrennungsvorgängen. Daher sind in Bodennähe die Immissionswerte am höchsten.

Die Einführung der Abgassonderuntersuchung (ASU) zum 1. April 1985 für Benzinmotoren (Diesel waren wegen der geringen Kohlenmonoxidemissionen ausgenommen) sorgte über einen Verlauf von gut zehn Jahren für stetig rückläufige Werte. Zum 1. Dezember 1993 ersetzte die Abgasuntersuchung (AU) die ASU. Seitdem werden die Fahrzeuge mit Dieselmotor in die Untersuchung einbezogen. Die nachgewiesene Kohlenmonoxid-Minderung ist auch entscheidend auf die Einführung des Fahrzeugkatalysators zurückzuführen.

Die Messergebnisse der verkehrsnahen ZIMEN-Stationen liegen deutlich höher als die der Stationen in Wohngebieten oder am Stadtrand. Aufgrund der Nähe zur Emissionsquelle erfolgt eine direkte Erfassung der nicht oder nur wenig verdünnten Schadstoffe. Bei den weiter vom Straßenverkehr entfernten Messstationen werden die Schadstoffe in der Luft stärker durchmischt oder durch chemische Reaktionen abgebaut oder verändert, sodass diese am Ort der Messung bereits verdünnt vorliegen. Bei weiter von der Emissionsquelle entfernt liegender Messung von Kohlenmonoxid spielt die Oxidation von Kohlenmonoxid zu Kohlendioxid eine weitere Rolle für geringere Immissionswerte. Aufgrund des geringeren Verkehrsaufkommens am Stadtrand und in Wohngebieten wird in diesen Bereichen weniger Kohlenmonoxid emittiert als an stark befahrenen Straßen.

Mainz

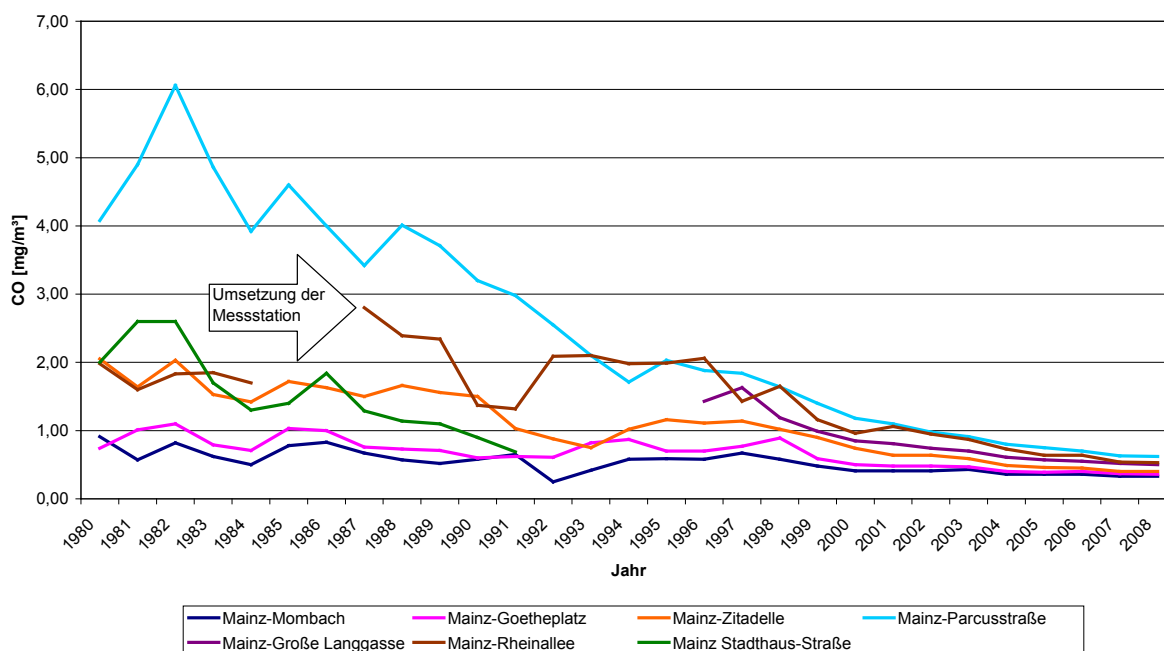


Abb. 1: Kohlenmonoxid-Immissionen in Mainz 1980–2008 (Jahresmittelwerte)

Am deutlichsten zeigt sich die Reduktion der Kohlenmonoxidbelastung bei der verkehrsnahen Messstation Mainz-Parcusstraße. Bezogen auf die gemittelten Werte der 80er Jahre wurde in den Jahren 2007 und 2008 ein Rückgang der Immissionswerte um 90 % ermittelt. Ebenso gut stellt sich die Luftverbesserung bei den Stationen Zitadelle, Rheinallee und Große Langgasse dar. Hier wurden über den Untersuchungszeitraum Reduktionen um 70 % gemessen. Immerhin noch 50–60 % Verbesserung erreichen die Werte der Stationen Goetheplatz und Mombach.

In der Parcusstraße liegt zwischen dem höchsten gemessenen Wert von $6,00 \text{ mg/m}^3$ im Jahr 1982 und dem niedrigsten Wert von $0,62 \text{ mg/m}^3$ im Jahr 2008 eine beachtliche Differenz von $5,44 \text{ mg/m}^3$.

Die Messstationen Parcusstraße und Rheinallee liegen an Straßen mit sehr hohem Verkehrsaufkommen. Daher wurden hier, insbesondere in der Parcusstraße, höhere Kohlenmonoxidwerte gemessen als bei weniger nah an Straßen gelegenen Messstationen. Bei allen Messstationen lässt sich in Abbildung 1 gut erkennen, dass die Maßnahmen zur Reduktion der Kohlenmonoxid-Emission wirkungsvoll waren. Inzwischen pendeln die Werte um ein gleichbleibend niedriges Niveau.

Ludwigshafen

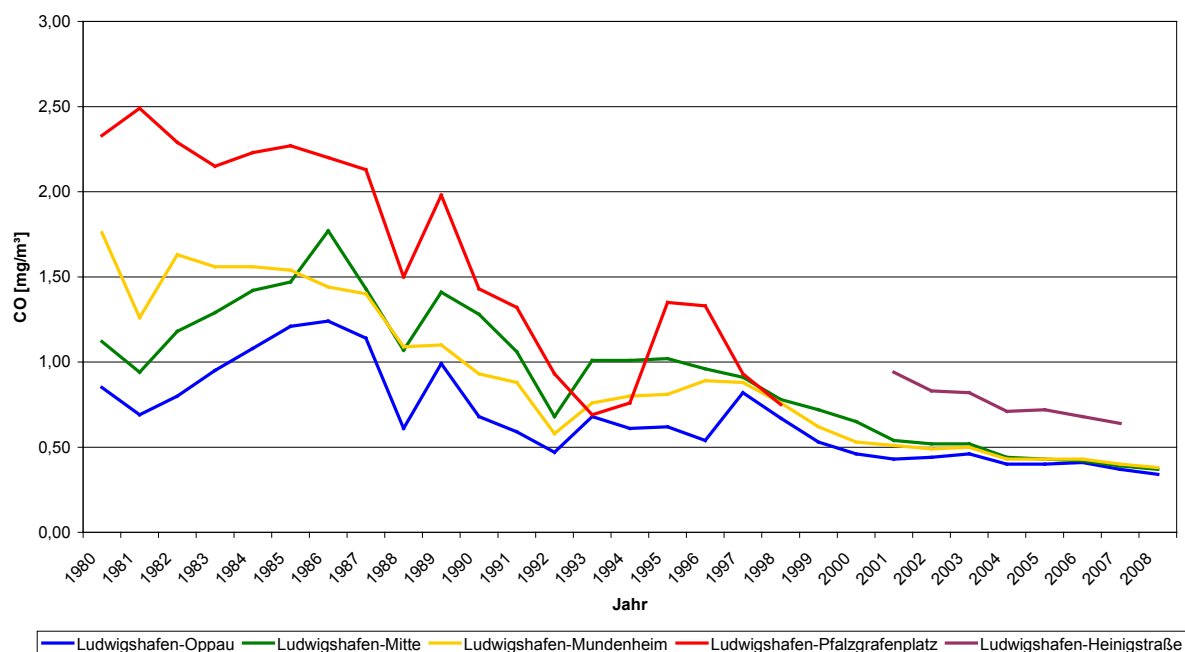


Abb. 2: Kohlenmonoxid-Immissionen in Ludwigshafen 1980–2008 (Jahresmittelwerte)

Im Vergleich der gemittelten Jahresmittelwerte der 80er Jahre und der Jahre ab 2000 haben sich die Immissionswerte in Ludwigshafen an den Stationen Oppau, Mitte, Mundenheim und Pfalzgrafenplatz um ca. 60 % reduziert.

Zwischen dem höchsten Messwert der Station Heinigstraße im Jahr 2001 und dem niedrigsten Wert aus dem Jahr 2007 lässt sich eine Differenz von $0,3 \text{ mg/m}^3$ berechnen.

Im Raum Ludwigshafen wurden im Zeitraum von 1986 bis 1990 fünf Industrieanlagen mit hohen Kohlenmonoxid-Emissionen stillgelegt. Im Diagramm deutlich zu erkennen ist die unmittelbare Wirkung der Stilllegung auf die Immissionswerte durch die deutliche Kohlenmonoxid-Reduktion in den Jahren 1989–1992. In den Jahren ab 1991 dokumentieren die Messwerte sämtlicher Stationen in Ludwigshafen einen mittleren Rückgang der Kohlenmonoxid-Immissionen zwischen 40 und 50 % bezogen auf das Mittel der Jahre 1986 bis 1990.

Koblenz-Neuwied

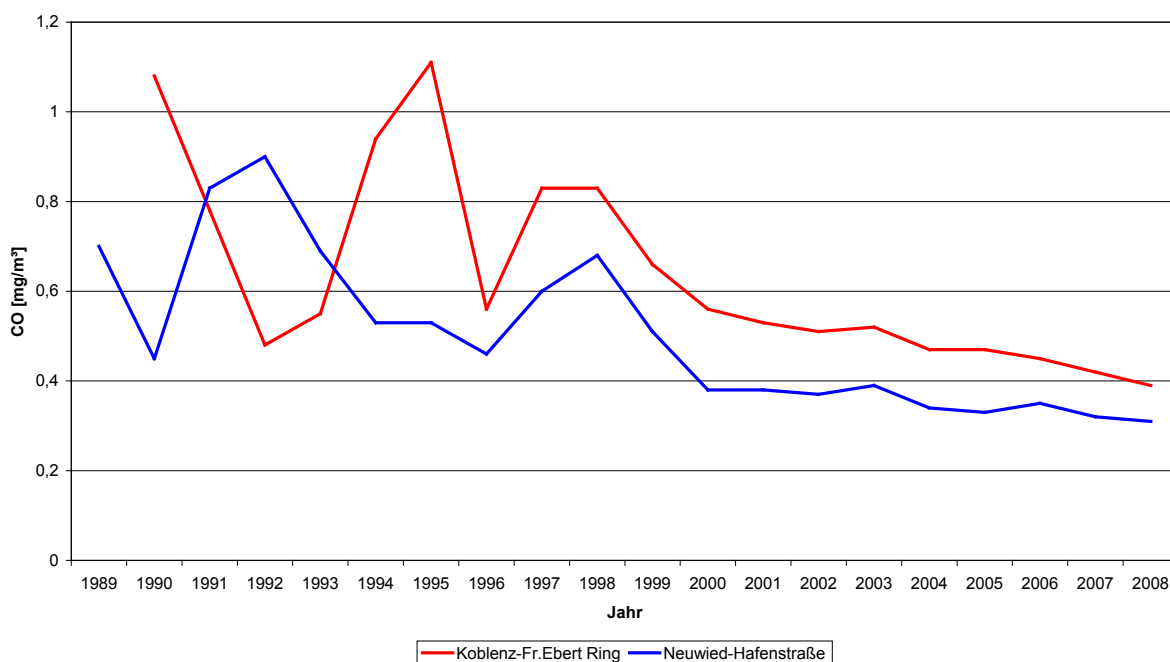


Abb. 3: Kohlenmonoxid-Immissionen Region Koblenz-Neuwied 1989–2008 (Jahresmittelwerte)

Die gemittelten Messwerte ab dem Jahr 2000 haben sich gegenüber den mittleren Werten der 90er Jahre an der Messstation Koblenz-Friedrich-Ebert-Ring um 33 % verringert. Zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Jahresmittelwert liegt eine Differenz von $0,72 \text{ mg/m}^3$. Aus den Messwerten der Station Neuwied-Hafenstraße lässt sich bei gleicher Berechnungsart ein Rückgang um 44 % berechnen. Hier besteht zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Jahresmittelwert einen Differenz von $0,59 \text{ mg/m}^3$.

Trotz der starken Schwankungen der Jahresmittelwerte bis in die 90er Jahre hinein, lässt sich auch in der Region Koblenz-Neuwied über den gesamten Untersuchungszeitraum ein Rückgang der Kohlenmonoxid-Immissionen darstellen.

Wie in allen Abbildungen dieses Kapitels pendeln sich gegen Ende der 90er Jahre (in Koblenz-Neuwied ab dem Jahr 2000) die Immissionswerte um ein gleich bleibend niedriges Niveau ein.

5.2 Stickstoffoxide

Stickstoffoxide sind aufgrund ihrer vielfachen schädlichen Wirkung von besonderer lufthygienischer Bedeutung:

- Reizungen und Schädigung von Schleimhäuten und der Atmungsorgane, insbesondere durch Stickstoffdioxid,
- Schädigung der oberen Schicht von Blättern und Nadeln von Bäumen und weitere pflanzenschädigende Wirkung,

- unter UV-Strahlung photochemische Reaktion zu Ozon,
- Abbau der Ozonschicht in der Stratosphäre durch Stickstoffoxidemissionen hochfliegender Düsenflugzeuge,
- Reaktion zu Salpetersäure (HNO_3) und Entstehung des „Sauren Regens“ mit der Folge der Boden- und Gewässerversauerung,
- Düngewirkung durch Stickstoffeintrag in Böden aus der Atmosphäre.

Stickstoffoxide (Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid) entstehen in Feuerungsanlagen durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe (Gas, Heizöl, Kohle). Ebenso befinden sie sich in den Abgasen der Diesel- und Benzinmotoren.

Stickstoffmonoxid reagiert mit Luftsauerstoff schnell zu Stickstoffdioxid, welches dann weiter zu Nitrat aufoxidiert wird. Stickstoffdioxid hat in der Atmosphäre eine Verweildauer von einigen Tagen und wird bei Regen kaum ausgewaschen.

Als problematisch hat sich die Entwicklung effizienterer Brenner und Motoren erwiesen. Eine bessere Effizienz hatte meist eine Erhöhung der Stickstoffoxidemissionen zur Folge. Trotzdem lassen sich für Stickstoffoxide Emissionsminderungen aufgrund umweltpolitischer Bemühungen feststellen. Bei der größten Emittentengruppe, dem Verkehrsbereich, sind die Reduktionen vor allem auf die Einführung der Abgaskatalysatoren zurückzuführen. Ab dem Jahr 1999 waren mehr als 90 % der Ottomotor betriebenen Kraftfahrzeuge mit einem Katalysator ausgestattet.

Seitens der Industrie erfolgte ab dem Jahr 1987 bis zum Jahr 1994 die Sanierung der Altanlagen auf der Grundlage der TA Luft 1986.

Die folgenden Tabellen und Abbildungen zeigen, dass im Zeitraum von 1990 bis 2000 die Umsetzung der gesetzlichen Maßnahmen zu einer Minderung der Emissionen und somit auch zu einer Verringerung der Immissionsbelastung geführt hat.

5.2.1 Stickstoffmonoxid

Mainz

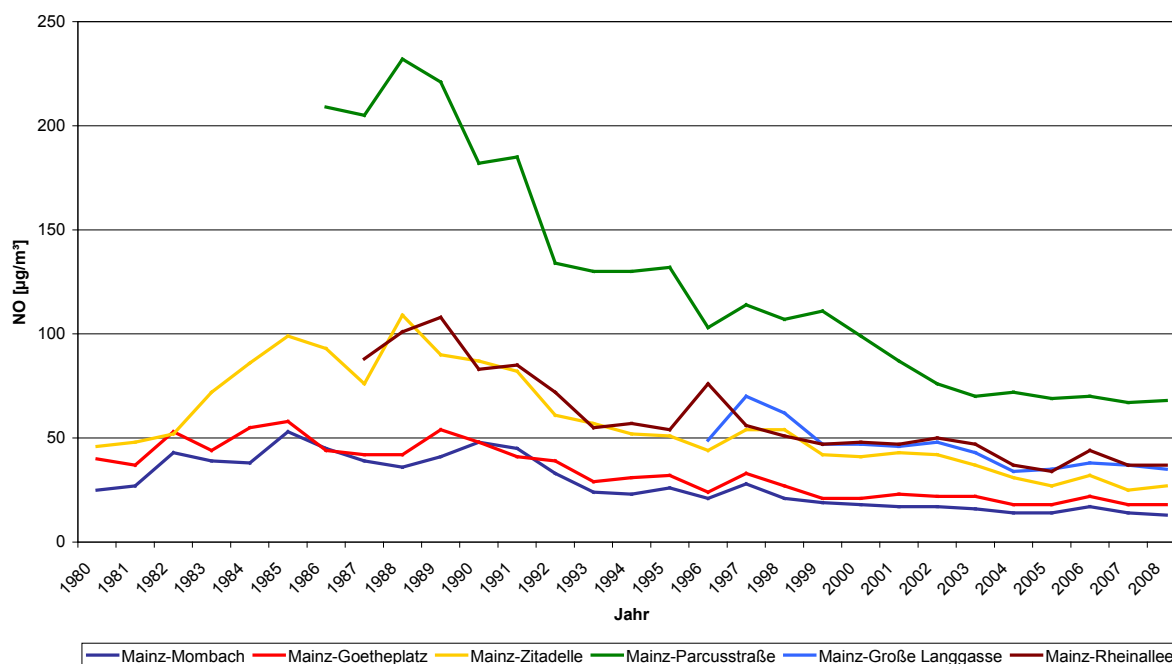


Abb. 4: Stickstoffmonoxid-Immissionen in Mainz 1980–2008 (Jahresmittelwerte)

Am deutlichsten zeigt sich die Reduktion der Stickstoffmonoxid-Belastung bei der verkehrsnahen Messstation Mainz-Parcusstraße. Bezogen auf die gemittelten Werte der 80er Jahre wurde ab dem Jahr 2000 im Mittel ein Rückgang der Immissionswerte um rund 65 % ermittelt. Ebenso gut stellt sich die Luftverbesserung bei den Stationen Zitadelle und Rheinallee dar. Hier wurden über den Untersuchungszeitraum 1980 bis 2008 Reduktionen um knapp 60 % gemessen.

In der Parcusstraße wurde 1988 der höchste Wert mit $232 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Zu dem niedrigsten Wert aus dem Jahr 2007 mit $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ besteht eine Differenz von $165 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Das Diagramm zeigt für die Messwerte der Stationen Mombach und Goetheplatz im Untersuchungszeitraum einen relativ konstanten Verlauf mit nur geringfügigem Rückgang der Stickstoffmonoxid-Belastung. Dies ist auf die größere Entfernung der Stationen zur Emissionsquelle Straße und die erfolgte Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid zurückzuführen. Im Gegensatz hierzu liegen die Messwerte der Station Parcusstraße - der Hauptzufahrtsstraße zur Mainzer Innenstadt - noch in den 90er Jahren aufgrund der direkten Lage zur Emissionsquelle besonders hoch und verbesserten sich im Zuge der Umsetzung der Reduktionsmaßnahmen bis zum Jahr 2008 stetig. Im Vergleich hierzu sind die Stickstoffdioxid-Verläufe in Abbildung 7 zu betrachten. Hier ist im Zusammenhang mit der Entfernung der Messstationen zur Emissionsquelle (Straßenverkehr) ein umgekehrtes Verhalten der Stickstoffdioxidwerte zu den Stickstoffmonoxidmesswerten zu erkennen. Die direkte Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid durch Luftsauerstoff spielt hierbei die entscheidende Rolle. Im Abgas der Dieselmotoren werden Stickstoffoxide als Umsetzungsprodukt des Oxidationskatalysators überwiegend als Stickstoffdioxid freigesetzt. Somit hat sich mit der Einführung des Oxidationskatalysators bei PKW mit Dieselmotor mit Einführung der

Euro-2-Abgasnorm das Verhältnis vom Stickstoffmonoxid in Richtung Stickstoffdioxid verschoben, was wiederum eine entsprechende Verschiebung bei den Immissionsmesswerten für Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid zur Folge hat.

Ludwigshafen-Frankenthal

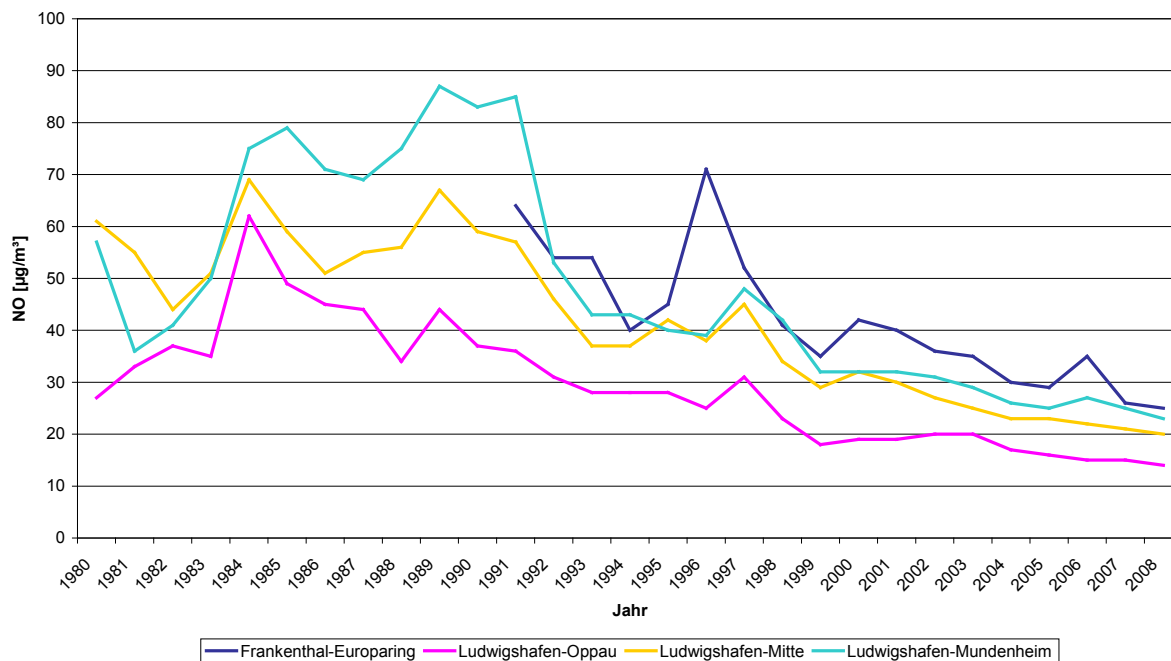


Abb. 5: Stickstoffmonoxid-Immissionen Region Ludwigshafen-Frankenthal 1980–2008 (Jahresmittelwerte)

Bei allen drei Ludwigshafener Messstationen zeigen sich die Reduktionen von Stickstoffmonoxid in ähnlichem Umfang. Im Vergleich der gemittelten Jahreswerte von 2000 bis 2008 zu den mittleren Jahreswerten von 1980 bis 1999 liegen die Verbesserungen bei rund 50 %.

Die Station Frankenthal-Europaring muss hier gesondert betrachtet werden, da hier Messungen erst ab 1991 vorliegen. Im Vergleich der mittleren Jahreswerte ab 2000 zu denen der 90er Jahre liegen die Immissionsreduktionen bei ca. 35 %. Der niedrigere Wert ergibt sich daraus, dass die häufig höher liegenden Werte der 80er Jahre nicht für eine Mitberechnung vorhanden sind.

Der Trend zum Rückgang der Immissionswerte ist bei allen vier Stationen deutlich zu erkennen. Die Station Ludwigshafen-Oppau liegt in der Größenordnung der Messwerte insgesamt unter denen der anderen drei Stationen. Dies erklärt sich aus der Lage der Station am Stadtrand. Die Ludwigshafener Messstationen Mitte, Mundenheim und seit dem Jahr 2001 die Messstation auf dem Mittelstreifen der Heinigstraße, erfassen durch ihre Lage die dem Straßenverkehr entstammenden Stickoxide in unmittelbarer Nähe zur Emissionsquelle. Dies gilt ebenso für die Station Frankenthal-Europaring mit ihrer zentralen Lage im Stadtgebiet.

Koblenz-Neuwied

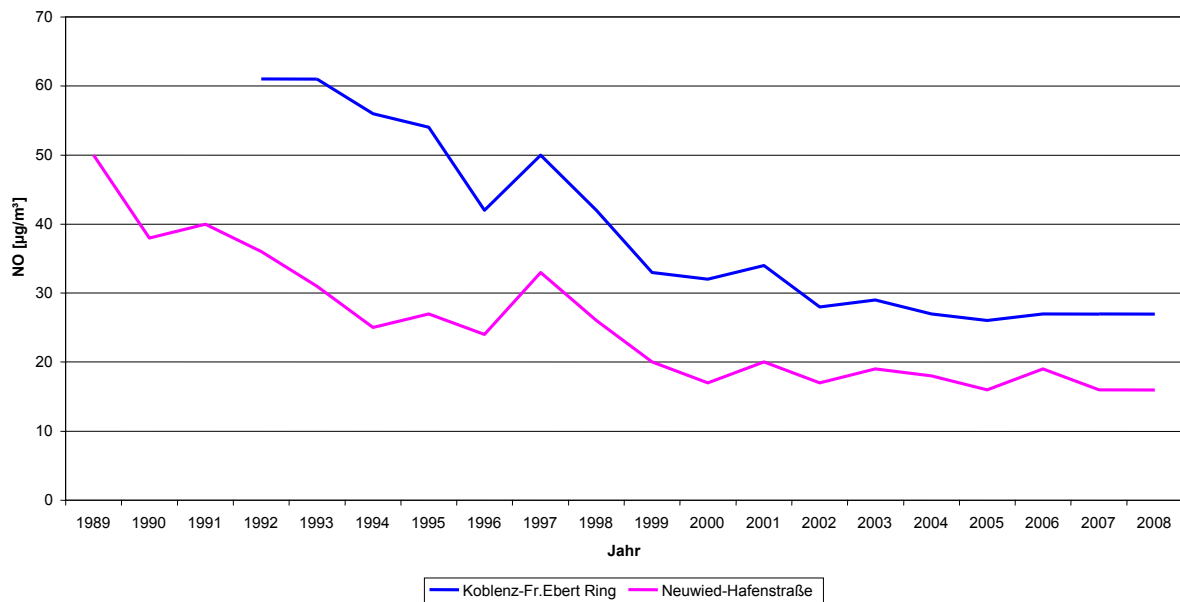


Abb. 6: Stickstoffmonoxid-Immissionen Region Koblenz-Neuwied 1989–2008 (Jahresmittelwerte)

Seit Beginn der 90er Jahre wird an der Messstation am Friedrich-Ebert-Ring in Koblenz und in Neuwied an der Messstation Hafenstraße Stickstoffmonoxid gemessen. Vergleicht man die mittleren Jahreswerte der 2000er Jahre mit dem Mittel der 90er Jahre, kann man in beiden Fällen Verbesserungen von gut 40 % nachweisen. Die Station in Koblenz liegt an einer Hauptverkehrsstraße im Stadtzentrum, die in Neuwied am Stadtrand. Die Nähe zur Haupt-Emissionsquelle Straßenverkehr und die erwie-senen Reduktionen vor allem ab der Mitte der 2000er Jahre beweisen die Wirksamkeit der durchgeführten Maßnahmen in diesem Sektor. Für die Stationen Koblenz-Hohenfelder Straße und Neuwied-Hermannstraße können noch keine Ergebnisse ermittelt werden, da zur Zeit erst drei Jahresmittelwerte vorliegen.

Das Diagramm zeigt bei den beiden ausgewerteten Stationen stark übereinstimmende Jahresverläufe. In der grafischen Darstellung fällt auf, dass im Laufe der 90er Jahre die Messwerte für Stickstoffmonoxid überwiegend kontinuierlich abfallen. Ab den Jahren 1999/2000 bis heute pendeln die Werte auf einem nahezu gleich bleibenden Niveau.

Die Messwerte der Station Koblenz-Friedrich-Ebert-Ring liegen durchschnittlich etwa 40 bis 50 % höher als die der Station Neuwied-Hafenstraße. Die Ursache liegt in erster Linie im höheren Verkehrsaufkommen im Gebiet der Koblenzer Messstation.

5.2.2 Stickstoffdioxid

Mainz

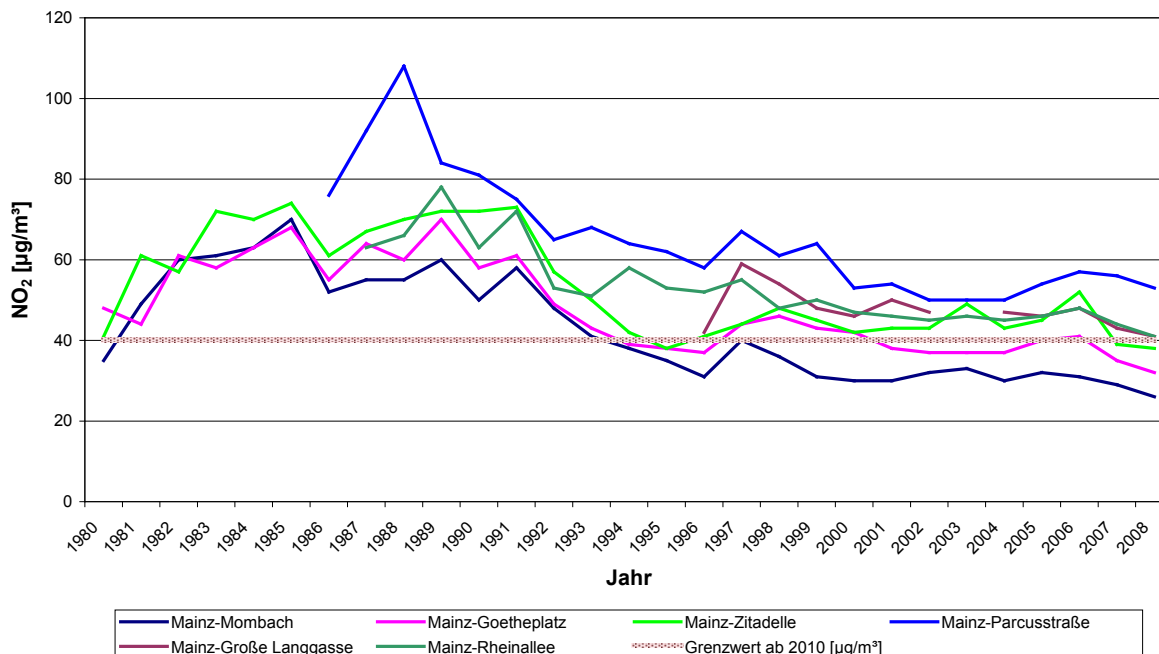


Abb. 7: Stickstoffdioxid-Immissionen in Mainz 1980–2008 (Jahresmittelwerte)

Seit dem Jahr 1980 ist an allen Mainzer Messstationen ein steiler Anstieg der Stickstoffdioxid-Immissionsbelastung zu beobachten. Der höchste Jahresmittelwert wurde im Jahr 1988 mit $108 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der verkehrsnahen Messstation in der Parcusstraße registriert. Seit dem Jahr 1992 zeigen die Stickstoffdioxid-Messwerte eine fallende Tendenz.

In § 3 (4,5) der 22. BImSchV ist der Grenzwert für den Jahresmittelwert, der ab dem Jahr 2010 gilt, mit $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgeschrieben. An der Messstation Mainz-Mombach liegen die Messwerte bereits seit dem Jahr 1993 unter $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Messwerte der Messstationen Goetheplatz liegen seit dem Jahr 2001 unter $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mit Ausnahme des Jahres 2006, als $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert wurden. An der Messstation Mainz-Zitadelle wurden in den Jahren 2007 und 2008 erstmals Werte kleiner als $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert.

Im Gegensatz hierzu werden bei den verkehrsnahen Messstationen in der Parcusstraße (Haupteinfallsstraße zur Mainzer Innenstadt), in der Rheinallee (Hauptverkehrsachse parallel zum Rhein) und in der Großen Langgasse (Altstadttangente) über den gesamten Untersuchungszeitraum Werte größer als $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. In der Parcusstraße liegen die Werte sogar durchgehend über $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aufgrund der hohen Stickstoffdioxidimmissionswerte in der Parcusstraße und den anderen Hauptverkehrsstraßen in Mainz wurde im Jahr 2008 der Luftreinhalte- und Aktionsplan Mainz 2007–2010 erstellt. In diesem sind weitreichende Maßnahmen zur Verringerung der Immissionsbelastung durch Stickstoffdioxid aufgeführt.

Ludwigshafen-Frankenthal

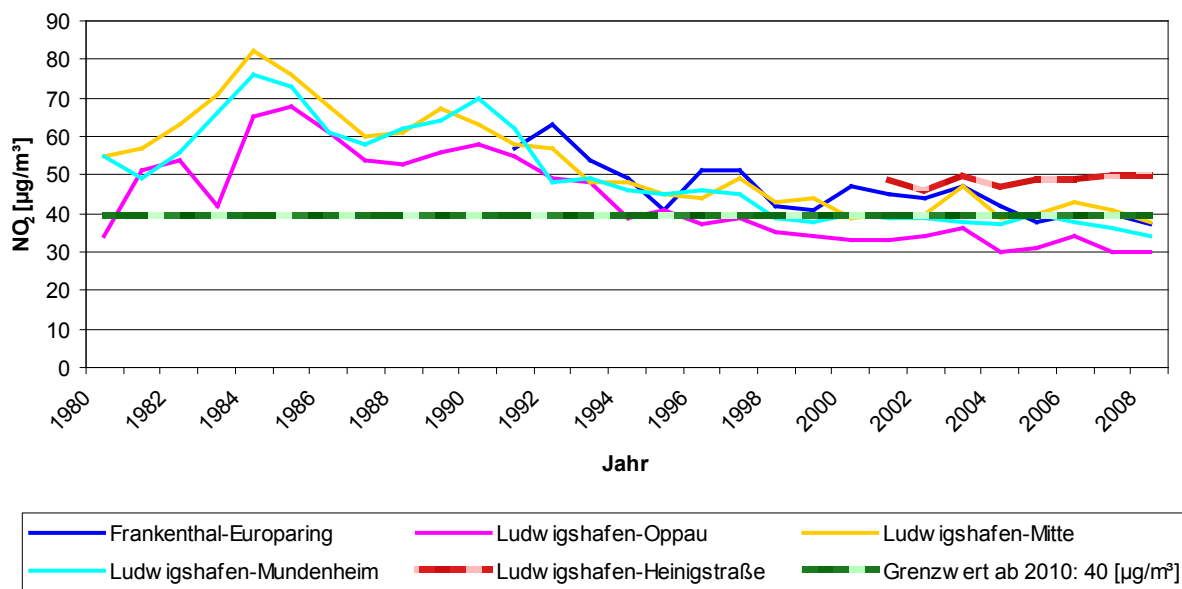


Abb. 8: Stickstoffdioxid-Immissionen Region Ludwigshafen-Frankenthal (Jahresmittelwerte)

Auch die Messstationen in Ludwigshafen und Frankenthal verzeichnen seit dem Jahr 1980 einen steilen Anstieg der Stickstoffdioxid-Immissionsbelastung. Der höchste Jahresmittelwert wurde im Jahr 1984 mit $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an der Messstation in der Mundenheimer Straße registriert. Seit dem Jahr 1992 zeigen die Stickstoffdioxid-Messwerte eine fallende Tendenz.

An der Messstation Ludwigshafen-Oppau werden seit 1996 Stickstoffdioxid-Belastungen von deutlich weniger als $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert. Die niedrigeren Stickstoffdioxid-Immissionen dieser Messstationen begründen sich durch die Stadtrandlage verbunden mit einem geringen Verkehrsaufkommen. Die Messwerte der Messstation Ludwigshafen-Mundenheim liegen seit dem Jahr 1998 knapp unter $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die der Messstation Frankenthal-Europaring liegen erst seit dem Jahr 2005 knapp unterhalb von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Lage der Station Ludwigshafen-Mitte in der Innenstadt spiegelt sich auch in den Messwerten wider. Bis zum Jahr 1999 lagen alle Jahresmittelwerte über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, seit dem Jahr 2000 pendeln die Werte mehr oder weniger um $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Einen Belastungsschwerpunkt bildet die Heinigstraße in Ludwigshafen. An dieser Messstation werden seit dem Jahr 2001 Stickstoffdioxid-Immissionen gemessen. Die Jahresmittelwerte liegen aufgrund der Verkehrsbelastung in der Heinigstraße durchgehend zwischen $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aufgrund der hohen Stickstoffdioxid-Immissionswerte in der Heinigstraße wurde im Jahr 2008 der Luftreinhalte- und Aktionsplan Ludwigshafen 2007-2015 erstellt. In diesem sind weitreichende Maßnahmen zur Verringerung der Immissionsbelastung durch Stickstoffdioxid aufgeführt.

Der Trend über den Untersuchungszeitraum ist bis auf die Heinigstraße bei allen Messstationen ähnlich.

Koblenz-Neuwied

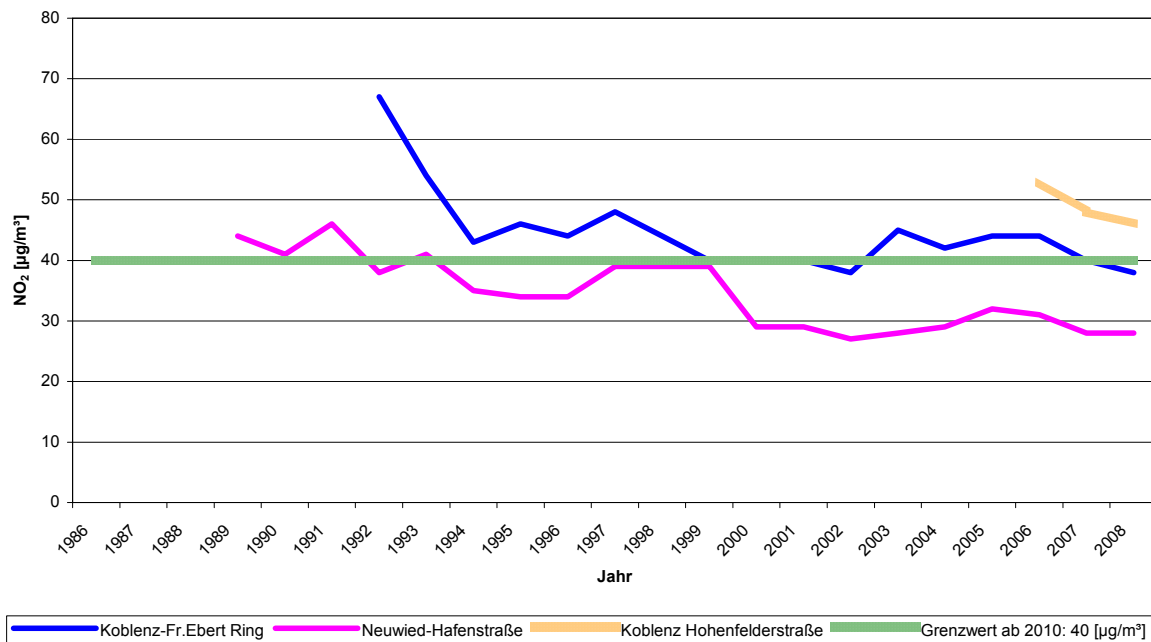


Abb. 9: Stickstoffdioxid-Immissionen Region Koblenz-Neuwied 1986–2008 (Jahresmittelwerte)

Auch in Koblenz spiegeln sich die Messwerte in der unterschiedlichen verkehrsbezogenen Lage der Messstationen wider und verdeutlichen erneut den Straßenverkehr als Hauptemissionsquelle für Stickstoffdioxid.

An der am Stadtrand von Neuwied gelegenen Messstation Neuwied-Hafenstraße wurde der höchste Stickstoffdioxidwert mit $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 1991 gemessen. Der niedrigste Wert wurde im Jahr 2002 gemessen und liegt mit $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ deutlich unter dem ab dem Jahr 2010 gültigen Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Deutlich höher liegen die Werte an der Verkehrsmessstation Koblenz-Friedrich-Ebert-Ring. Der höchste Stickstoffdioxid-Messwert wurde hier im Jahr 1992 mit $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ registriert. Der niedrigste Wert wurde mit $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in den Jahren 2002 und 2008 gemessen.

Einen Belastungsschwerpunkt bildet die Hohenfelderstraße in Koblenz. An dieser Messstation werden seit dem Jahr 2006 Stickstoffdioxid-Immissionen gemessen. Die Jahresmittelwerte liegen aufgrund der hohen Verkehrsbelastung in der Hohenfelderstraße durchgehend zwischen $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Aufgrund der hohen Stickstoffdioxid-Immissionswerte in der Hohenfelderstraße wurde im Jahr 2009 der Luftreinhalteplan Koblenz 2008–2015 erstellt. In diesem sind weitreichende Maßnahmen zur Verringerung der Immissionsbelastung durch Stickstoffdioxid aufgeführt.

Fazit

Die umweltpolitischen Bemühungen zur Reduktion der Emissionen haben auch bei den Immissionen zu einer rückläufigen Tendenz geführt. Diese wird durch die Messwerte der ZIMEN-Stationen in Gebieten mit geringerem Verkehrsaufkommen anschaulich dokumentiert. In Gebieten mit höherem Verkehrsaufkommen, bzw. in direkter Nähe zu stark befahrenen Straßen, werden die Grenzwerte fast erreicht, oder, wie an der Messstation Mainz-Parcusstraße, deutlich überschritten. Eine weitere Umstellung auf Fahrzeuge mit schadstoffreduzierten Abgasen ist bezüglich der Stickstoffoxide unumgänglich. Der Zeitrahmen für die Einhaltung des Grenzwertes der 22. BImSchV für das Jahresmittel ist bis 2010 nicht einzuhalten und sollte bis zum Jahr 2015 unter Durchführung möglicher Maßnahmen verlängert werden.

5.2.3 Vergleich der Immissionswerte von Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid am Beispiel Mainz-Parcusstraße

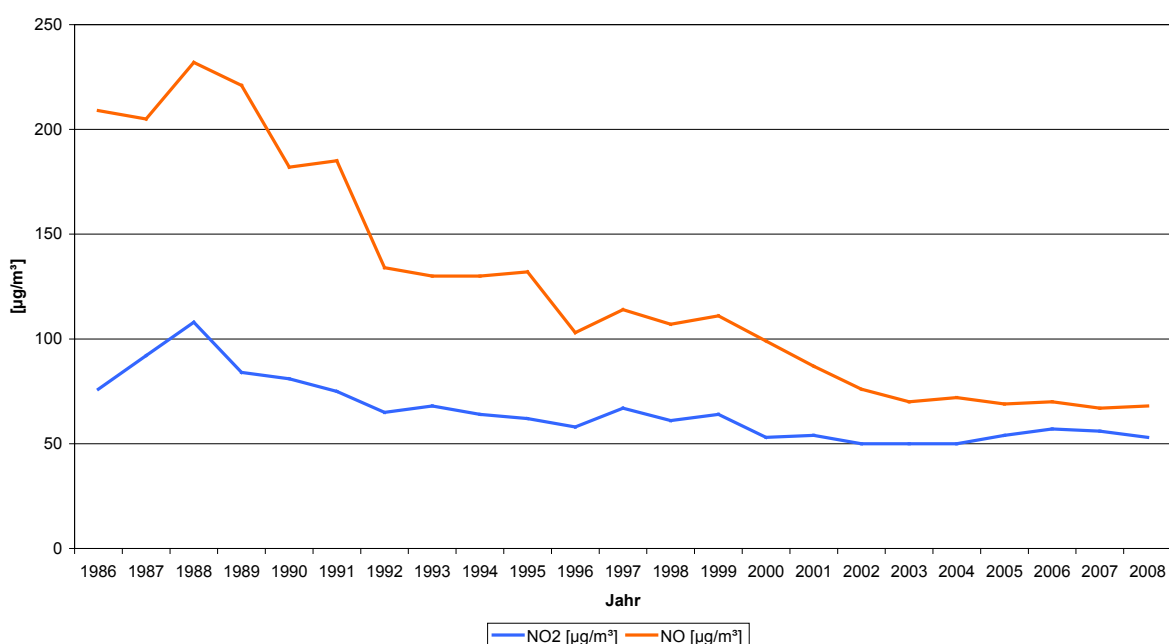


Abb. 10: Vergleich Stickstoffmonoxid- und Stickstoffdioxid-Immissionen Mainz-Parcusstraße

Für diese Betrachtung wurden die Messwerte der ZIMEN-Station Mainz-Parcusstraße herangezogen, da aufgrund der Lage der Station auf einer Verkehrsinsel eine unmittelbare Messung der Abgase aus dem Straßenverkehr erfolgt. Eine Oxidation von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid durch Luftsauerstoff kann somit wegen der Nähe zur Emissionsquelle an dieser Messstation weitgehend ausgeschlossen werden.

Bei der Bewertung der Messergebnisse muss die Einführung des Oxidationskatalysators bei Dieselmotoren zu Beginn der 90er Jahre berücksichtigt werden.

Das Verhältnis von Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid verschiebt sich durch den Oxidationskatalysator im Dieselausgas zugunsten des Stickstoffdioxids. Eine genaue Quantifizierung ist aber nicht möglich.

Im Diagramm erkennt man daher als Trend ab den 90er Jahren eine Zunahme des Stickstoffdioxids im Mischungsverhältnis Stickstoffmonoxid zu Stickstoffdioxid. Die Werte für Stickstoffmonoxid liegen trotzdem grundsätzlich höher als die von Stickstoffdioxid.

5.3 Schwefeldioxid

Schwefeldioxid ist ein Verbrennungsprodukt von Kohle, schwerem Heizöl und anderen schwefelhaltigen Brennstoffen. Kohle und Erdölprodukte können bis zu 4 % Schwefel enthalten. Die Hauptemissionsquellen sind Feuerungsanlagen in der Industrie und der Energiewirtschaft, Gebäudeheizungen sowie der Kraftfahrzeugverkehr (Dieselmotoren).

Der hohe Ausstoß von Schwefeldioxid vor wenigen Jahrzehnten stellte eine erhebliche Umweltbelastung dar. Die schleimhautreizende Wirkung führt zu Veränderungen der Atmungsorgane und zu einer höheren Infektanfälligkeit. Besonders empfindlich reagieren auch Nadelhölzer, Moose und Flechten auf Schwefeldioxid.

In der Luft reagiert Schwefeldioxid zu Schwefelsäure, der Ursache des „sauren Regens“. Dieser war für erhebliche Waldschäden und die Versauerung von Gewässern und Böden verantwortlich. Korrosions- und Verwitterungsschäden an Metallen und Gestein lassen sich auch auf Schwefeldioxid zurückführen. Besonders betroffen hiervon waren in früheren Jahren historische Sandsteingebäude.

Zu den Bestandteilen von Feinstaub (PM10) zählen auch partikelförmige Sulfate.

Auf der Grundlage der 13. BImSchV (1983) und der Einführung der Rauchgasentschwefelung (siehe Kapitel 2.1) in den 80er Jahren wurde eine deutliche Senkung der Schwefeldioxid-Emissionen bewirkt. Auch die vermehrte Nutzung schwefelarmer oder schwefelfreier Brenn- und Kraftstoffe hat in den vergangenen Jahren für einen weiter rückläufigen Trend gesorgt.

Mainz und Ludwigshafen

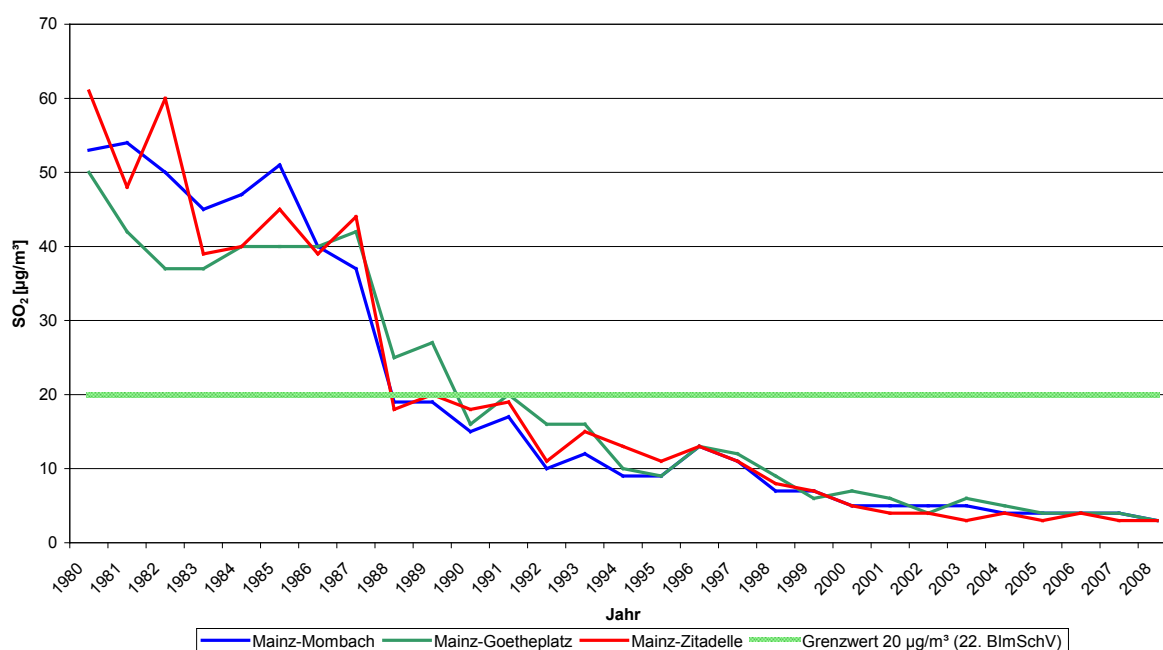


Abb. 11: Schwefeldioxid-Immissionen in Mainz 1980–2008 (Jahresmittelwerte)

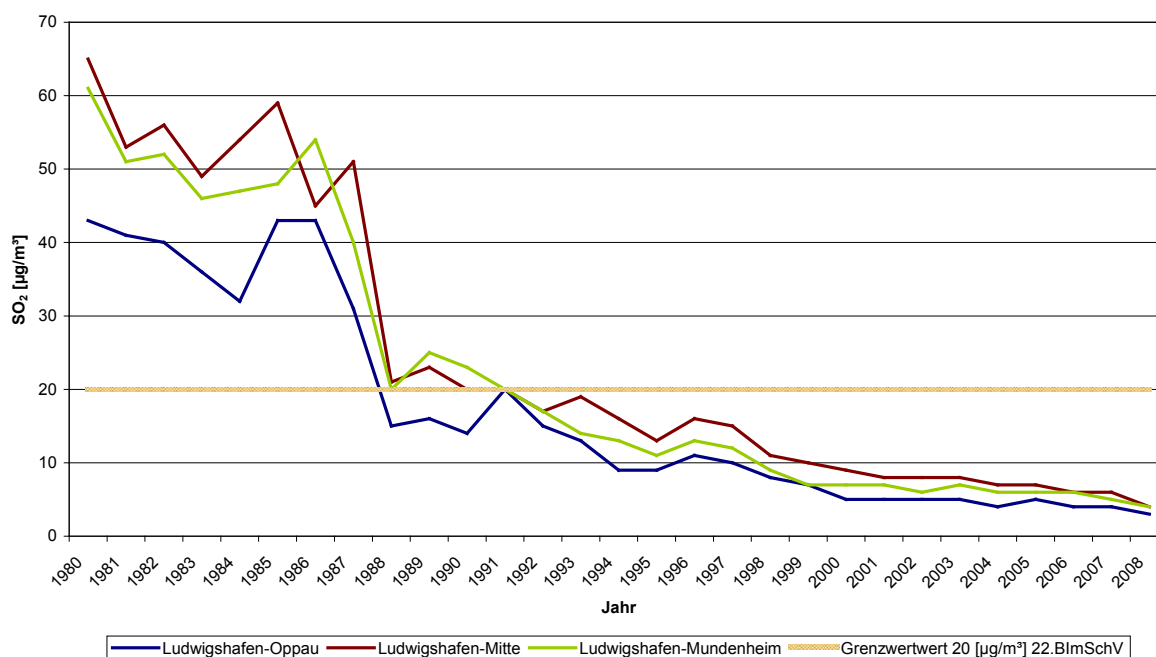


Abb. 12: Schwefeldioxid-Immissionen in Ludwighafen 1980–2008 (Jahresmittelwerte)

Die obigen Abbildungen zeigen für die Regionen Mainz und Ludwighafen ähnliche Verläufe. In allen Fällen sanken gegen Ende der 80er Jahre die Schwefeldioxid-Immissionswerte drastisch.

Die höchste Belastung wurde 1980 in Ludwighafen-Mitte (Innenstadt) mit $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Im Durchschnitt lagen die Werte der anderen Stationen zu Beginn der 80er Jahre bei ca. $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Lediglich in Ludwighafen-Oppau wurden über den gesamten Untersuchungszeitraum etwas niedrigere Werte gemessen. Hier besteht ein Zusammenhang mit der Lage der Station am Stadtrand.

Zu Beginn der 90er Jahre sanken dann bei allen Stationen die Messwerte unter den Grenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (22. BImSchV). In Ludwighafen-Oppau wurde dieser schon 1988 erreicht. In den darauf folgenden Jahren waren die Schwefeldioxid-Immissionen weiterhin langsam aber stetig rückläufig. Die im Jahr 2008 gemessenen Werte lagen zwischen $3\text{--}4 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Koblenz-Neuwied

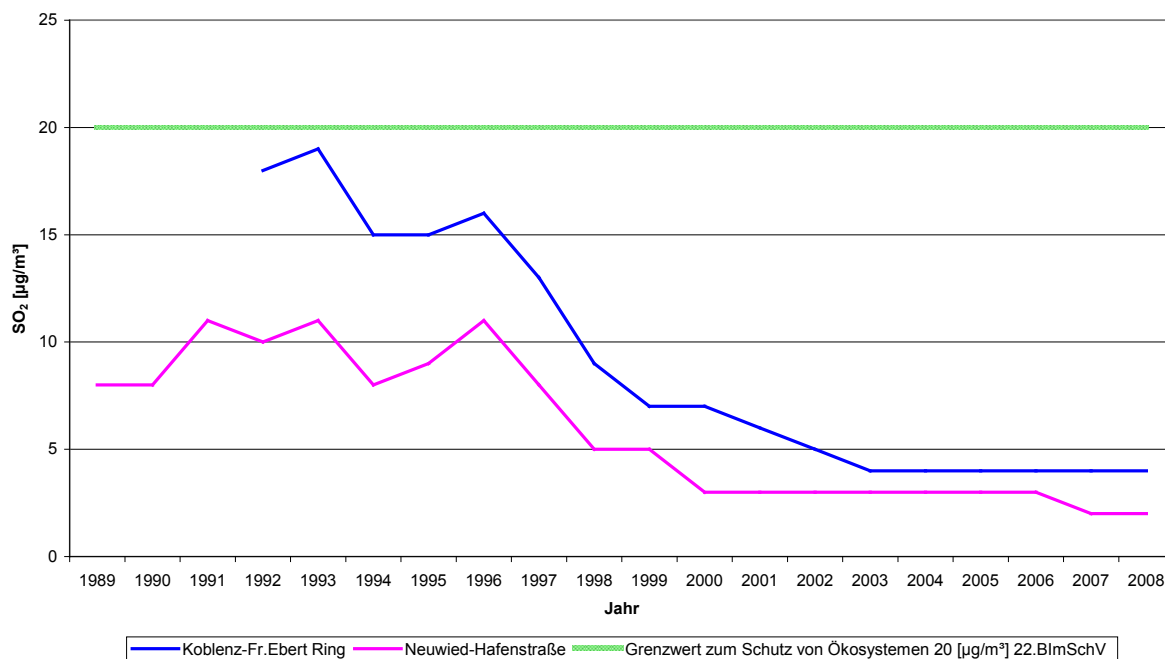


Abb. 13: Schwefeldioxid-Immissionen Region Koblenz-Neuwied 1980–2008 (Jahresmittelwerte)

In Koblenz und Neuwied wurde Schwefeldioxid erst ab den 90er Jahren gemessen. Auffallend hohe Werte, welche wahrscheinlich in den 80er Jahren vorlagen, sind hier nicht erfasst. Die Messwerte lagen bereits zu Beginn der Untersuchungen unter dem Grenzwert. Trotzdem ist auch hier, ebenso wie in Mainz und Ludwigshafen, ein deutlich rückläufiger Trend der Schwefeldioxid-Immissionen erkennbar. Am niedrigsten lagen die Messwerte in Neuwied-Hafenstraße (auch hier standortbedingt) mit $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2008.

Fazit

Die umgesetzten Maßnahmen, insbesondere die Rauchgasentschwefelung (REA) bei Großfeuerungsanlagen und die Reduzierung des Schwefelgehalts beim Heizöl, haben wesentlich zur Verbesserung der Luftqualität beigetragen. Innerhalb weniger Jahre nach Durchführung dieser Maßnahmen zu Beginn der 90er Jahre sanken die Messwerte unter den Grenzwert von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zum Schutz von Ökosystemen. Seit Beginn der Messungen in Mainz und Ludwigshafen ist die Schwefeldioxid-Belastung um gut 95 % gesunken.

5.4 Ozon

Ozon ist ein Bestandteil der Atmosphäre. Als natürlich entstandenes Gas ist es in der Stratosphäre am höchsten konzentriert und absorbiert dort teilweise die ultraviolette Strahlung der Sonne. Die durch menschliche Einflüsse geschädigte Ozonschicht der Atmosphäre und die daraus entstehende Problematik ist unter dem Begriff „Ozonloch“ heute allgemein bekannt.

In Bodennähe ist Ozon ein Schadstoff. Es wird nicht unmittelbar aus einer Schadstoffquelle emittiert, sondern wird aus Stickstoffdioxid und Sauerstoff unter dem Einfluss von UV-Strahlung gebildet. Die Ausgangsschadstoffe entstammen überwiegend aus Autoabgasen. Ozon ist mit einem Anteil von 70–80 % neben anderen Photooxidantien der Hauptbestandteil von Sommersmog.

Aufgrund seiner oxidierenden Wirkung reizt Ozon bei Menschen und Tieren die Atemwege und wirkt auch schädlich auf Pflanzen.

Medizinische Untersuchungen haben bestätigt, dass bei Ozonspitzenbelastungen eine Vermehrung von Asthmaanfällen und eine Verstärkung bakterieller und viraler Infektionen auftreten. Besonders empfindlichen Personen wird bei Spitzenbelastungen durch Frühwarnsysteme empfohlen, körperliche Anstrengungen im Freien zu vermeiden.

Intensive Sonneneinstrahlung und steigende Temperaturen in den Sommermonaten führen zu einem Anstieg der Ozonbelastung. In den Innenstädten können an sonnigen, heißen Tagen am Nachmittag Spitzenwerte gemessen werden. Mit der Abnahme der UV-Strahlung in den Abendstunden sinken diese wieder deutlich ab. Sommerliche Ozonkonzentrationen, welche über längere Zeiträume gemittelt werden, sind in Reinluftgebieten höher als in Ballungszentren. Mit den Autoabgasen wird sowohl Stickstoffdioxid als auch Stickstoffmonoxid emittiert. Stickstoffmonoxid wirkt durch Reaktion mit Ozon zu Stickstoffdioxid und Sauerstoff der Ozonbildung entgegen.

Mit der 33. BImSchV vom 13. Juli 2004 wurden auf nationaler Ebene die Schwellenwerte und Zielwerte für Ozon festgelegt:

Tab.7: Grenz-, Ziel- und Schwellenwerte für Ozon

Grenz-, Ziel- und Schwellenwerte für Ozon der 33.BImSchV				
Mittelungszeitraum	Grenzwert $\mu\text{g}/\text{m}^3$	zulässige Überschreitung	Schutzziel	Gültig ab
1-Stunde	180		Informationsschwelle	09.09.2003
1-Stunde	240		Alarmschwelle	09.09.2003
8-Stundenmittel eines Tages ²⁾	120 ¹⁾	25 ³⁾	Schutz der menschlichen Gesundheit	01.01.2010
Mai–Juli	18000 ¹⁾		Schutz der Vegetation AOT40 ⁴⁾	01.01.2010
Mai–Juli	6000 ⁵⁾		Schutz der Vegetation AOT40 ⁴⁾	01.01.2020

¹⁾ Zielwert

²⁾ Gleitender 8-Stunden-Mittelwert, berechnet aus 1-Stunden-Mittelwerten, in Stundenschritten,

³⁾ Mittelung über 3 Jahre

⁴⁾ AOT40, accumulated exposure over a threshold of 40 ppb (Summe der Differenzen zwischen 1-Stunden-Mittelwerten über $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (40 ppb) und dem Wert $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Zeitraum 8–20 Uhr von Mai bis Juli, gemittelt über 5 Jahre, in $\mu\text{g}/\text{m}^3\cdot\text{h}$)

⁵⁾ Langfristziel.

Für den 8-Stunden-Tagesmittelwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde eine zulässige Überschreitungshäufigkeit von 25 Ereignissen pro Jahr festgelegt.

Die Überschreitung von Schwellenwerten und das Erreichen von Spitzenbelastungen werden von Einzelereignissen ausgelöst. Das heißt, an einzelnen Sommertagen mit besonders hohen Temperaturen und hoher UV-Strahlung muss mit erhöhter Ozonbelastung gerechnet werden. Extrem heiße Sommertage kommen in Rheinland-Pfalz weniger häufig vor. Daher wird die Alarmschwelle für Ozon nur an einigen Tagen im Jahr oder gar nicht überschritten.

Die Einführung des Abgaskatalysators für Kfz mit Ottomotor hat zu einer Reduktion der Stickstoffdioxid-Belastung geführt und somit der Bildung von Ozon entgegen gewirkt. Die jährlichen Ozon-Spitzenbelastungen haben an Häufigkeit verloren. Die Überschreitung der 1-Stunden-Schwellenwerte und der 8-Stunden-Schwellenwerte ist in den letzten Jahren zurückgegangen und seit 1990 wurde in Rheinland-Pfalz eine leichte Rückläufigkeit der Kalendertage mit einer Überschreitung der Alarmschwelle von $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ festgestellt (Abbildung 14 unten).

Überschreitungstage der Alarmschwelle von Ozon

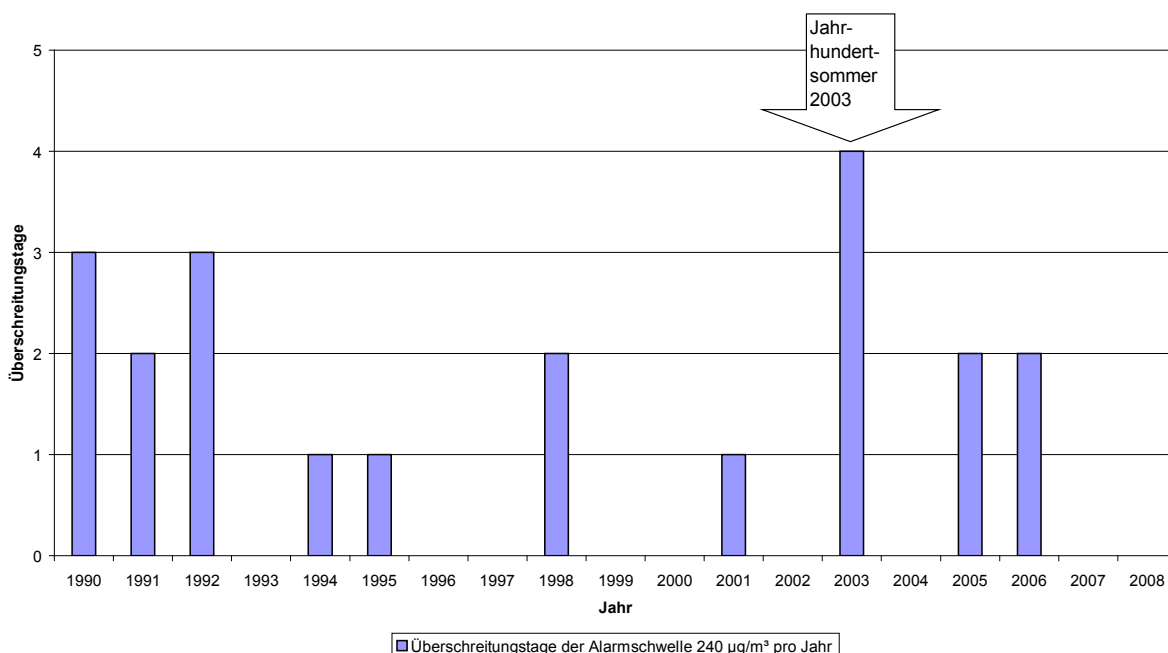


Abb. 14: Anzahl der Überschreitungstage der Alarmschwelle $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Jahr in Rheinland-Pfalz (1990–2008)

In Deutschland können die Sommer sehr unterschiedlich ausfallen. Kühle und verregnete oder warme und trockene Sommer wechseln sich ab. Auffallend ist, dass während des langen und heißen Sommers 2003 nur vier Überschreitungstage verzeichnet wurden. Daher lässt sich unter Berücksichtigung der vergangenen Jahre ein rückläufiger Trend der Spitzenbelastungen nachweisen.

Bei der Mittelung von Messwerten über einen längeren Zeitraum (siehe Abbildung 15, Sommermittelwerte von 1980–2008) steigt der Trend in der Ozonbelastung leicht an. Bei dieser Form der Auswertung werden neben den Spitzenbelastungen, welche nur zu bestimmten Tageszeiten auftreten, auch die Messwerte der Nacht berücksichtigt. Die Faktoren hierfür liegen bei langfristigen klimatischen Bedingungen und der Bildung von Ozon durch die Reduktion von Stickstoffdioxid.

Mainz und Ludwigshafen

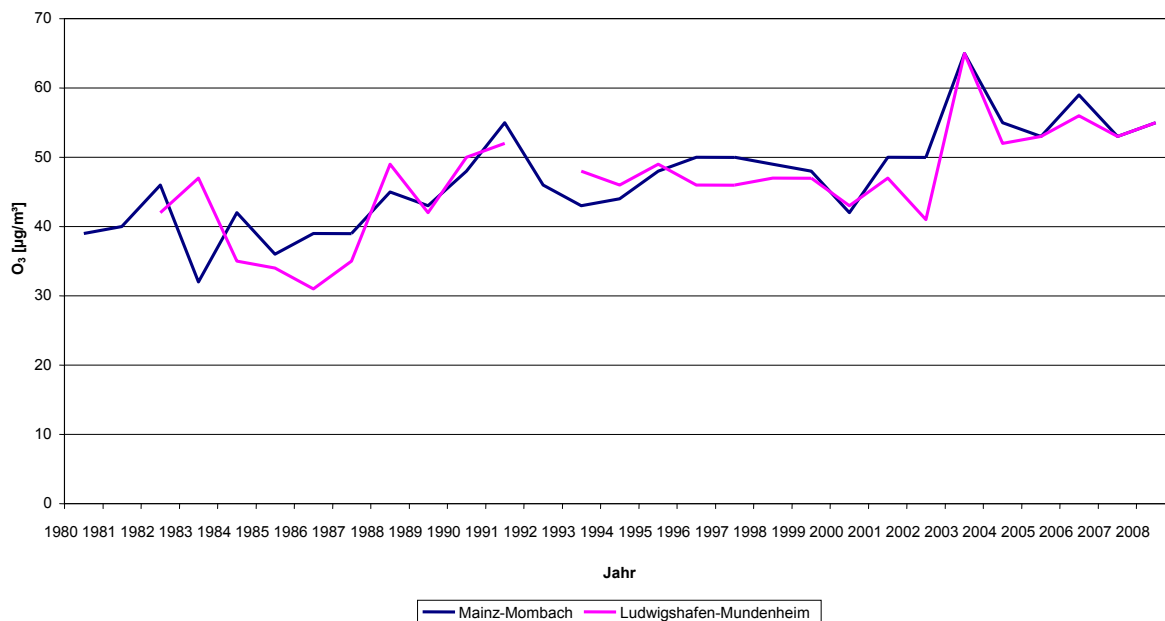


Abb. 15: Ozon-Immissionen, Mittelwerte April–September 1980–2008
Mainz und Ludwigshafen, Wertebasis: 1-Stunden-Mittelwerte

Der Verlauf der Ozonbelastung in den Sommermonaten in Mainz und Ludwigshafen ist in Abbildung 15 dargestellt.

Die Entstehung von Ozon in Bodennähe ist stark abhängig vom Wettergeschehen (Sonneneinstrahlung, Temperatur). Daher sind in der Grafik über den gesamten Untersuchungszeitraum Schwankungen zu erkennen. Die Monatsmittelwerte des heißen und trockenen Sommers 2003 bestätigen diese Abhängigkeit. Der gemittelte Messwert des Jahres 2003 mit $65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ist der höchste zwischen 1980 und 2008.

Die Beobachtungen des Wettertrends seit den siebziger Jahren bestätigen einen Zusammenhang mit dem leicht ansteigenden Trend. In den letzten Jahrzehnten sind die Sommer in Rheinland-Pfalz (Quelle: Klimabericht Rheinland-Pfalz 2007) wärmer und trockener geworden. Auch die Anzahl wärmerer Tage hat sich erhöht. In den Wintermonaten, welche im Durchschnitt auch wärmer geworden sind, wurden in den vergangenen Jahren höhere klimaabhängige Ozon-Werte gemessen. Da diese bisher noch nicht als relevant bezeichnet werden können, wurden hier nur die Sommerwerte berücksichtigt.

Fazit

Der nachweisbare Rückgang der Spitzenbelastungen durch Ozon steht in direktem Zusammenhang mit den durchgeführten Maßnahmen zur Emissionsminderung bei den Stickstoffoxiden und den organischen Verbindungen.

Bei den langfristig gemittelten Messwerten zeigt die Schadstoffbelastung der Luft durch Ozon einen leicht ansteigenden Trend, trotz des Rückgangs des hauptursächlichen Schadstoffs Stickstoffdioxid. Ein Grund hierfür ist die rückläufige Belastung der Luft durch Stickstoffmonoxid und möglicherweise der auch in Rheinland-Pfalz nachgewiesene klimawandelbedingte Temperaturanstieg.

Aufgrund der nachgewiesenen gesundheitsschädlichen Wirkung von Ozon ist eine Einhaltung der Grenzwerte dringend erforderlich.

Neben Klimaschutzmaßnahmen müssen die bisher durchgeführten Maßnahmen zur Minderung der Stickstoffdioxid-Emissionen in größerem Umfang fortgesetzt werden. Hierzu gehört die weitere Ausarbeitung von Luftreinhalteplänen, besonders in den sensiblen Bereichen der Großstädte, sowie die weitere Umstellung auf Fahrzeuge mit schadstoffreduzierten Abgasen.

5.5 Feinstaub

Der in der Atmosphäre befindliche Schwebstaub besteht aus festen Partikeln unterschiedlicher Größe. Er stammt sowohl aus natürlichen als auch anthropogenen Quellen.

Natürliche Ursachen

Saharastaub, Pollen, Waldbrände, Vulkanausbrüche, u.a.

Anthropogene Ursachen

Industrie, Privathaushalte und Kleinverbraucher, Straßenverkehr, Kraft- und Fernheizwerke, Landwirtschaft, Bautätigkeiten, u.a.

Partikel, die kleiner als 10 µm sind, werden als Feinstaub bezeichnet (PM10). Feinstaub ist inhalierbar und belastet die Atemwege.

Partikel, die kleiner als 2,5 µm sind, werden auch als Feinstaub bezeichnet (PM2,5). Ultrafeine Teilchen (Durchmesser unter 0,1 µm) gelangen bis in die Lungenbläschen und werden dort sehr langsam oder gar nicht entfernt (Staublung).

Mit abnehmender Partikelgröße nimmt die Gesundheitsgefährdung zu:

Dem Feinstaub werden heute die wesentlichsten Gesundheitsschädigungen durch Luftverschmutzung zugeschrieben. Zu den Auswirkungen gehören eine Zunahme von Allergiesymptomen, asthmatischen Anfällen und Atemwegsbeschwerden sowie ein gesteigertes Risiko für Mittelohrentzündungen bei Kindern. Die kleinen Rußpartikel der Dieselabgase können Lungenkrebs und andere schwere Erkrankungen auslösen.

Mit der Richtlinie 80/779/EWG hat die Europäische Union die Mitgliedstaaten zur Einhaltung von Grenzwerten ab 1983 verpflichtet, welche von der Bundesrepublik Deutschland eingehalten wurden.

In der 1999 beschlossenen Richtlinie 99/30/EG wurde für den Jahresmittelwert von PM10-Feinstaub folgender Grenzwert festgelegt:

- ab 1. Januar 2005: 40 µg/m³

In Rheinland-Pfalz wurde mit Luftreinhalte- und Aktionsplänen eine Umsetzung der Richtlinie durchgeführt.

Die folgende Auswertung der Feinstaub-Messwerte bezieht sich auf Jahresmittelwerte. Einzelne Überschreitungen von Tagesmittelwerten werden hierbei nicht berücksichtigt.

Mainz

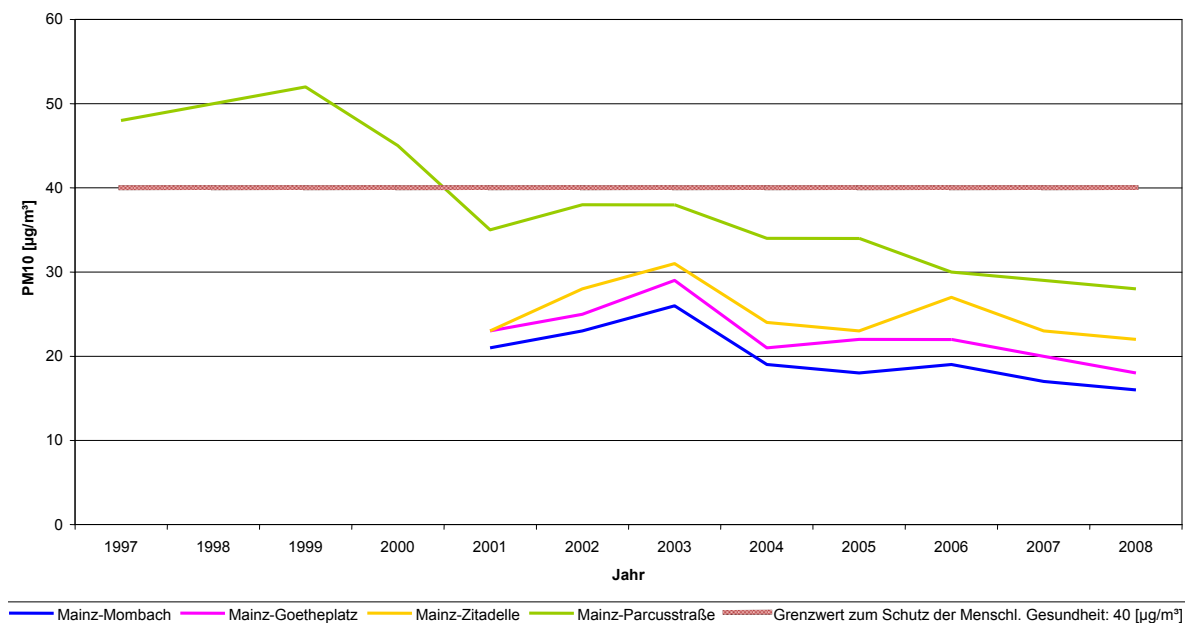


Abb. 16: PM10-Feinstaub-Immissionen in Mainz 1997–2008 (Jahresmittelwerte)

Die PM10-Feinstaub-Messwerte der Mainzer ZIMEN-Stationen Mombach, Goetheplatz und Zitadelle lagen seit Beginn der Messungen im Jahr 2001 unter dem ab dem Jahr 2005 gültigen Grenzwert von 40 µg/m³. Für den gleichen Zeitraum trifft dies auch für die Station Mainz-Parcusstraße zu. Hier lagen die Messwerte von 1997 bis 2000 noch über diesem Grenzwert. Insgesamt wurden in der Parcusstraße die höchsten Werte gemessen. Dies erklärt sich aus der unmittelbaren Lage zur Hauptverkehrsstraße.

Ludwigshafen

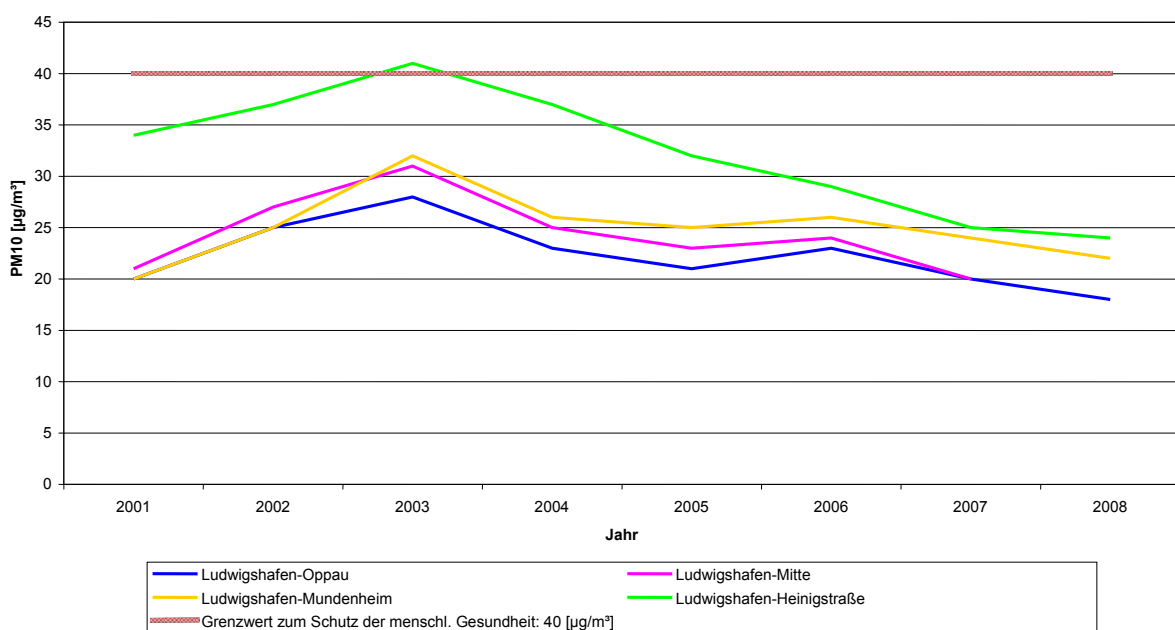


Abb. 17: PM10-Feinstaub-Immissionen in Ludwigshafen 2001–2008 (Jahresmittelwerte)

In der Region Ludwigshafen-Frankenthal liegen seit Beginn der Messungen (bis auf eine Ausnahme 2003 in Ludwigshafen-Heinigstraße) alle Feinstaub-Messwerte unter dem Grenzwert ab 2005 von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Seit 1985 wurden für die hier untersuchten Regionen in unterschiedlichen Abständen Luftreinhalte- und Aktionspläne erstellt. Die vorliegenden Feinstaub-Messwerte (Jahresmittelwerte) belegen eine erfolgreiche Umsetzung der Maßnahmen.

Bislang wurden in Rheinland-Pfalz keine Umweltzonen eingeführt. Eine Einführung von Umweltzonen in Rheinland-Pfalz scheint anhand der vorliegenden Daten nicht zweckmäßig.

In Zukunft wird verstärkt $\text{PM}_{2,5}$ -Feinstaub gemessen. Die Messung erfolgt entweder parallel zur PM_{10} -Feinstaubmessung, um herauszufinden, wie hoch der Anteil des Feinstaubes am Feinstaub ist. Teilweise wurden auch Messgeräte für PM_{10} -Feinstaub durch $\text{PM}_{2,5}$ -Messgeräte ersetzt.

5.6 Organische Luftschadstoffe

5.6.1 Kohlenwasserstoffe ohne Methan (NMVOC)

In der Atmosphäre tragen gasförmige Kohlenwasserstoffe zur Entstehung von Photooxidantien und von Sommersmog bei. Sie entstehen bei der unvollständigen Verbrennung von Diesel und Benzin. Durch Verdunstung werden sie aus Lösemitteln und aus Kraftstoffen freigesetzt. Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) reizen Atemwege und Augen. Einige PAK werden mit Krebserkrankungen oder Erbgutveränderungen in Verbindung gebracht.

Regionen Mainz und Ludwigshafen

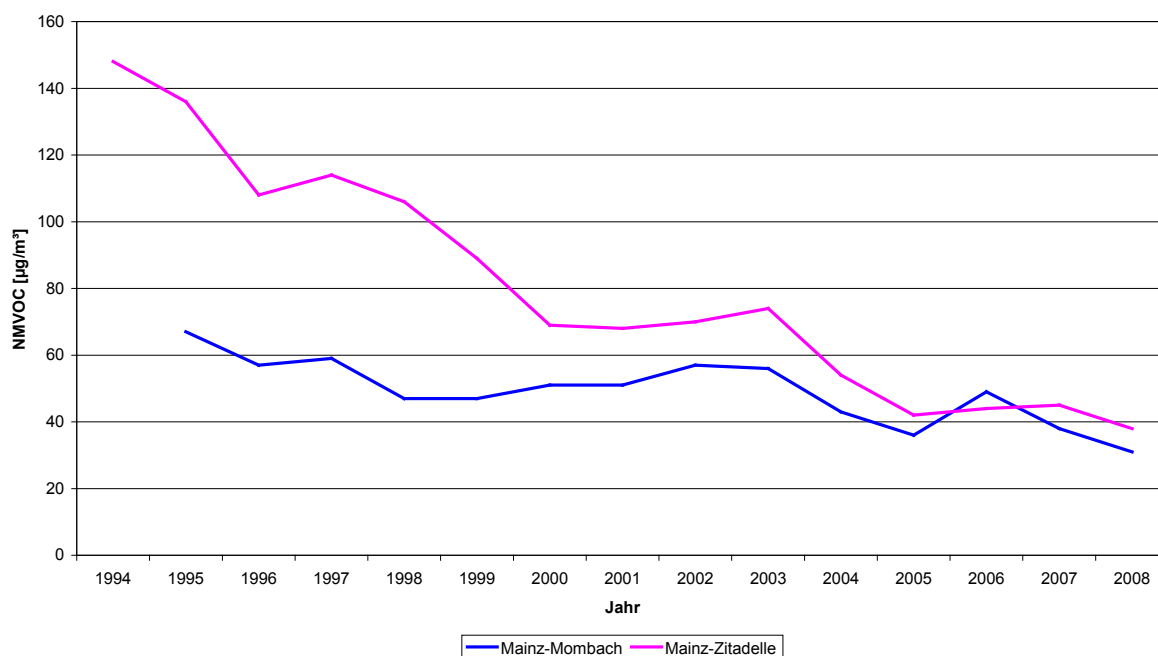


Abb. 18: Kohlenwasserstoff-Immissionen (ohne Methan) in Mainz 1994–2008 (Jahresmittelwerte)

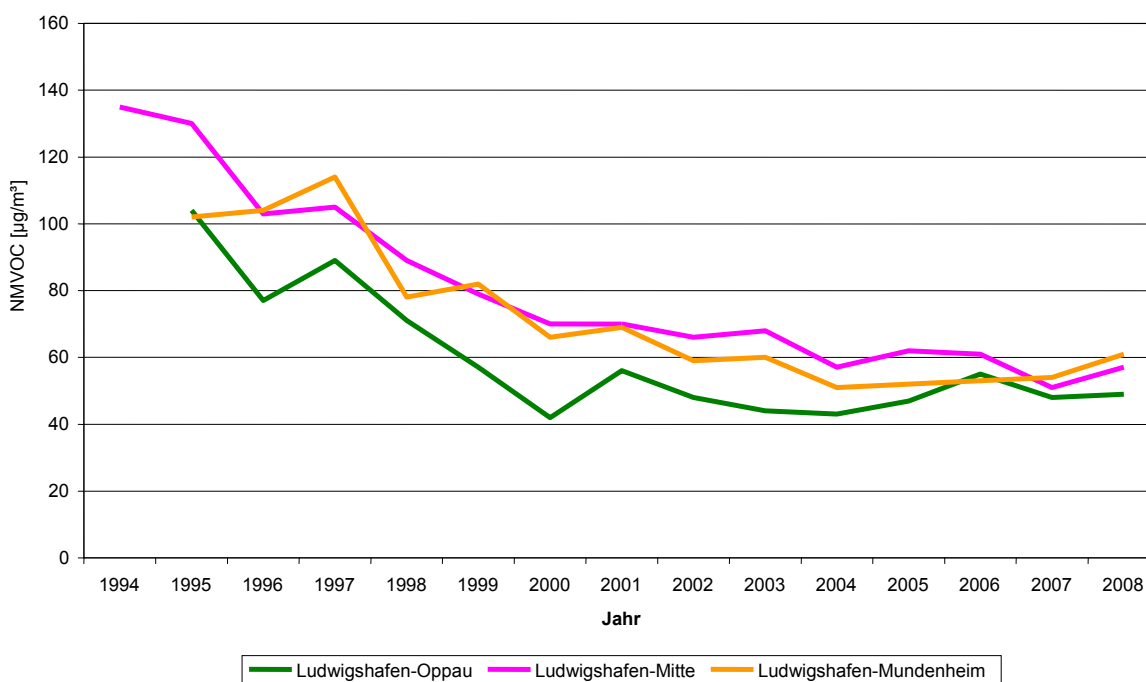


Abb. 19: Kohlenwasserstoff-Immissionen (ohne Methan) in Ludwigshafen 1994–2008 (Jahresmittelwerte)

Die Messdaten der ZIMEN-Station Mainz-Zitadelle weisen ein beachtliches Ergebnis beim Rückgang der Immissions-Belastung durch den Summenparameter "Kohlenwasserstoffe ohne Methan" auf. Im Jahr 1994 lag der Wert noch bei $148 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Die gemittelten Messergebnisse der Jahre 2005–2008 ergeben einen Rückgang von über einem Drittel der Kohlenwasserstoff-Belastung mit einem Wert von $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahr 2008.

In Mainz–Mombach wurden deutlich niedrigere Werte gemessen. Der Messwert des Jahres 2008 liegt mit $31 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in dieser Datenauswertung für Kohlenwasserstoffe am niedrigsten. Hier hat sich die Belastung durch Kohlenwasserstoff-Immissionen über den Untersuchungszeitraum um gut die Hälfte reduziert.

Die Messstationen in Ludwigshafen weisen ebenso günstige Untersuchungsergebnisse auf. Auch hier sind im Zeitraum 1995 bis 2008 Verbesserungen in der Belastungssituation um etwa 50 % zu erkennen.

Fazit

Die Belastung der Luft durch Kohlenwasserstoffe (ohne Methan) ist seit Mitte der 90er Jahre bis heute nahezu kontinuierlich zurückgegangen.

5.6.2 Toluol

Toluol wird großtechnisch aus Erdöl gewonnen und als Lösemittel oder Synthesausgangspunkt verwendet. Als nicht deklarerter Bestandteil von Benzin soll es die Oktanzahl in Motorkraftstoffen erhöhen. Der Kraftfahrzeugverkehr stellt die Hauptquelle der Toluol-Immissionen dar.

Toluol reizt in hohen Konzentrationen Augen und Atemwege. Es wirkt auf das zentrale Nervensystem und besitzt möglicherweise eine fruchtschädigende Wirkung.

Region Mainz

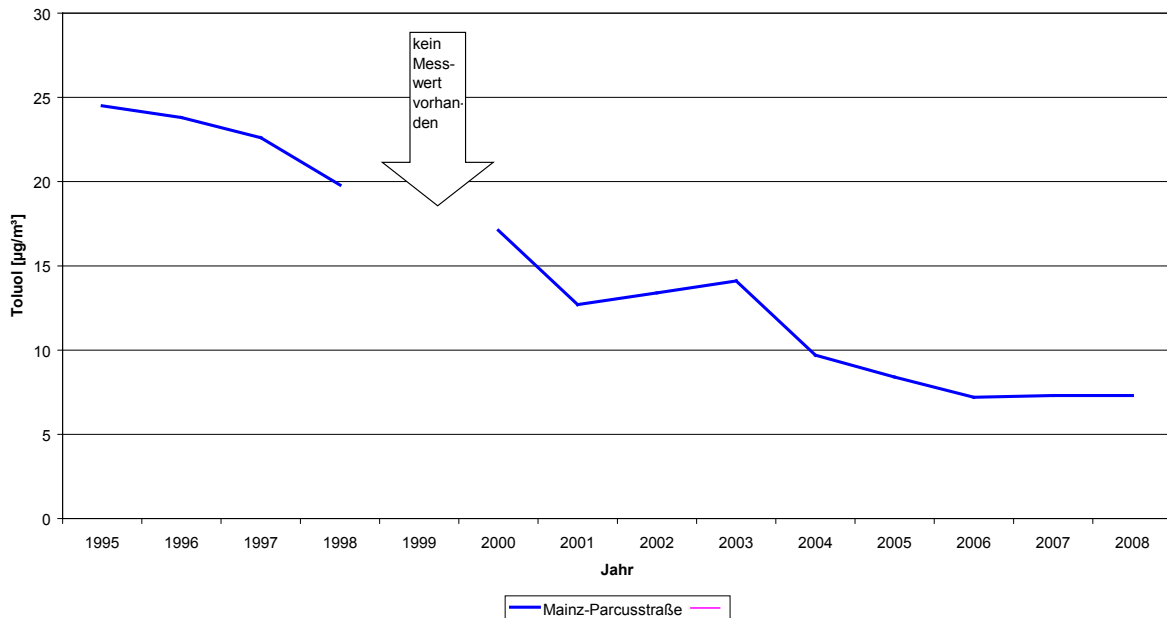


Abb.20: Toluol-Immissionen Mainz-Parcusstraße 1996–2008 (Jahresmittelwerte)

Die Immissionswerte für Toluol werden in Mainz ausschließlich an der Messstation in der Parcusstraße ermittelt. Diese belegen einen kontinuierlichen Rückgang der Schadstoffkonzentration. 1995 lag der höchste Wert bei $24,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Im Jahr 2008 wurden nur noch $7,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gemessen. Die Differenz zwischen diesen beiden Werten beträgt ca. 70 %.

Fazit

Die Belastung der Luft durch Toluol ist seit Mitte der 90er Jahre bis heute nahezu kontinuierlich zurückgegangen.

6 LUFTREINHALTEPLÄNE UND AKTIONSPÄNE

Die beschriebenen Erfolge bei der Luftreinhaltung sind das Resultat der gesetzlichen Vorschriften zur Begrenzung der Emissionen auf nationaler und europäischer Ebene.

In Rheinland-Pfalz wurden bereits im Jahr 1976 die Ballungsräume Mainz-Budenheim und Ludwigshafen-Frankenthal zu „Belastungsgebieten“ erklärt und somit die Möglichkeit geschaffen, für diese Gebiete Luftreinhaltepläne zu erstellen. In diesen wurden Emissionskataster für die Emittentengruppen Industrie, Gewerbe, Hausbrand und Verkehr aufgestellt und flächendeckend Immissionsmessungen durchgeführt. Rechtsgrundlage für die Erhebung der Industrieemissionen ist die Emissionserklärungsverordnung (11. BImSchV), die zunächst nur für die Belastungsgebiete und ab dem Jahr 1992 landesweit die Abgabe einer Emissionserklärung durch die Industriebetriebe vorsah. Auch für die landesweite Durchführung der Altanlagenanierung auf Grundlage der TA Luft 1986 und der TA Luft 2002 wurden die Daten des Emissionskatasters Industrie herangezogen.

Der Abgleich der gemessenen Immissionen mit den erfassten Emissionsdaten lieferte Erkenntnisse zu den Ursachen der Immissionsbelastung und damit die Basis für die Maßnahmenpläne. Ergänzt wurden die Luftreinhaltepläne durch umfangreiche Wirkungsuntersuchungen, z. B. der Untersuchung des natürlichen Flechtenvorkommens, der Untersuchung zur Schadstoffaufnahme durch Pflanzen bis hin zu humanmedizinischen Wirkungsuntersuchungen.

Für die beiden Belastungsgebiete wurden insgesamt vier Luftreinhaltepläne und ein Luftreinhaltebericht aufgestellt:

- 1980 Luftreinhalteplan Ludwigshafen-Frankenthal 1979–1984
- 1983 Luftreinhalteplan Mainz-Budenheim 1981–1986
- 1989 Luftreinhalteplan Ludwigshafen-Frankenthal, 1. Fortschreibung 1985–1991
- 1993 Luftreinhalteplan Mainz-Budenheim, 1. Fortschreibung 1987–1995
- 2001 Luftreinhaltebericht Ludwigshafen-Frankenthal 2000

Zusätzlich wurden Luftreinhaltepläne für Verdichtungsgebiete veröffentlicht:

- 1994 Luftreinhalteplan Koblenz-Neuwied 1988–1996
- 1996 Luftreinhalteplan Trier-Konz 1990–1997

Seit dem Jahr 2004 wurden die folgenden Luftreinhaltepläne und Aktionspläne gemäß europäischer Luftqualitätsrichtlinien zur Verringerung der Belastung durch PM₁₀-Feinstaub und Stickstoffdioxid erstellt:

- 2005 Luftreinhalte- und Aktionsplan Ludwigshafen-Heinigstraße 2003–2005
- 2005 Luftreinhalte- und Aktionsplan Mainz-Parcusstraße 2003–2005
- 2006 Aktionsplan zur Reduzierung der Feinstaubbelastung in Neuwied
- 2006 Aktionsplan zur Reduzierung der Feinstaubbelastung in Speyer

- 2006 Aktionsplan zur Reduzierung der Feinstaubbelastung in Trier
- 2006 Aktionsplan zur Reduzierung der Feinstaubbelastung in Worms
- 2007 Aktionsplan zur Reduzierung der Feinstaubbelastung in Pirmasens
- 2008 Luftreinhalte- und Aktionsplan Ludwigshafen 2007–2015
- 2008 Luftreinhalte- und Aktionsplan Mainz 2007–2010
- 2009 Luftreinhalteplan Koblenz 2008–2015

7 SCHLUSSWORT

Seit dem Jahr 1980 wurden in Rheinland-Pfalz eine Reihe von gesetzlichen Vorgaben zur Reinhaltung der Luft umgesetzt. Die Erfolge dieser Maßnahmen spiegeln sich in den dargestellten rückläufigen Immissionskonzentrationen der verschiedenen Schadstoffe wider.

Neben den nationalen Vorgaben zur Begrenzung der Emissionen aus Industrieanlagen, dem Gewerbe und dem Hausbrand haben insbesondere die Verschärfungen der Emissionsgrenzwerte für Kraftfahrzeuge auf europäischer Ebene zu einer Verbesserung der Luftqualität beigetragen.

Trotz der in der Vergangenheit erzielten Erfolge, insbesondere beim Schwefeldioxid, stellt die Einhaltung der neuen, anspruchsvollen Immissionsgrenzwerte für Stickstoffdioxid und Feinstaub (PM10 und PM2,5) eine Herausforderung für die Zukunft dar, die nur durch weitere Anstrengungen, insbesondere durch die weitere Verschärfung von Abgasgrenzwerten für Kraftfahrzeuge, gemeistert werden kann.

8 ANHANG

8.1 Tabellenverzeichnis

Nr.	Seite	Bezeichnung
1	9	Inkrafttreten von gesetzlichen Vorgaben zur Luftreinhaltung
2	13	Inkrafttreten von Immissionsgrenzwerten für Stickstoffdioxid und PM10-Feinstaub
3	18	Abgaswerte für PKW mit Ottomotor in mg/km
4	19	Abgaswerte für PKW mit Dieselmotor in mg/km
5	19	Abgaswerte für LKW in g/kWh
6	24	Übersicht der erfassten Parameter
7	40	Grenz-, Ziel- und Schwellenwerte für Ozon

8.2 Abbildungsverzeichnis

Nr.	Seite	Bezeichnung
1	26	Kohlenmonoxid-Immissionen in Mainz 1980–2008 (Jahresmittelwerte)
2	27	Kohlenmonoxid-Immissionen Region Ludwigshafen-Frankenthal 1980–2008 (Jahresmittelwerte)
3	28	Kohlenmonoxid-Immissionen Region Koblenz-Neuwied 1989–2008 (Jahresmittelwerte)
4	30	Stickstoffmonoxid-Immissionen in Mainz 1980–2008 (Jahresmittelwerte)
5	31	Stickstoffmonoxid-Immissionen Region Ludwigshafen-Frankenthal 1980–2008 (Jahresmittelwerte)
6	32	Stickstoffmonoxid -Immissionen Region Koblenz-Neuwied" 1989–2008 (Jahresmittelwerte)
7	33	Stickstoffdioxid-Immissionen in Mainz 1980–2008 (Jahresmittelwerte)
8	34	Stickstoffdioxid-Immissionen Region Ludwigshafen-Frankenthal (Jahresmittelwerte)
9	35	Stickstoffdioxid-Immissionen Region Koblenz-Neuwied 1986–2008 (Jahresmittelwerte)
10	36	Vergleich Stickstoffmonoxid/Stickstoffdioxid - Immissionen Mainz-Parcusstraße
11	37	Schwefeldioxid-Immissionen in Mainz 1980–2008 (Jahresmittelwerte)
12	38	Schwefeldioxid -Immissionen in Ludwigshafen 1980–2008 (Jahresmittelwerte)
13	39	Schwefeldioxid -Immissionen Region Koblenz-Neuwied 1980–2008 (Jahresmittelwerte)
14	41	Anzahl der Überschreitungstage der Alarmschwelle $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pro Jahr in Rheinland-Pfalz (1990–2008)

Nr.	Seite	Bezeichnung
15	42	Ozon-Immissionen, Mittelwerte April–September 1980–2008, Wertebasis: 1-Stunden-Mittelwert (über 24 Stunden)
16	44	Staub-Immissionen Region Mainz 1997–2008 (Jahresmittelwerte)
17	44	Staub-Immissionen Region Ludwigshafen 2001–2008 (Jahresmittelwerte)
18	45	Kohlenwasserstoff-Immissionen (ohne Methan) Region Mainz 1994–2008 (Jahresmittelwerte)
19	46	Kohlenwasserstoff-Immissionen (ohne Methan) Region Ludwigshafen 1994–2008 (Jahresmittelwerte)
20	47	Toluol-Immissionen Mainz-Parcusstraße 1996–2008 (Jahresmittelwerte)

8.3 Quellen- und Literaturverzeichnis

1	Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz, BImSchG) vom 15. März 1974
2	Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft – TA Luft) vom 28. August 1974, geändert durch die Neufassung vom 27. Februar 1986, geändert durch Neufassung vom 24. Juli 2002
3	Richtlinie 96/62/EG des Rates vom 27. September 1996 über die Beurteilung und die Kontrolle der Luftqualität. Amtsblatt Nr. L 296/55 vom 21. November 1996
4	Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft. Amtsblatt Nr. L 163/41 vom 29. Juni 1999
5	Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Amtsblatt Nr. L 152/44 vom 11. Juni 2008
6	Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (1. BImSchV, Kleinfeuerungsanlagenverordnung) vom 5. Februar 1979, Emissionsminderung Kohlenmonoxid und Staub aus Kleinfeuerungsanlagen
7	Dritte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (3. BImSchV, Verordnung über Schwefelgehalt von leichtem Heizöl und Dieseldieselkraftstoff) vom 15. Januar 1975, Emissionsminderung Schwefeldioxid aus Kleinfeuerungsanlagen
8	Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (11. BImSchV, Emissionserklärungsverordnung) vom 20. Dezember 1978, Erstellung von Emissionskatastern
9	Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (13. BImSchV, Großfeuerungsanlagenverordnung) vom 22. Juni 1983, Emissionsminderung Großfeuerungsanlagen

10	Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Soziales, Gesundheit und Umwelt Rheinland-Pfalz vom 13. Juni 1984 zur Durchführung Immissionsschutzrechtlicher Vorschriften über die Begrenzung von Stickstoffoxidemissionen aus Großfeuerungsanlagen. Verschärfung der Emissionsgrenzwerte für Stickstoffoxide aus bestehenden Großfeuerungsanlagen
11	Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (17. BImSchV, Verordnung über Verbrennungsanlagen für Abfälle und ähnliche brennbare Stoffe) vom 23. November 1990. Emissionsminderung Abfallverbrennungsanlagen
12	Zwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (20. BImSchV, Verordnung zur Begrenzung der Emissionen flüchtiger organischer Verbindungen beim Umfüllen und Lagern von Ottokraftstoffen) vom 27. Mai 1998, Emissionsminderung Kohlenwasserstoffe
13	Einundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (21. BImSchV, Verordnung zur Begrenzung der Kohlenwasserstoffemissionen bei der Betankung von Kraftfahrzeugen vom 07. Oktober 1992, Emissionsminderung Kohlenwasserstoffe
14	Zweiundzwanzigste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (22. BImSchV, Verordnung über Immissionswerte für Schadstoffe in der Luft) vom 11. September 2002
15	Luftreinhalteplan Ludwigshafen-Frankenthal 1979–1984, herausgegeben vom Ministerium für Soziales, Gesundheit und Umwelt des Landes Rheinland-Pfalz, Mainz 1980
16	Luftreinhalteplan Ludwigshafen-Frankenthal 1985–1991, 1. Fortschreibung, herausgegeben vom Ministerium für Umwelt und Gesundheit des Landes Rheinland-Pfalz, Mainz 1989
17	Luftreinhaltebericht Ludwigshafen-Frankenthal 2000, herausgegeben vom Ministerium für Umwelt und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz, Mainz 2000
18	Luftreinhalteplan Mainz-Budenheim, herausgegeben vom Ministerium für Soziales, Gesundheit und Umwelt des Landes Rheinland-Pfalz, Mainz 1983
19	Luftreinhalteplan Mainz-Budenheim, 1. Fortschreibung 1987–1995, herausgegeben vom Ministerium für Umwelt des Landes Rheinland-Pfalz, Mainz 1993
20	Luftreinhalteplan Koblenz-Neuwied 1988–1996, herausgegeben durch das Ministerium für Umwelt und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz im November 1994
21	Luftreinhalteplan Trier-Konz 1990–1997, herausgegeben durch das Ministerium für Umwelt und Forsten des Landes Rheinland-Pfalz im Februar 1996
22	Luftreinhalte- und Aktionsplan Ludwigshafen-Heinigstraße 2003–2005, LUWG 2005
23	Luftreinhalte- und Aktionsplan Mainz-Parcusstraße 2003–2005, LUWG 2005
24	Aktionsplan zur Reduzierung der Feinstaubbelastung in Neuwied, LUWG 2006
25	Aktionsplan zur Reduzierung der Feinstaubbelastung in Speyer, LUWG 2006
26	Aktionsplan zur Reduzierung der Feinstaubbelastung in Trier, LUWG 2006
27	Aktionsplan zur Reduzierung der Feinstaubbelastung in Worms, LUWG 2006
28	Aktionsplan zur Reduzierung der Feinstaubbelastung in Pirmasens, LUWG 2007
29	Luftreinhalte- und Aktionsplan Ludwigshafen 2007–2015, LUWG 2008
30	Luftreinhalte- und Aktionsplan Mainz 2007–2010, LUWG 2008
31	Luftreinhalteplan Koblenz 2008–2015, LUWG 2009

