

# Identifizierung von Minderungspotenzialen und Erarbeitung von Maßnahmen- vorschlägen im Rahmen der Stickoxidminderungsstrategie der Landesregierung NRW

Schlussbericht September 2016



Universität Stuttgart

**ifk**

**AVISO**

September 2016

# **Identifizierung von Minderungspotenzialen und Erarbeitung von Maßnahmen- vorschlägen im Rahmen der Stickoxidminderungsstrategie der Landesregierung NRW**

## **Schlussbericht September 2016**

(mkulnv0215nox)

### **Bearbeitung:**

AVISO GmbH:  
Dr. rer. nat. Nicola Toenges-Schuller  
Dr.-Ing. Christiane Schneider  
Dipl.-Ing. Arnold Niederau

IFK, Universität Stuttgart:  
Dr.-Ing. Ulrich Vogt  
Dipl.-Ing. Christian Schäfer  
Dr.-Ing. Michael Struschka

**Aachen, September 2016**

**Im Auftrag des Ministeriums für Klimaschutz,  
Umwelt, Landwirtschaft,  
Natur- und Verbraucherschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen**

### **AVISO GmbH**

Am Hasselholz 15  
52074 Aachen

Fon: +49 (0) 241 / 470358-0  
Fax: +49 (0) 241 / 470358-9

E-Mail: [info@avisogmbh.de](mailto:info@avisogmbh.de)  
<http://www.avisogmbh.de>

## Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis.....	6
Abbildungsverzeichnis.....	9
1 Kernaussagen.....	17
2 Aufgabenstellung .....	24
3 Situationsbeschreibung und übergeordnete Fragestellungen zu den Emissionen und Immissionen der Stickstoffoxide in NRW .....	25
3.1 Situationsbeschreibung .....	25
3.1.1 NO <sub>x</sub> -Emissionen.....	26
3.1.1.1 Emissionen in NRW .....	26
3.1.1.2 Emissionen der Nachbarländer .....	29
3.1.1.3 Kurzfazit Emissionsdaten .....	43
3.1.2 NO <sub>2</sub> -Konzentrationen .....	43
3.1.2.1 Stickstoffoxid-Immissionssituation in NRW.....	43
3.1.2.2 NRW im Vergleich mit seinen Nachbarländern.....	46
3.1.2.3 Satellitendaten .....	50
3.1.2.4 Kurzfazit zu den NO <sub>2</sub> -Konzentrationen .....	52
3.2 Zusammenhänge zwischen NO <sub>x</sub> -Emissionen und NO <sub>2</sub> -Konzentrationen .....	53
3.2.1 Analyse der Beiträge einzelner Quellengruppen.....	54
3.2.1.1 EURAD-Modellrechnungen zu Verkehr und Industrie.....	54
3.2.1.2 EURAD-Modellrechnungen Quellenanalyse.....	54
3.2.1.3 Kurzfazit zur Analyse der Beiträge einzelner Quellengruppen .....	56
3.2.2 Import und Export.....	57
3.2.2.1 Grobabschätzung Transportweiten.....	57
3.2.2.2 EURAD-Modellrechnungen .....	58
3.2.2.3 LOTOS-EUROS-Modellrechnungen.....	61
3.2.2.4 Vergleich: NO <sub>2</sub> -Import nach Baden-Württemberg .....	63
3.2.2.5 Kurzfazit zum Import/Export .....	65
3.2.3 Vergleich der zeitlichen Entwicklung der NO <sub>x</sub> -Emissionen und NO <sub>2</sub> -Konzentrationen.....	65
3.2.3.1 NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> -Verhältnis.....	66
3.2.3.2 Weitere Einflüsse auf die NO <sub>x</sub> -Konzentration .....	69
3.2.3.3 Kurzfazit zum Vergleich der zeitlichen Entwicklung der NO <sub>x</sub> -Emissionen und NO <sub>2</sub> -Konzentrationen .....	71

3.2.4	Auswirkungen von Emissionsänderungen auf die NO <sub>2</sub> -Konzentrationen in NRW .....	71
3.2.4.1	Regionale Hintergrundbelastung .....	71
3.2.4.2	Belastungsschwerpunkte .....	72
3.2.4.3	Bestimmung der zur Einhaltung des Grenzwertes erforderlichen Reduktion der NO <sub>x</sub> -Emissionen in NRW am Beispiel der Gladbecker Straße in Essen .....	76
3.2.4.4	Kurzfasit zu Auswirkungen von Emissionsänderungen auf die NO <sub>2</sub> -Konzentrationen in NRW .....	77
3.3	Zusammenfassung .....	80
4	Definition Handlungsfelder, Strategien und Maßnahmen .....	83
5	Potenzialanalyse Verkehr .....	85
5.1	Emissionen Verkehr NRW 2012/2013 .....	85
5.2	Emissionen des Straßenverkehrs .....	86
5.2.1	Grundlagen zu NO <sub>x</sub> -Abgasemissionen .....	86
5.2.1.1	Entstehung von NO <sub>x</sub> -Abgasemissionen .....	86
5.2.1.2	Emissionsminderungstechnologien .....	87
5.2.1.3	NO- und NO <sub>2</sub> -Abgasemissionsfaktoren nach HBEFA3.2 .....	90
5.2.1.4	Emissionsgrenzwerte und Emissionsverhalten im realen Fahrbetrieb .....	95
5.2.2	Emissionen des Straßenverkehrs in NRW im Jahr 2013 und Trendprognose .....	97
5.3	Handlungsfelder Straßenverkehr .....	107
5.3.1	Handlungsfeld 1: Fahrzeuge, Antriebe, Kraftstoffe und Flottenmodernisierung .....	107
5.3.1.1	Strategie 1.1: Förderung der Elektromobilität .....	108
5.3.1.2	Strategie 1.2: Förderung alternativer Kraftstoffe .....	120
5.3.1.3	Strategie 1.3: Weitere Flottenänderung .....	125
5.3.2	Handlungsfeld 2: Verkehrsverlagerung, Verkehrsvermeidung .....	131
5.3.2.1	Strategie 2.1: Veränderung des Modal Split im Personennahverkehr .....	131
5.3.2.2	Strategie 2.2: Veränderung des Modal Split im Personenfernverkehr .....	142
5.3.2.3	Strategie 2.3: Veränderung des Modal Split im Güterverkehr .....	146
5.3.2.4	Strategie 2.4: Reduktion des innerstädtischen Verkehrs .....	150
5.3.3	Handlungsfeld 3: Verkehrslenkung, Verkehrsverflüssigung .....	156
5.3.3.1	Strategie 3.1: Abbau von Stausituationen .....	156
5.3.3.2	Strategie 3.2: Förderung von kraftstoffsparendem Fahren .....	166
5.3.3.3	Strategie 3.3: Geschwindigkeitsbeschränkungen .....	169
5.3.4	Zusammenfassung .....	173
5.4	Handlungsfeld Binnenschifffahrt .....	174



---

5.4.1	NO <sub>x</sub> -Emissionen der Binnenschifffahrt .....	174
5.4.2	Handlungsfeld 4: Binnenschifffahrt .....	177
5.4.2.1	Strategie 4.1: Flottenverbesserung.....	178
5.4.2.2	Strategie 4.2: Alternative Kraftstoffe und Antriebe .....	186
5.4.2.3	Strategie 4.3: Optimierung Fahrgeschwindigkeit .....	193
5.4.2.4	Zusammenfassung der quantifizierten NO <sub>x</sub> -Minderungspotenziale für die Binnenschifffahrt .....	196
6	Potenzialanalyse Energiewirtschaft / Industrie.....	197
6.1	NO <sub>x</sub> -Entstehung und Minderungstechnologien.....	198
6.1.1	Entstehung von NO <sub>x</sub> -Emissionen bei Kraftwerken und Industrieanlagen.....	198
6.1.2	NO <sub>x</sub> -Minderungstechnologien .....	199
6.2	Emissionen Energiewirtschaft und Industrie NRW.....	201
6.2.1	Anlagenbestand in NRW (Bezugsjahr 2012) .....	201
6.2.2	Aufteilung der NO <sub>x</sub> -Emissionen 2012 nach Branchen .....	204
6.2.3	Einteilung der NO <sub>x</sub> -Emissionen 2012 nach Anlagenarten.....	205
6.2.4	Trendentwicklung der NO <sub>x</sub> -Emissionen bis 2025.....	206
6.2.4.1	Trendentwicklung Energiewirtschaft .....	206
6.2.4.2	Trendentwicklung Industrie.....	208
6.3	Handlungsfeld 1: Energiewirtschaft .....	209
6.3.1	Strategie 1.1: Primärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken.....	210
6.3.2	Strategie 1.2: Kombination von Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken.....	214
6.3.3	Strategie 1.3: Energiewende .....	219
6.4	Handlungsfeld 2: Industrieanlagen .....	222
6.4.1	Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung .....	222
6.4.2	Steine, Erden, Glas, Keramik, Baustoffe .....	225
6.4.3	Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen.....	228
6.4.4	Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung.....	230
6.4.5	Strategien: Prüfen von Primärmaßnahmen und Anwendung von Sekundärmaßnahmen bei Industrieanlagen .....	233
6.4.6	Minderungspotenzial: Anwendung von Sekundärmaßnahmen bei Industrieanlagen.....	234
6.5	Zusammenfassung.....	236
7	Potenzialanalyse Kleinf Feuerungsanlagen.....	238

---

7.1	Ermittlung des Anlagenbestandes .....	240
7.1.1	Bezugsjahr 2013 (Basisfall).....	240
7.1.2	Anlagenbestand für die Strategien .....	243
7.2	Endenergieverbrauch .....	247
7.3	Emissionsfaktoren und Emissionsaufkommen.....	248
7.4	Zusammenfassung Potenzialanalyse .....	250
7.5	Übertragbarkeit des NO <sub>x</sub> -Minderungspotenzials auf NRW .....	252
7.6	Mögliche Maßnahmen zur Ausschöpfung des Potenzials.....	254
8	Trendentwicklung .....	258
8.1	NO <sub>x</sub> -Emissionen.....	258
8.2	Exkurs: Auswirkungen der höheren realen Abgasemissionen bei Euro 6 Diesel-Pkw auf die Emissionsprognosen.....	261
8.3	NO <sub>2</sub> -Immissionen .....	263
8.3.1	Regionale NO <sub>2</sub> -Hintergrundbelastung .....	263
8.3.2	Immissionen am Belastungsschwerpunkt.....	266
8.3.3	Grobabschätzung: Extrapolation auf alle Verkehrsmessstationen in NRW .....	268
9	Minderungspotenziale von Strategien und Maßnahmen.....	271
9.1	Potenziale zur Minderung der NO <sub>x</sub> -Emissionen in NRW .....	271
9.2	Potenziale zur Minderung der NO <sub>x</sub> -Emissionen im Wirkungsbereich der Maßnahmen (innerstädtisch).....	273
9.3	Potenziale zur Minderung der NO <sub>2</sub> -Hintergrundbelastung in NRW .....	274
9.4	Potenziale zur Minderung der NO <sub>2</sub> -Immissionen an Belastungsschwerpunkten .....	277
9.4.1	Beispiel: Corneliusstraße Düsseldorf.....	277
9.4.2	Grobabschätzung: Extrapolation auf alle Verkehrsmessstationen in NRW für Strategie V1.3 .....	279
9.5	Auswirkungen auf die NO <sub>2</sub> -Immissionsbelastung außerhalb von NRW .....	280
9.6	Bewertung der Minderungspotenziale .....	281
9.6.1	Maßnahmen zur Minderung der NO <sub>x</sub> -Emissionen der Quellengruppe Straßenverkehr .....	284
9.6.2	Maßnahmen zur Minderung der NO <sub>x</sub> -Emissionen der Quellengruppe Binnenschiffsverkehr .....	286
9.6.3	Maßnahmen zur Minderung der NO <sub>x</sub> -Emissionen der Quellengruppe Energieversorgung und Industrie.....	287
9.6.4	Gesamtfazit.....	289

---

A.	Anhang: Energiewirtschaft/Industrie .....	290
B.	Anhang: Kleinf Feuerungsanlagen.....	312
	Ermittlung des Anlagenbestandes .....	313
	Bezugsjahr 2013 (Basisfall) .....	313
	Anlagenbestand für die Strategien.....	321
	Ermittlung des Endenergieverbrauchs.....	322
	Gerätebezogener Energieverbrauch der Feuerungsanlagen .....	323
	Emissionsfaktoren und Emissionsaufkommen.....	331
	Differenzierung der Emissionsfaktoren .....	332
	Berechnung der Emissionsfaktoren .....	334
	Sektorale Emissionsfaktoren und Emissionsaufkommen.....	337
	Literatur .....	339

## Tabellenverzeichnis

Tab. 3.1:	Grobabschätzung der Transportweiten von Stickstoffoxiden in Abhängigkeit von der Emissionshöhe.....	58
Tab. 5.1:	NO <sub>x</sub> -Minderungspotenziale im Straßenverkehr 2020 und 2025 in NRW.....	173
Tab. 5.2:	Übersicht zu den geförderten Objekten im Rahmen des Förderprogramms des BMVI für Binnenschiffe für den Zeitraum 2007-2013 /WSV 2014/ .....	179
Tab. 5.3:	NO <sub>x</sub> -Grenzwerte /UBA 2015a/ und Emissionsfaktoren für Dieselmotoren in der Binnenschifffahrt differenziert nach Baujahresklassen, für Motoren im Bestand und Vorschlag für zukünftige Motoren (TREMODO-Szenario) /IFEU 2013/ <sup>(*)</sup> .....	182
Tab. 5.4:	NO <sub>x</sub> -Minderungspotenziale in der Binnenschifffahrt 2020 und 2025 in NRW....	196
Tab. 6.1:	Übersicht der Anlagenstruktur in NRW mit Anzahl der Anlagenarten, Anlagen und Quellen (Bezugsjahr 2012).....	203
Tab. 6.2:	Abschätzung der Kosten einer SCR-Anlage in Abhängigkeit vom Rauchgasvolumen /Stubenvoll 2002/, /Böhmer et al. 2003/.....	216
Tab. 6.3:	BVT für die Minderung von NO <sub>x</sub> -Emissionen aus Steinkohle- und Braunkohlefeuerungsanlagen /UBA BVT-GFA 2006/ .....	218
Tab. 6.4:	Übersicht der relevanten Anlagenarten, Anzahl der Anlagen und Anteil in % an den Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen, bezogen auf den Sektor „Energiewirtschaft und Industrie“ für das Jahr 2012.....	233
Tab. 7.1:	Daten der installierten Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf im Jahr 2013 /MKULNV 2015/.....	241
Tab. 7.2:	Berechnete Struktur der Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf im Jahr 2013 für den Basisfall .....	243
Tab. 7.3:	Struktur der Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf für die Strategie 1 .....	246
Tab. 7.4:	Struktur der Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf für die Strategie 2 und 3 .....	247
Tab. 7.5:	Endenergieverbräuche für Düsseldorf für Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV - eigene Berechnungen anhand des Anlagenbestandes für das Jahr 2013 (Basisfall) und die Strategien 1 bis 3 .....	248
Tab. 7.6:	Sektorale Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen nach 1. BImSchV in Düsseldorf im Jahr 2013 für den Basisfall und die Strategien 1 bis 3 .....	249
Tab. 7.7:	Zusammengefasste Daten der installierten Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf im Vergleich zu den Mittelwerten aus 15 Städten in NRW <sup>1)</sup> /MKULNV 2015/.....	253
Tab. 8.1:	Trendentwicklung der NO <sub>x</sub> -Emissionen in NRW nach Quellengruppen.....	259
Tab. 8.2:	Trendentwicklung der NO <sub>x</sub> -Emissionen in Deutschland gesamt nach Quellengruppen nach /UBA 2014a/ .....	260
Tab. 9.1:	Potenziale zur Minderung der NO <sub>x</sub> -Emissionen in NRW gegenüber der Trendentwicklung in den Prognosejahren 2020 und 2025 für die betrachteten Strategien.....	272

Tab. 9.2:	Minderungspotenziale für NRW gesamt sowie in den Wirkungsbereichen (jeweils bezogen auf die NO <sub>x</sub> -Emissionen des Straßenverkehrs) gegenüber der Trendentwicklung in den Prognosejahren 2020 und 2025 für die innerstädtisch wirkenden Strategien zur Reduzierung der Verkehrsemissionen.....	274
Tab. 9.3:	Wirkungen der betrachteten NO <sub>x</sub> -Minderungsstrategien auf die regionale NO <sub>2</sub> -Hintergrundbelastung in NRW West im Vergleich zur Trendentwicklung.....	275
Tab. 9.4:	Wirkungen der betrachteten NO <sub>x</sub> -Minderungsstrategien auf die regionale NO <sub>2</sub> -Hintergrundbelastung im Gebiet Rhein / Ruhr im Vergleich zur Trendentwicklung .....	276
Tab. 9.5:	Wirkungen der betrachteten NO <sub>x</sub> -Minderungsstrategien auf die regionale NO <sub>2</sub> -Hintergrundbelastung in NRW Ost im Vergleich zur Trendentwicklung.....	276
Tab. 9.6:	Vergleichende Betrachtung der Strategien und quantifizierten Maßnahmen, sortiert nach Quellengruppen .....	283
Tab. A.1:	Anlagenarten mit den jeweiligen absoluten NO <sub>x</sub> -Emissionen innerhalb einer Branche.....	290
Tab. A.2:	Übersicht der Feuerungsanlagen > 50 MW mit einem Anteil > 1 % an den Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen der Branche „Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie“ und der Anteil der NO <sub>x</sub> -Emissionen bezogen auf den Sektor „Energiewirtschaft und Industrie“ .....	296
Tab. A.3:	Braunkohlekraftwerke mit einer Nennwärmeleistung > 300 MW und einem Anteil >1 % an den Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen bezogen auf den Sektor „Energiewirtschaft und Industrie“ .....	297
Tab. A.4:	Übersicht der Kraftwerke welche zwischen 2012 und 2015 endgültig oder vorläufig stillgelegt wurden /BNA 2015/ .....	298
Tab. A.5:	Übersicht der stillgelegten Feuerungsanlagen > 50 MW mit einem Anteil > 1 % an den Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen der Branche „Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie“ und der Anteil der NO <sub>x</sub> -Emissionen bezogen auf den Sektor Energiewirtschaft und Industrie. ....	300
Tab. A.6:	Übersicht der zwischen 2012 und 2015 in Betrieb genommenen Feuerungsanlagen > 50 MW /BNA 2015/ .....	301
Tab. A.7:	Übersicht der Kraftwerke, welche zwischen 2015 und 2025 endgültig oder vorläufig stillgelegt werden sollen /NEP 2015/ .....	302
Tab. A.8:	Übersicht der Kraftwerke, welche zwischen 2015 und 2025 in Betrieb genommen werden sollen /NEP 2015/ .....	304
Tab. A.9:	Anlagen innerhalb des Anlagentyps Rösten, Schmelzen und Sintern von Erzen mit einem nennenswerten Beitrag an den Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie .....	304
Tab. A.10:	Anlagen innerhalb des Anlagentyps Zementherstellung >=500 t/d mit einem nennenswerten Beitrag an den Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie .....	305
Tab. A.11:	Anlagen innerhalb der Anlagenart Thermische Abfallentsorgung für feste, flüssige, in Behältern gefasste gasförmige, gefährliche Abfälle oder Deponiegas	

	mit einem nennenswerten Beitrag an den Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie .....	306
Tab. A.12:	Anlagen innerhalb des Anlagenart Verarbeitung von Erdöl, Erdölerzeugnissen (Raffinerien) mit einem nennenswerten Beitrag an den Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie.....	309
Tab. B.1:	Detaillierte Daten der installierten Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf im Jahr 2013 /MKULNV 2015/ .....	315
Tab. B.2:	Berechnete Struktur der Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf im Jahr 2013 für den Basisfall .....	316
Tab. B.3:	Bestand an Ölfeuerungen und mittleren Leistungen in Düsseldorf im Jahr 2013 unterteilt in Leistungsbereiche und Altersstufen - Basisfall .....	317
Tab. B.4:	Bestand an Gasfeuerungen und mittlere Leistungen in Düsseldorf im Jahr 2013 unterteilt in Leistungsbereiche und Altersstufen - Basisfall .....	318
Tab. B.5:	Bestand an Feuerstätten für feste Brennstoffe und mittlere Leistungen in Düsseldorf im Jahr 2013 unterteilt in Leistungsbereiche und Altersstufen - Basisfall.....	320
Tab. B.6:	Struktur der Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf für den Basisfall und die Strategien 1 bis 3.....	322
Tab. B.7:	Endenergieverbräuche für Düsseldorf für Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV - eigene Berechnungen anhand des Anlagenbestandes für das Jahr 2013 (Basisfall) und die Strategien 1 bis 3 .....	323
Tab. B.8:	Gerätebezogene Endenergieverbräuche der in Düsseldorf installierten Ölfeuerungen im Jahr 2013 für den Basisfall und für die Strategie 1 .....	325
Tab. B.9:	Gerätebezogene Endenergieverbräuche der in Düsseldorf installierten Gasfeuerungen im Jahr 2013 für den Basisfall und die Strategien 2 und 3.....	326
Tab. B.10:	Gerätebezogene Endenergieverbräuche der in Düsseldorf installierten Feuerstätten für Holz im Jahr 2013 für den Basisfall und die Strategien 2 und 3 ... .....	328
Tab. B.11:	Gerätebezogene Endenergieverbräuche der in Düsseldorf installierten Feuerstätten für Kohlen im Jahr 2013 für den Basisfall .....	331
Tab. B.12:	Differenzierung der Emissionsfaktoren für die Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV .....	333
Tab. B.13:	Anteiliger lastabhängiger Brennstoffeinsatz zur Berücksichtigung der Betriebsweise bei der Berechnung der Emissionsfaktoren für Ölfeuerungen....	335
Tab. B.14:	Anteiliger lastabhängiger Brennstoffeinsatz zur Berücksichtigung der Betriebsweise bei der Berechnung der Emissionsfaktoren für Gasfeuerungen.	336
Tab. B.15:	Anteiliger lastabhängiger Brennstoffeinsatz zur Berücksichtigung der Betriebsweise bei der Berechnung der Emissionsfaktoren für Feuerstätten für feste Brennstoffe .....	337
Tab. B.16:	Sektorale Emissionsfaktoren und Emissionsaufkommen für Feuerungsanlagen nach 1. BImSchV in Düsseldorf für den Basisfall und die Strategien 1 bis 3.....	338

## Abbildungsverzeichnis

Bild 3.1:	Beiträge einzelner Quellengruppen zu den NO <sub>x</sub> -Emissionen in NRW 2012 bzw. 2013 (absolut [kt]; prozentual); Datenquelle: LANUV NRW .....	27
Bild 3.2:	Zeitliche Entwicklung der Beiträge einzelner Quellengruppen zu den NO <sub>x</sub> -Emissionen in NRW; Datenquelle: LANUV NRW .....	28
Bild 3.3:	Reduktionen der NO <sub>x</sub> -Emissionen der einzelnen Quellengruppen in NRW ggü. 1996 (relative Änderung und absolute Änderung [kt/a]) .....	28
Bild 3.4:	Beiträge einzelner Quellengruppen zu den NO <sub>x</sub> -Emissionen 2012 in NRW und benachbarten Bundesländern (Hessen: Bezugsjahr je nach Quellengruppe unterschiedlich), oben: Gesamtemissionen, unten: bezogen auf Einwohner; Datenquelle: LANUV NRW, LUWG, HLUG, LUBW, GAA Hildesheim .....	29
Bild 3.5:	Zeitliche Entwicklung der an die EEA gemeldeten NO <sub>x</sub> -Emissionen (nationale Summen) im Vergleich mit NRW; Datenquelle: EMEP/EEA .....	31
Bild 3.6:	NO <sub>x</sub> -Emissionen (nationale Summen) der europäischen Länder im Vergleich mit NRW, oben: absolute Werte, zweites Bild von oben: bezogen auf Einwohner, unten: Änderung 2012 ggü. 2002 (absolut und relativ); Datenquelle: EMEP/EEA .....	32
Bild 3.7:	Beiträge einzelner Quellengruppen zu den NO <sub>x</sub> -Emissionen 2012 in NRW und benachbarten europäischen Ländern sowie Bundesländern, oben: absolute Werte, unten: Verteilung auf Quellengruppen; Datenquelle: EMEP/EEA .....	34
Bild 3.8:	Beiträge der Quellensektoren nach EMEP zu den NO <sub>x</sub> -Emissionen 2012 in benachbarten europäischen Ländern, oben: absolute Werte, unten: Verteilung auf Quellensektoren; Datenquelle: EMEP/EEA .....	35
Bild 3.9:	Beiträge einzelner Quellengruppen zu den NO <sub>x</sub> -Emissionen 2012 in NRW und benachbarten europäischen Ländern, oben: absolute Werte, unten: Verteilung auf Quellengruppen; Datenquelle: EMEP/EEA .....	36
Bild 3.10:	EMEP Emissionen für Europa (NO <sub>x</sub> , alle Quellengruppen) im 50 km × 50 km-Raster, Bearbeitungsstand 2015 für das Jahr 2012; Quelle: EMEP/EEA .....	38
Bild 3.11:	EMEP Emissionen für Europa (NO <sub>x</sub> , Industrieemissionen) im 50 km × 50 km-Raster, Bearbeitungsstand 2015 für das Jahr 2012; Quelle: EMEP/EEA .....	39
Bild 3.12:	EMEP Emissionen für Europa (NO <sub>x</sub> , Verkehrsemissionen) im 50 km × 50 km-Raster, Bearbeitungsstand 2015 für das Jahr 2012; Quelle: EMEP/EEA .....	40
Bild 3.13:	NO <sub>x</sub> -Emissionen der PRTR-berichtspflichtigen Betriebe in Europa, Anlagendaten 2012, Bearbeitungsstand 2015; Quelle: E-PRTR .....	42
Bild 3.14:	Langzeit-Entwicklung 1984 bis 2013 der NO <sub>2</sub> -Konzentration am Beispiel von fünf Messstandorten, gestrichelte Linie: Luftqualitätsgrenzwert; Quelle: LANUV NRW .....	44
Bild 3.15:	Entwicklung der Stickstoffoxid-Belastung 2004 bis 2013 (Mittelwerte Stationstypen); Quelle: LANUV NRW .....	45
Bild 3.16:	Häufigkeitsverteilung der NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte 2013 nach Stationstypen, gestrichelte Linie: Luftqualitätsgrenzwert; Quelle: LANUV NRW .....	46

Bild 3.17:	Standorte von Luftqualitätsstationen der EEA AirBase, Version 8 in und um NRW .....	47
Bild 3.18:	Jahresmittlere NO <sub>2</sub> -Konzentrationen 2005 bis 2014 in NRW nach Stationstyp; Datenquelle: EEA AirBase, ergänzt um Werte des LANUV .....	48
Bild 3.19:	Jahresmittlere NO <sub>2</sub> -Konzentrationen 2012 in NRW und den angrenzenden Regionen nach Stationstyp; Datenquelle: EEA AirBase .....	49
Bild 3.20:	Troposphärische NO <sub>2</sub> -Säulendichten über Europa, Februar, Mai, August, November 2014, gemessen von OMI; Quelle: KNMI .....	51
Bild 3.21:	Schema der Zusammensetzung der städtischen Gesamtbelastung nach /Lenschow et al. 2001/; Bildquelle: nach /UBA 2011a/.....	53
Bild 3.22:	Beiträge einzelner Quellengruppen zur regionalen NO <sub>2</sub> -Hintergrundbelastung; jeweils Durchschnittswerte 2006 für NRW West, Rhein/Ruhrgebiet und NRW Ost; Datenquelle: /LANUV 2014b/ .....	56
Bild 3.23:	EURAD-Modellrechnung: Jahresmittlere NO <sub>2</sub> -Konzentration im regionalen Hintergrund in NRW 2006 ohne Emissionen in NRW (d.h. Import nach NRW), Rastergröße: 5 km x 5 km; Quelle: /LANUV 2014b/ .....	60
Bild 3.24:	Relativer Beitrag der NO <sub>x</sub> -Emissionen in NRW 2009 zur regionalen Hintergrundkonzentration von NO <sub>2</sub> ; Bildquelle: /TNO 2015b/.....	62
Bild 3.25:	Mittlere NO <sub>2</sub> -Belastung bei Abschaltung der Emissionen in Baden-Württemberg im Jahr 2010; Bildquelle: /LUBW 2014/ .....	64
Bild 3.26:	Zeitliche Entwicklung: Mittlere NO <sub>2</sub> -Hintergrundkonzentrationen (urban und ländlich) in NRW, Belgien, Frankreich, den Niederlanden und Deutschland (durchgezogene Linien) im Vergleich mit den NO <sub>x</sub> -Emissionen pro Einwohner; Datenquelle: EEA AirBase, EMEP/EEA, LANUV NRW .....	66
Bild 3.27:	Zeitliche Entwicklung: Mittlere NO <sub>2</sub> - und NO <sub>x</sub> -Hintergrundkonzentration (urban und ländlich) in NRW im Vergleich mit den NO <sub>x</sub> -Emissionen; Datenquelle: EEA AirBase, LANUV NRW .....	67
Bild 3.28:	Abnahme der NO <sub>x</sub> -Emissionen, der mittleren NO <sub>x</sub> -Konzentrationen sowie der mittleren NO <sub>2</sub> -Konzentrationen 2012 ggü. 2002 in NRW und Deutschland.....	68
Bild 3.29:	Zeitliche Entwicklung der Ozonkonzentrationen (Jahresmittelwerte) in NRW, grün: Waldstationen, blau: Rhein/Ruhr-Stationen; Bildquelle: LANUV NRW.....	69
Bild 3.30:	NO <sub>x</sub> -Quellen global: Beiträge biogener und anthropogener Prozesse; Quelle: /IPCC 2001/ .....	70
Bild 3.31:	NO <sub>x</sub> -Quellen global: Anthropogene Emissionen nach Erdteilen; Quelle: /IPCC 2001/.....	70
Bild 3.32:	Grobabschätzung: Reduktion der regionalen NO <sub>2</sub> -Hintergrundbelastung bei einer hypothetischen Reduktion der NO <sub>x</sub> -Emissionen der Quellengruppen Straßenverkehr, Schiffsverkehr und Industrie sowie aller Quellengruppen (gesamt) um jeweils 25 % für NRW West, Rhein/Ruhrgebiet und NRW Ost.....	72
Bild 3.33:	Beiträge einzelner Quellengruppen zur lokalen NO <sub>x</sub> -Konzentration, jeweils Mittelwerte für verschiedene Typen von Luftqualitätsstationen; Datenquelle: Luftreinhaltepläne NRW .....	73



Bild 3.34:	Grobabschätzung: Reduktion der NO <sub>x</sub> -Konzentration an einem typischen Belastungsschwerpunkt „Verkehr“ und einem typischen Belastungsschwerpunkt „Industrie“ gemäß Bild 3.33 bei einer hypothetischen Reduktion der NO <sub>x</sub> -Emissionen der Quellengruppen Straßenverkehr, Industrie und Hausbrand; gefüllte Balken: Reduktion um jeweils 25 % nur am Belastungsschwerpunkt, schraffierte Balken: Reduktion um jeweils 25 % zusätzlich im urbanen Hintergrund .....	75
Bild 3.35:	Beiträge (absolut; prozentual) der verschiedenen Quellengruppen sowie des regionalen Hintergrunds zur NO <sub>x</sub> -Belastung an der Gladbecker Straße (Essen) 2012; Datenquellen: EEA Airbase, /LANUV 2011/.....	77
Bild 3.36:	Beiträge einzelner Quellengruppen zur lokalen NO <sub>x</sub> -Konzentration an Verkehrsstationen .....	79
Bild 5.1:	NO <sub>x</sub> -Emissionen (t/a; %) im Verkehrssektor NRW 2012/2013.....	85
Bild 5.2:	NO- und NO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für Pkw in g/(Fzg*km), differenziert nach Euronormstufen, nach HBEFA3.2 /INFRAS 2014/ für durchschnittliches Fahrverhalten auf Innerortsstraßen (igo), Bezugsjahr 2015 (oben); daraus resultierendes NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> -Verhältnis (unten) .....	92
Bild 5.3:	NO- und NO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge >3,5 t zul. GG (sNfz) in g/(Fzg*km), differenziert nach Euronormstufen, nach HBEFA3.2 /INFRAS 2014/ für durchschnittliches Fahrverhalten auf Innerortsstraßen (igo), Bezugsjahr 2015.....	94
Bild 5.4:	Gegenüberstellung der Abgasgrenzwerte nach Euronormstufen zu den NO <sub>x</sub> -Emissionsfaktoren für Pkw nach HBEFA3.2 /INFRAS 2014/ für verschiedene Verkehrssituationen auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen (Bezugsjahr: 2015) .....	95
Bild 5.5:	NO <sub>x</sub> -Emissionen des Kfz-Verkehrs NRW (Bezugsjahr 2013) .....	98
Bild 5.6:	Entwicklung der NO <sub>x</sub> -Emissionen des Kfz-Verkehrs NRW 2007 bis 2013 und Trendprognose 2015 bis 2025.....	99
Bild 5.7:	Entwicklung der NO <sub>x</sub> -Emissionen des Kfz-Verkehrs NRW 2007 bis 2013 und Trendprognose 2015 bis 2025, differenziert nach BAB, AGO und IGO.....	101
Bild 5.8:	Anteile der Fahrzeugarten an den Fahrleistungen auf BAB sowie AGO und IGO für 2013 und Trendprognose für 2020 und 2025 .....	102
Bild 5.9:	Fahrleistungen des Kfz-Verkehrs NRW 2013, differenziert nach Fahrzeugkonzepten, und daraus resultierende NO <sub>x</sub> -Emissionen .....	103
Bild 5.10:	Fahrleistungen des Kfz-Verkehrs NRW 2020, differenziert nach Fahrzeugkonzepten, und daraus resultierende NO <sub>x</sub> -Emissionen .....	105
Bild 5.11:	Fahrleistungen des Kfz-Verkehrs NRW 2025, differenziert nach Fahrzeugkonzepten, und daraus resultierende NO <sub>x</sub> -Emissionen .....	106
Bild 5.12:	Handlungsfelder zur Minderung der NO <sub>x</sub> -Emissionen der Quellengruppe Verkehr .....	107
Bild 5.13:	Minderungsstrategien im Handlungsfeld „Fahrzeuge, Antriebe, Kraftstoffe und Flottenmodernisierung“ .....	108

Bild 5.14:	Bestand an Elektrofahrzeugen in Deutschland und in NRW zum 01.01.2015 sowie Wachstumsraten, bezogen auf das Vorjahr /KBA 2015a/ .....	109
Bild 5.15:	Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Förderung Elektromobilität“ .....	110
Bild 5.16:	Überblick über bestehende und mögliche Anreizsysteme in Bezug auf die Anschaffung von Elektrofahrzeugen /MPENRW 2015/ .....	111
Bild 5.17:	Marktanteil 2012 und 2013 von Elektroautos (BEV, battery electric vehicle; Beispielfahrzeug Renault Zoe) und Hybridfahrzeugen (PHEV, plug-in hybrid electric vehicle; Beispielfahrzeug Volvo V60) in Abhängigkeit vom Kaufanreiz (Anteil Prämie an Basispreis) für verschiedene Länder, Quelle: /ICCT 2014/ ...	112
Bild 5.18:	Auswirkungen von Politikmaßnahmen auf den Markthochlauf von Elektrofahrzeugen in Deutschland bis 2020 /ISI 2013/ .....	113
Bild 5.19:	Nicht-monetäre Anreizsysteme zur Förderung des Markthochlaufs von Elektrofahrzeugen /MPENRW 2015/ .....	114
Bild 5.20:	Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Förderung der Elektromobilität“ .....	119
Bild 5.21:	Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Förderung alternativer Kraftstoffe und Antriebe“ .....	121
Bild 5.22:	Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Förderung alternativer Kraftstoffe“ ..	124
Bild 5.23:	Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „weitere Flottenverbesserung“ .....	125
Bild 5.24:	Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „weitere Flottenverbesserung“ .....	130
Bild 5.25:	Minderungsstrategien im Handlungsfeld „Verkehrsverlagerung, Verkehrsvermeidung“ .....	131
Bild 5.26:	Idealer Modal Split nach dem Aktionsplan „Förderung der Nahmobilität NRW“ (wegebezogen); Bildquelle: /MWEBWV 2012/ .....	132
Bild 5.27:	Modal Split Verteilungen (wege- und verkehrsleistungsbezogen) für Mittel- und Großstädte in NRW 2013; nach /TU Dresden 2015/ .....	133
Bild 5.28:	Kumulative Modal Split Verteilungen (wegebezogen) für einzelne Entfernungsbereiche für Mittelstädte (links) und Großstädte (rechts) in NRW 2013; nach /TU Dresden 2015/, sowie Vergleich der mittleren mit den Verteilungen, die sich aus der Steigerung des Radverkehrsanteils auf 25 % und entsprechender Absenkung des Anteils des MIV ergeben .....	133
Bild 5.29:	Mittlere modale Wegelängen für Mittel- und Großstädte in NRW 2013; nach /TU Dresden 2015/ .....	134
Bild 5.30:	Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Veränderung Modal Split im Personennahverkehr“ .....	135
Bild 5.31:	Car Sharing Wachstum in Deutschland getrennt nach stationsbasiert und stationsunabhängig /bcs 2015/ .....	136
Bild 5.32:	Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Veränderung Modal Split im Personennahverkehr“ .....	141
Bild 5.33:	Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Veränderung Modal Split im Personenfernverkehr“ .....	142

Bild 5.34:	Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Veränderung Modal Split im Personenfernverkehr“.....	145
Bild 5.35:	Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Veränderung Modal Split im Güterverkehr“.....	146
Bild 5.36:	Entwicklung des Güterverkehrsaufkommens und der Transportleistung im Versand (V) und Empfang (E) zwischen 2010 und 2030 für Nordrhein-Westfalen, aufgeteilt nach Verkehrsträgern, nach /ITP 2014/.....	147
Bild 5.37:	Entwicklung des güterverkehrsaufkommens- und transportleistungsbezogenen Modal Split im Versand (V) und Empfang (E) zwischen 2010 und 2030 für Nordrhein-Westfalen, aufgeteilt nach Verkehrsträgern, nach /ITP 2014/ .....	147
Bild 5.38:	Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Veränderung Modal Split im Güterverkehr“.....	150
Bild 5.39:	Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Reduktion des innerstädtischen Verkehrs“ .....	151
Bild 5.40:	Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Reduktion des innerstädtischen Verkehrs“ .....	155
Bild 5.41:	Minderungsstrategien im Handlungsfeld „Verkehrslenkung, Verkehrsverflüssigung“.....	156
Bild 5.42:	Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Abbau von Stausituationen“.....	157
Bild 5.43:	Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Abbau von Stausituationen“ .....	165
Bild 5.44:	Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Förderung von kraftstoffsparendem Fahren“ .....	166
Bild 5.45:	Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Förderung von kraftstoffsparendem Fahren“ .....	168
Bild 5.46:	Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Geschwindigkeitsbeschränkungen“ ... ..	169
Bild 5.47:	Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Geschwindigkeitsbeschränkungen“ 172	
Bild 5.48:	Prognose der NO <sub>x</sub> -Emissionen des Schiffsverkehrs NRW bis 2025, differenziert nach Wasserstraßenbereichen (Abschätzung; nach IFEU: mit Berücksichtigung einer zukünftigen Verschärfung der Grenzwerte, dem Austausch von Motoren älterer Schiffe und weiteren Maßnahmen zur Kraftstoffverbrauchsminderung; nach LOHMEYER: ohne Berücksichtigung einer Verschärfung der Grenzwerte, sehr moderater Austausch von Motoren älterer Schiffe).....	176
Bild 5.49:	Minderungsstrategien im Handlungsfeld „Binnenschifffahrt“.....	177
Bild 5.50:	Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Flottenverbesserung“.....	178
Bild 5.51:	Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Flottenverbesserung“ in der Binnenschifffahrt .....	185
Bild 5.52:	Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Alternative Kraftstoffe und Antriebe“ .. ..	186
Bild 5.53:	Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Förderung alternativer Kraftstoffe und Antriebe“ in der Binnenschifffahrt .....	192

Bild 5.54:	Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Optimierung Fahrgeschwindigkeit“ ....	193
Bild 5.55:	Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Optimierung Fahrgeschwindigkeit“ in der Binnenschifffahrt.....	195
Bild 6.1:	Handlungsfelder zur Ermittlung des NO <sub>x</sub> -Minderungspotenzials in NRW .....	197
Bild 6.2:	Schematische Darstellung der Mechanismen zur NO-Bildung /Soete 1981/.....	199
Bild 6.3:	Anzahl der Branchen, Anlagenarten, Anlagen und Quellen (links) und Strukturierung des Anlagenbestandes in NRW am Beispiel des Industriezweiges „Wärme, Bergbau, Energie“ (rechts).....	202
Bild 6.4:	Prozentualer Anteil der NO <sub>x</sub> -Emissionen bezogen auf die Gesamt-NO <sub>x</sub> - Emissionen und absolute Emissionen in Tonnen innerhalb der definierten Branchen für den Sektor Energiewirtschaft und Industrie in NRW 2012 .....	204
Bild 6.5:	Prozentuale Anteile der NO <sub>x</sub> -Emissionen der einzelnen Anlagenarten (Nr.1 bis Nr.128) an den Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen für den Sektor Energiewirtschaft und Industrie in NRW 2012 .....	205
Bild 6.6:	Strategien zur NO <sub>x</sub> -Minderung im Handlungsfeld Energiewirtschaft in NRW....	209
Bild 6.7:	Prozentualer Anteil an den NO <sub>x</sub> -Emissionen der Anlagenart „Feuerungsanlagen feste, flüssige u. gasförmige Brennstoffe >=50 MW“ in Abhängigkeit des eingesetzten Brennstoffes bezogen auf die absoluten NO <sub>x</sub> -Emissionen (108.838 t) dieser Anlagenart (Bezugsjahr 2012) .....	210
Bild 6.8:	Übersicht der Maßnahmen zur NO <sub>x</sub> -Minderung in NRW für die Strategie „Optimierung von Primärmaßnahmen zur NO <sub>x</sub> -Reduzierung bei Braunkohlekraftwerken“ .....	211
Bild 6.9:	Steckbrief für die Strategie „Optimierung von Primärmaßnahmen zur NO <sub>x</sub> - Minderung bei Braunkohlekraftwerken“ .....	213
Bild 6.10:	Übersicht der Maßnahmen zur NO <sub>x</sub> -Minderung in NRW für die Strategie „Kombination von Primär- und Sekundärmaßnahmen zur NO <sub>x</sub> -Reduzierung bei Braunkohlekraftwerken“ .....	215
Bild 6.11:	Steckbrief für die Strategie „Kombination von Primärmaßnahmen und Sekundärmaßnahmen zur NO <sub>x</sub> -Minderung bei Braunkohlekraftwerken“ .....	217
Bild 6.12:	Maßnahme zur NO <sub>x</sub> -Minderung in NRW für die Strategie - Energiewende.....	220
Bild 6.13:	Steckbrief für die Strategie „Energiewende“ .....	221
Bild 6.14:	Strategien zur NO <sub>x</sub> -Minderung im Handlungsfeld Industrieanlagen in NRW.....	222
Bild 6.15:	Anteil in % pro Anlagenart innerhalb der Branche der Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung bezogen auf die Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012).....	223
Bild 6.16:	Anteil in % pro Anlage innerhalb der Anlagenart Rösten, Schmelzen und Sintern von Erzen bezogen auf die Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012) .....	224
Bild 6.17:	Anteil in % pro Anlagenart innerhalb der Branche Steine, Erden, Glas, Keramik, Baustoffe bezogen auf die Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012) .....	226

Bild 6.18:	Anteil in % pro Anlage innerhalb der Anlagenart Zementherstellung $\geq$ 500 t/d, bezogen auf die Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012) .....	227
Bild 6.19:	Anteil in % pro Anlagenart innerhalb der Branche „Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen“ bezogen auf die Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012).....	228
Bild 6.20:	Anteil in % pro Anlage innerhalb der Anlagenart „Thermische Abfallentsorgung für feste, flüssige, in Behältern gefasste gasförmige, gefährliche Abfälle oder Deponiegas“ bezogen auf die Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012) .....	229
Bild 6.21:	Anteil in % pro Anlagenart innerhalb der Branche „Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung“ bezogen auf die Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012).....	231
Bild 6.22:	Anteil in % pro Anlage innerhalb Anlagenart „Verarbeitung von Erdöl, Erdölerzeugnissen (Raffinerien)“ bezogen auf die Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012) .....	232
Bild 6.23:	Steckbrief für die Strategie „Anwendung von Sekundärmaßnahmen in Industrieanlagen“ .....	235
Bild 7.1:	NO <sub>x</sub> -Emissionen in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2012 für unterschiedliche Quellengruppen nach /Hoffmann 2014/ .....	238
Bild 7.2:	Vergleich der Strategien 1 bis 3 bezüglich des Endenergieverbrauchs (EEV) und des Aufkommens an NO <sub>x</sub> in Düsseldorf für Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Bezug auf den Basisfall für das Jahr 2013 (entspricht 100 %)...	251
Bild 7.3:	Steckbrief zur Strategie „Modernisierung der Heizgeräte“ .....	255
Bild 7.4:	Steckbrief zur Strategie „Brennstoffwechsel“ .....	256
Bild 7.5:	Steckbrief zur Strategie „Verbessertes Nutzerverhalten“ .....	257
Bild 8.1:	Trendentwicklung der NO <sub>x</sub> -Emissionen in NRW nach Quellengruppen .....	260
Bild 8.2:	NO <sub>x</sub> -Emissionen in NRW nach Quellengruppen: Szenario „Euro 6 korrigiert“ im Vergleich mit der Trendentwicklung.....	263
Bild 8.3:	Trendentwicklung der regionalen NO <sub>2</sub> -Hintergrundbelastung in NRW mit Beiträgen der relevanten Quellengruppen sowie des Imports (oben); Trendentwicklung der Anteilswerte der Quellengruppen (Mitte); Minderungen der Beiträge in der Trendentwicklung ggü. 2012 (unten) .....	265
Bild 8.4:	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte 2012 und 2014 der Luftqualitätsmessstationen Corneliusstraße in Düsseldorf und Gladbecker Straße in Essen sowie der zugehörigen Hintergrundstationen mit Trendprognosen für 2020 und 2025 .....	268
Bild 8.5:	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte aller Verkehrsmessstationen in NRW 2014 (Quelle: /UBA 2015c/) sortiert nach Größe im Vergleich mit der Grobschätzung für die Trendprognose (2020 und 2025).....	269
Bild 9.1:	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte 2012 sowie Trendprognosen für 2020 und 2025 im Vergleich mit den Wirkungen der Strategien aus Tab. 9.2 am Beispiel des	

---

	verkehrsbeeinflussten Belastungsschwerpunktes Corneliusstraße in Düsseldorf .....	279
Bild 9.2:	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte aller Verkehrsmessstationen in NRW 2014 (Quelle: /UBA 2015c/) sortiert nach Größe, sowie Grobschätzung für die Trendprognose (2020 und 2025) und Umsetzung der Strategie V1.3 für 2020.....	280
Bild B.9.3:	Vorgehensweise zur Berechnung des Emissionsaufkommens aus Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Düsseldorf.....	313
Bild B.9.4:	Vorgehensweise zur Ermittlung der Emissionsfaktoren und des Emissionsaufkommens aus Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV .....	332

# 1 Kernaussagen

Das vorliegende Gutachten lässt sich in folgenden Kernaussagen zusammenfassen.

**1. Ohne zusätzliche Maßnahmen ist eine Einhaltung des Grenzwerts für NO<sub>2</sub> (Jahresmittelwert) an vielen Belastungsschwerpunkten bis 2020 nicht möglich.**

Die voraussichtliche Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen ohne zusätzliche Maßnahmen ist in Kapitel 8 dargestellt und berücksichtigt insbesondere folgende bereits beschlossene Maßnahmen/Entwicklungen (Trendbetrachtung):

- Verbindlich angezeigte Stilllegungen von Kraftwerken (6.2.4.1, Tab. A.4)
- Die voraussichtliche Entwicklung des Kraftwerksparks laut Netzentwicklungsplan 2015 (6.2.4.1, Tab. A.7)
- Die vorgeschriebenen Nachrüstungen an Industrieanlagen aufgrund geänderter Vorschriften (6.2.4.2)
- Die reguläre KFZ-Flottenentwicklung hin zu emissionsärmeren Fahrzeugen gemäß der EU-Abgasgesetzgebung

Im Strommarktgesetz ist die Überführung von 5 Braunkohleblöcken in die Sicherheitsreserve geregelt. Das Gesetz war zum Zeitpunkt der Gutachtenerarbeitung noch nicht in Kraft, deshalb konnte es nicht berücksichtigt werden. Aufgrund anderer Prognosen wurde für 4 der Blöcke ohnehin eine Stilllegung angenommen, sodass lediglich die Stilllegung von Neurath C in der Trendbetrachtung fehlt.

Das Kraftwerkserneuerungsprogramm NRW legt den Ersatz alter Braunkohleblöcke durch Neuanlagen fest. Die Inbetriebnahme des derzeit im Genehmigungsverfahren befindlichen BoAplus Blockes und die Stilllegung der alten Blöcke am Standort wurden in der Trendbetrachtung berücksichtigt.

Aus dem Klimaschutzplan NRW wurde die konkrete Zielsetzung 30 % Strom aus erneuerbaren Energien im Jahr 2025 aufgegriffen und in die Strategie Energiewende einbezogen. Weitere Maßnahmen aus den Bereichen Energie, Industrie und Verkehr sind bei den Strategien und Maßnahmen teilweise eingeflossen, aber nicht in die Trendbetrachtung eingegangen, da sie entweder für die NO<sub>x</sub>-Minderung nicht relevant sind oder aber nicht mit konkreten Emissionsminderungen unterlegt werden können.

Aufgrund der bereits beschlossenen Maßnahmen/Entwicklungen wird aus heutiger Sicht erwartet, dass die NO<sub>x</sub>-Gesamtemissionen in NRW von 307 kt im Jahr 2012 auf 255 kt im Jahr 2020 zurückgehen (vgl. Tab. 8.1).

Daraus ergibt sich, dass die NO<sub>2</sub>-Belastung im regionalen Hintergrund in diesem Zeitraum von Werten zwischen 25 µg/m<sup>3</sup> (Rhein/Ruhrgebiet) und 12 µg/m<sup>3</sup> (NRW Ost, ländlich geprägt) auf Werte zwischen 17 µg/m<sup>3</sup> bzw. 8 µg/m<sup>3</sup> zurückgeht (vgl. Bild 8.3).

Auch Luftschadstoffimporte vornehmlich aus den westlichen Nachbarstaaten tragen zur NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW bei. Der Beitrag des Imports zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW liegt zwischen 5 und 8 µg/m<sup>3</sup> (vgl. Bild 3.22). Es wird erwartet, dass die Importe durch die Emissionsentwicklung in den Nachbarländern ebenfalls sinken. Diese Entwicklung ist bereits in die Betrachtung für den regionalen Hintergrund eingeflossen.

Für die Situation an innerstädtischen Belastungsschwerpunkten wird erwartet, dass durch die reguläre KFZ-Flottenentwicklung hin zu emissionsärmeren Fahrzeugen die Anzahl der Stationen mit Überschreitungen des Luftqualitätsgrenzwerts für den Jahresmittelwert von NO<sub>2</sub> (40 µg/m<sup>3</sup>) von ca. 60 in 2012 auf ca. 20 in 2020 zurückgeht (vgl. Bild 8.5).

Zur Einhaltung des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes an allen Messstationen und landesweit besteht somit weiterer Handlungsbedarf, der über die bereits beschlossenen Maßnahmen hinausgeht. Die im Gutachten ermittelten Minderungspotenziale beziehen sich immer auf diesen Trend und stellen somit jeweils die zusätzliche Minderung gegenüber der Trendbetrachtung dar.

**2. Rund die Hälfte der NO<sub>x</sub>-Emissionen kommt aus Energiewirtschaft und Industrie, etwa ein Viertel vom motorisierten Straßenverkehr. Dies sind damit die Hauptverursacher. Immissionsseitig wirken sich die Emissionen dieser Quellengruppen jedoch unterschiedlich stark aus.**

Der Beitrag aus Energiewirtschaft und Industrie zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW lag im Jahr 2012 bei 163 kt (Anteil: 53 %), der Beitrag des motorisierten Straßenverkehrs lag bei 80 kt (Anteil: 26 %). Alle weiteren Quellengruppen trugen jeweils weniger als 10 % zu den Emissionen bei (vgl. Tab. 8.1).

Es wird erwartet, dass aufgrund der bereits beschlossenen Maßnahmen/Entwicklungen, wie Stilllegungen und gesetzlich vorgeschriebene Anlagennachrüstungen bis 2020 der Beitrag zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Energiewirtschaft und Industrie um 5 % auf dann 156 kt (Anteil 61 %) und der Beitrag des motorisierten Straßenverkehrs durch die Einführung der verschärften europäischen Abgasnorm sogar um 50 % auf dann 40 kt (Anteil: 16 %) zurückgeht (vgl. Tab. 8.1).

Von der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in Höhe von 25 µg/m<sup>3</sup> im Rhein/Ruhrgebiet im Jahr 2012 stammen 1,4 µg/m<sup>3</sup> aus Energiewirtschaft und Industrie (Anteil: 6 %). Der Beitrag des motorisierten Straßenverkehrs zur regionalen Hintergrundbelastung ist größer und liegt bei 9,5 µg/m<sup>3</sup> (Anteil: 38 %). Die Emissionen des motorisierten Straßenverkehrs tragen also deutlich stärker zur NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung bei als die Emissionen aus Energiewirtschaft und Industrie (vgl. Bild 3.22). Dies liegt an der Lage und der Quellhöhe der Energie- und Industrieanlagen und der sich daraus ergebenden weiträumigen Verteilung der Emissionen,



die zu einem geringeren Immissionsbeitrag führen. Die weiteren Beiträge zur NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung kommen aus den Nachbarländern (Import 7,1 µg/m<sup>3</sup>), dem sonstigen Verkehr (Schiene/Flug/Offroad 4,3 µg/m<sup>3</sup>) und dem Schiffsverkehr (2,8 µg/m<sup>3</sup>).

Immissionsseitig wirken sich die bereits beschlossenen/Maßnahmen/Entwicklungen im Jahr 2020 wie folgt aus: Der Beitrag des motorisierten Straßenverkehrs zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung im Rhein/Ruhrgebiet sinkt auf knapp 5 µg/m<sup>3</sup> und der Beitrag der Energiewirtschaft und Industrie bleibt nahezu konstant (vgl. Bild 8.3). Dies liegt an der unterschiedlichen Trendentwicklung und dem unterschiedlichen Immissionsbeitrag der Emissionen dieser Quellengruppen (s.o.).

An einem exemplarisch ausgewählten innerstädtischen Belastungsschwerpunkt, der Corneliusstraße in Düsseldorf, lag die NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung 2012 bei 64 µg/m<sup>3</sup>. Für das Jahr 2020 bewirken die bereits beschlossenen Maßnahmen/Entwicklungen an der Düsseldorfer Corneliusstraße, dass die Gesamtbelastung auf 47 µg/m<sup>3</sup>, das heißt um 17 µg/m<sup>3</sup>, sinkt. (vgl. Bild 8.4 und Bild 9.1). Diese Reduktion setzt sich zusammen aus einer Minderung des regionalen Hintergrunds um 8 µg/m<sup>3</sup> und einer Minderung des Beitrags des lokalen Straßenverkehrs um 9 µg/m<sup>3</sup>.

Für den Belastungsschwerpunkt Corneliusstraße in Düsseldorf und ähnlich hoch belastete innerstädtische Bereiche reicht der Rückgang allein aufgrund der bereits beschlossenen Maßnahmen/Entwicklungen nicht aus, um im Jahr 2020 den Grenzwert für NO<sub>2</sub> einzuhalten (vgl. Bild 9.2).

### **3. Die höchsten Emissionsminderungen durch zusätzliche Maßnahmen sind im Sektor Energiewirtschaft / Industrie zu erreichen.**

Das größte berechnete Emissionsminderungspotenzial besteht durch Optimierung der Feuerungstechnik und gleichzeitige Nachrüstung mit S(N)CR-Technologie. Die Umsetzung dieser Maßnahmen benötigt durch gesetzliche Änderungen und Anpassungsfristen längere Zeiträume und die Auswirkungen werden für 2025 betrachtet. Durch die vorgeschlagenen Maßnahmen können im Jahr 2025 bei den 11 größten Braunkohlekraftwerken NRW die NO<sub>x</sub>-Emissionen um 20 kt reduziert werden (vgl. Bild 6.11 und Tab. 9.6). Diese Minderungen ergeben sich zusätzlich zum Trend.

Emissionsminderungen von 8 kt sind durch die vergleichsweise kostengünstige Optimierung der Feuerungstechnik (vgl. Bild 6.9 und Tab. 9.6) möglich, während durch aufwändigere Nachrüstung mit S(N)CR-Technologie die Emissionen dieser Anlagen um weitere 12 kt reduziert werden könnten.

Im Bereich der Industriefeuerungen könnten durch Nachrüstung mit S(N)CR-Technologie im Jahr 2025 die NO<sub>x</sub>-Emissionen um ca. 9 kt zusätzlich zum Trend reduziert werden (vgl. Bild 6.23 und Tab. 9.6).

**4. Die Umsetzung der NO<sub>x</sub>-Minderungsmaßnahmen im Sektor Energiewirtschaft / Industrie bis zum Jahr 2025 würde aus heutiger Sicht zu einer Minderung der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung im Rhein / Ruhrgebiet um ca. 0,25 µg/m<sup>3</sup> zusätzlich zum Rückgang durch die bereits beschlossenen Maßnahmen/Entwicklungen führen. Das entspricht einem Anteil von 1,7% der Hintergrundbelastung.**

Die immissionsseitigen Wirkungen der Emissionsminderungen im Sektor Energiewirtschaft / Industrie sind in NRW gering (vgl. Tab. 9.3 bis Tab. 9.5), da die NO<sub>x</sub>-Emissionen dieser Quellengruppe aufgrund der Quellhöhen weniger stark zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW beitragen als die Emissionen anderer Quellengruppen (vgl. Bild 3.22). Außerhalb von NRW (bis 40km) sind Minderungen bis zu 3 % der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung möglich (vgl. Abschnitt 9.5).

**5. Emissions-Minderungen zwischen 1,4 und 2,5 kt können im Bereich Straßenverkehr durch Maßnahmen wie die Weiterentwicklung der Umweltzonen, Geschwindigkeitsbeschränkungen und Citymaut zusätzlich zu den bereits beschlossenen Maßnahmen/Entwicklungen bereits 2020 erreicht werden (vgl. Tab. 9.1). Längerfristig weist auch die Elektromobilität hohe Potenziale auf.**

Eine Weiterentwicklung aller bestehenden Umweltzonen in NRW mit Zufahrt nur für Fahrzeuge mit besonders geringen NO<sub>x</sub>-Emissionen („Umweltzone blau“) weist ein theoretisches maximales Minderungspotenzial von rund 2,4 kt NO<sub>x</sub> auf (vgl. Bild 5.24).

Geschwindigkeitsbeschränkungen von 100 km/h bzw. 120 km/h auf Autobahnen weisen jeweils ein theoretisches maximales Minderungspotenzial von rund 2,6 bzw. 1,8 kt NO<sub>x</sub> auf (vgl. Bild 5.47).

Durch die Einführung einer City-Maut in Städten mit mehr als 200.000 Einwohnern können Emissionsminderungen in Höhe von 1,4 kt erzielt werden, wenn man annimmt, das wie in London in City-Maut-Gebieten die Fahrleistung um 27 % sinkt (Bild 5.40).

Die Elektromobilität weist ähnlich hohe Minderungspotenziale auf, hier ist der Zeithorizont jedoch etwas langfristiger (vgl. Bild 5.20), dafür können auf lange Sicht die direkten Emissionen des Straßenverkehrs auf ein Minimum reduziert werden. Durch Umsetzung der Modellstadt Elektromobilität in allen NRW Städten mit komplett elektrifizierten Bus- und Taxiflotten sowie Transporterflotten, die die Hälfte ihrer Fahrleistungen mit elektrischen Antrieben erbringen, und 750.000 Elektrofahrzeugen insgesamt in NRW, wäre im Jahr 2025 eine Minderung der Emissionen um ca. 2,2 kt möglich.

**6. Hohe lokale NO<sub>2</sub>-Immissionsminderungen insbesondere im Bereich der innerstädtischen Belastungsschwerpunkte können durch Maßnahmen wie Weiterentwicklung der Umweltzonen, City-Maut und außerdem Verkehrssteuerungen erreicht werden. Diese können für eine Grenzwerteinhaltung bis 2020 ausschlaggebend sein.**

Aus heutiger Sicht führen an hochbelasteten Straßen wie der Corneliusstraße in Düsseldorf folgende Maßnahmen im Jahr 2020 zu den höchsten NO<sub>2</sub>-Immissionsminderungen zusätzlich zur Minderungen durch die reguläre Kfz-Flottenentwicklung:

Durch Einführung einer „Umweltzone blau“ kann die NO<sub>2</sub>-Belastung im Jahr 2020 um bis zu 12 µg/m<sup>3</sup> gemindert werden, durch eine City-Maut um bis zu 6 µg/m<sup>3</sup> und durch umweltsensitive Verkehrssteuerung/verkehrsadaptive Signalsteuerung lokal um bis zu 2 µg/m<sup>3</sup> (vgl. Kap. 9.4 und Bild 9.1).

Maßnahmen zur Forcierung der Elektromobilität weisen je nach Stringenz der Einführung längerfristig deutliche Minderungspotenziale (vergl. Bild 9.1) auf. Mit den Annahmen für eine Modellstadt Elektromobilität ergibt sich bezogen auf das Jahr 2025 eine NO<sub>2</sub>-Immissionsminderung in der Größenordnung der Wirkung der Umweltzone blau (vergl. Bild 9.1).

Die Kombination einer Vielzahl von Maßnahmen zur Förderung des Rad- und Fußverkehrs, des Car Sharings sowie des ÖPNV bewirkt den Rechnungen zufolge zwar eine geringere NO<sub>2</sub>-Minderung als die vorgenannten Maßnahmen (vergl. Bild 9.1). Diese Maßnahmen sind aber wichtig, um insgesamt eine „Mobilitätswende“ einzuleiten.

Im Vergleich zu diesen vor allem innerstädtisch lokal wirksamen Maßnahmen ist die immissionsseitige Wirkung von Tempolimits auf Autobahnen an innerstädtischen Belastungsschwerpunkten oft gering, es sei denn Autobahnemissionen wirken direkt ein, wie z.B. in Essen Frillendorf oder Leverkusen. Insoweit können auch Tempolimits in Einzelfällen an Belastungsschwerpunkten die Belastung reduzieren. Die lokale Situation in einzelnen Städten konnte im Rahmen der strategischen Untersuchung dieses Gutachtens nicht detailliert betrachtet werden.

**7. Der Sektor Binnenschifffahrt ist insbesondere entlang des Rheins relevant. Aufgrund der Vielzahl von ausländischen Schiffen sind europäische Regelungen anzustreben.**

Der Beitrag der Binnenschifffahrt zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW liegt 2012 bei knapp 21 kt (Anteil: 7 %, vgl. Tab. 8.1), der Beitrag zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW im Gebiet Rhein/Ruhr bei knapp 3 µg/m<sup>3</sup> (11 %, vgl. Bild 3.22 und Bild 8.3). Die Beiträge zur lokalen NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung können nah am Rhein noch höher liegen.

Aus heutiger Sicht können im Jahr 2020 emissionsseitig durch Einsatz von Liquid Natural Gas (LNG) anstelle von Diesel als Kraftstoff für Binnenschiffe 0,8 kt NO<sub>x</sub> (vgl. Bild 5.53) gemindert werden. Durch Nachrüstung der Schiffsmotoren mit NO<sub>x</sub>-Minderungstechnik bzw. durch Maßnahmen zur Optimierung der Fahrgeschwindigkeit könnten jeweils 0,4 kt NO<sub>x</sub> (vgl. Bild 5.51, Bild 5.55 und Tab. 9.6) eingespart werden.

Dies würde zu Minderungen der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung im Gebiet Rhein/Ruhr zwischen 0,05 und 0,13 µg/m<sup>3</sup> führen (vgl. Tab. 9.4). Die lokalen Auswirkungen an Belastungsschwerpunkten im Einflussbereich des Rheins werden eher höher ausfallen. Dies muss jeweils über lokale Detailanalysen ermittelt werden.

Nur ein vergleichsweise kleiner Teil der Schiffsbewegungen in NRW wird von der deutschen Binnenschiff flotte erbracht. In Deutschland entfallen ca. 70% der Beförderungsleistung auf Schiffe unter nicht-deutscher Flagge (vgl. Abschnitt 5.4.1). Insoweit sind europäische Lösungen anzustreben.

#### **8. Insgesamt empfehlen die Gutachter folgende Maßnahmen vorrangig weiter zu verfolgen:**

- Förderung Elektromobilität im Rahmen der Entwicklung einer NRW-Modellstadt
- Einführung einer „Umweltzone blau“
- Einführung einer City-Maut in großen Ballungsräumen
- Veränderung des Modal Split durch eine Vielzahl von Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs, des Fußverkehrs, des Car Sharing und des ÖPNV
- Optimierung der Feuerungstechnik und gleichzeitige Nachrüstung mit S(N)CR-Technologie bei den 11 größten Braunkohlekraftwerken in NRW

Es wurde eine Rangreihung aller betrachteten Maßnahmen unter Berücksichtigung der Aspekte NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung in NRW gesamt, Emissionsminderung im städtischen Wirkungsbereich und Reduktion der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung durchgeführt.

Unter der Voraussetzung, dass die Verordnung zur Kennzeichnung der Kraftfahrzeuge mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung (35. BImSchV) entsprechend fortgeschrieben wird, kann die Einführung einer „Umweltzone blau“ schnell zu Verbesserungen der Luftqualität führen. Gleiches gilt für die City-Maut, wenn die entsprechenden rechtlichen Voraussetzungen geklärt sind. Langfristiger wirken Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität und zur Veränderung des Modal Split. Diese sind auch in Bezug auf die Einleitung einer „Mobilitätswende“ von Bedeutung und deren zeitnahe Umsetzung wichtig.

In Städten mit besonders hoher lokaler NO<sub>2</sub>-Belastung sollte daher die Einführung einer „Umweltzone blau“ geplant bzw. die Umsetzbarkeit einer City-Maut (in großen Ballungsräumen) geprüft werden. Gleichzeitig sollten Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität sowie zur Veränderung des Modal Split zugunsten von Rad- und Fußverkehr, ÖPNV und Car Sharing ergriffen werden. Dies kann z. B. im Sinne von

---

Modellvorhaben durch die Förderung von NRW-Modellstädten für Elektromobilität oder Radverkehr unterstützt werden.

Braunkohlekraftwerke sollten nur dann zusätzlich zur Optimierung der Feuerungstechnik auch mit S(N)CR-Technologie nachgerüstet werden, wenn sie nicht aufgrund der Energiewende in absehbarer Zeit abgeschaltet werden.

Neben diesen in die Hauptempfehlungen der Gutachter eingegangenen Maßnahmen enthält das Gutachten weitere Maßnahmen wie z.B. Nachrüstungen an Industrieanlagen oder Tempolimits, die im Vergleich ebenfalls nicht unerhebliche Minderungspotenziale bezüglich der Emissionen aufweisen.

## 2 Aufgabenstellung

Der EU-Grenzwert für Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) wird in NRW in vielen Städten überschritten. Für einen verbesserten Gesundheitsschutz der Bevölkerung besteht deshalb Handlungsbedarf für Maßnahmen zur Minderung der Stickstoffdioxid(NO<sub>x</sub>)-Emissionen. Es sollen daher mögliche Minderungsmaßnahmen bezüglich ihres Minderungspotenzials, aber auch bezüglich ihrer ökologischen und ökonomischen Auswirkungen bewertet und auf ihre Umsetzbarkeit geprüft werden.

Es sind daher solche Maßnahmen und Minderungspotenziale zu identifizieren, die

- effizient (in Bereichen bedeutender Emittenten),
- kostengünstig (hoher ökonomischer Wirkungsgrad, also geringe Vermeidungskosten),
- kurz-/mittelfristig verfügbar (in Bezug auf Technologie und rechtlichen Rahmen) und
- ökologisch unbedenklich (mit den geringsten Nebenwirkungen)

sind.

Dabei sollen insbesondere solche Maßnahmen betrachtet werden, die nicht nur lokal am Belastungsschwerpunkt wirken, sondern vor allem auch auf die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung. Maßnahmen mit lokal positiver Wirkung, die aber in Summe zu Mehrbelastungen führen können (wie z.B. Pfortnerampeln oder Lkw-Durchfahrtsverbote) werden explizit ausgeschlossen.

In Kapitel 3 wird die Ist-Situation in NRW hinsichtlich NO<sub>x</sub>-Emissionen und NO<sub>2</sub>-Immissionen im Vergleich mit den benachbarten Bundesländern sowie den europäischen Nachbarstaaten dargestellt. Weiterhin werden übergeordnete Fragestellungen zu den Zusammenhängen zwischen Emissionen und Immissionen beantwortet.

In Kapitel 4 werden grundlegende Begriffe definiert.

In den Kapiteln 5, 6 und 7 werden Strategien zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen für die Quellengruppen Verkehr, Industrie und Kleinf Feuerungsanlagen vorgestellt. Es werden Maßnahmen zur Umsetzung der Strategien angegeben und soweit möglich wird ihre Emissionsminderung quantifiziert.

In Kapitel 8 werden die Ergebnisse zusammengeführt. Die Emissionsminderungen der quantifizierten Strategien bzw. Maßnahmen gegenüber der Trendentwicklung werden verglichen und es werden jeweils die Auswirkungen auf die NO<sub>2</sub>-Belastung abgeschätzt. In einer Matrix werden alle quantifizierten Maßnahmen vergleichend dargestellt.

### 3 Situationsbeschreibung und übergeordnete Fragestellungen zu den Emissionen und Immissionen der Stickstoffoxide in NRW

Die vorliegenden Daten über die historische Entwicklung von Emissionen und Immissionen in NRW zeigen, dass eine Senkung der NO<sub>x</sub>-Emissionen nicht in gleichem Maße zu einer Senkung der NO<sub>2</sub>-Immissionen führt. Vor der separaten Betrachtung der wichtigsten Quellengruppen und der detaillierten Untersuchung einzelner Minderungsmaßnahmen werden daher folgende Fragestellungen übergeordnet behandelt:

- 1) *Wie hoch sind die Beiträge der einzelnen Quellengruppen zur NO<sub>2</sub>-Konzentration in NRW?*
- 2) *Wie hoch sind der Beitrag von Emissionen außerhalb von NRW zu den NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in NRW (Import) und der Beitrag von Emissionen innerhalb von NRW zu den NO<sub>2</sub>-Konzentrationen außerhalb von NRW (Export)?*
- 3) *Wie haben sich die NO<sub>x</sub>-Emissionen und die NO<sub>2</sub>-Immissionen in den letzten Jahren entwickelt und warum sinken die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen nicht in gleichem Maße wie die NO<sub>x</sub>-Emissionen?*
- 4) *Wie wirken sich NO<sub>x</sub>-Emissionsminderungen in den einzelnen Quellengruppen auf die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in NRW aus?*

Zunächst wird jeweils ein Überblick zur Situation bezüglich der NO<sub>x</sub>-Emissionen und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen gegeben. Im Anschluss daran werden die Zusammenhänge zwischen NO<sub>x</sub>-Emissionen und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen untersucht. Dazu werden unter anderem Ergebnisse vorhandener Modellrechnungen, die im Auftrag des LANUV mit dem EURAD-Modell durchgeführt worden sind, zusammengefasst.

#### 3.1 Situationsbeschreibung

Es wurden folgende Daten zu den **NO<sub>x</sub>-Emissionen** in NRW, einzelnen Bundesländern und Europa betrachtet.

- Emissionsdaten aller relevanten Quellengruppen in **NRW** der Jahre 2012 bzw. 2013 wurden aus den entsprechenden Emissionskatastern aggregiert und zusammengefasst. Die zeitliche Entwicklung der Emissionen seit 1996 wurde vom LANUV NRW zur Verfügung gestellt.
- Für die **benachbarten Bundesländer** Rheinland-Pfalz, Hessen und Niedersachsen sowie zusätzlich zum Vergleich für Baden-Württemberg wurden die NO<sub>x</sub>-Emissionen der relevanten Quellengruppen in den entsprechenden Emissionskatastern recherchiert.
- Im Rahmen von EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) werden die von den **Europäischen Mitgliedsländern** gemeldeten Emissionen regelmäßig

für die Modellierung konsistent aufbereitet<sup>1</sup>. Neben Rasterdaten ist auch die zeitliche Entwicklung der nationalen Emissionssummen einzelner Länder verfügbar.

- Es gibt verschiedene EU-Verordnungen, nach denen von bestimmten Branchen und ab bestimmten Betriebsgrößen Emissionen gemeldet werden müssen. Am weitesten geht die **PRTR**-Verordnung (Pollutant Release and Transfer Register), die seit 2006 Betriebe ab einer jeweils branchenabhängigen Größe verpflichtet, Informationen zu Emissionen an die jeweiligen nationalen Behörden zu berichten, um sie in das europäische Register aufzunehmen.

Weiterhin wurden folgende Datenquellen zu **NO<sub>2</sub>-Konzentrationen** (Messungen bzw. Modellrechnungen) analysiert:

- Auswertungen des LANUV der **Luftqualitätsstationen in NRW** (Bericht des LANUV zur Stickstoffdioxid-Immissionssituation in NRW).
- Die **Luftqualitäts-Datenbank der EEA** (European Environmental Agency) enthält Daten repräsentativer Luftqualitätsstationen aus über 30 Ländern, die der EEA gemeldet wurden<sup>2</sup>. Das letzte vorhandene Jahr ist aktuell das Jahr 2012. Diese Daten wurden für NRW und die angrenzenden Länder ausgewertet.
- Auf dem EOS-Aura Satelliten betreibt das KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) das Ozone Monitoring Instrument (OMI). Mit diesem Instrument werden weltweit **troposphärische NO<sub>2</sub>-Säulendichten** gemessen. Für die vergangenen Jahre sind jeweils Monatsmittelwerte für Europa auf der Webseite des KNMI verfügbar. Die für NRW relevanten Daten wurden analysiert.

### 3.1.1 NO<sub>x</sub>-Emissionen

Im folgenden Abschnitt wird ein Überblick über die relevanten Quellengruppen für NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW und seinen Nachbarländern (Bundesländer und Europa) gegeben. Dabei steht eine globale Betrachtungsweise der Emissionen im Vordergrund, detailliertere Untersuchungen zu den Emissionen des Verkehrs, der Energiewirtschaft, der Industrie und der Kleinf Feuerungsanlagen in NRW folgen in den Kapiteln zu den entsprechenden Sektoren.

#### 3.1.1.1 Emissionen in NRW

In Bild 3.1 sind die Beiträge aller relevanten Quellengruppen zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW entsprechend den jeweiligen Emissionskatastern 2012 bzw. 2013 anteilig ausgewiesen.

<sup>1</sup> [http://www.ceip.at/ms/ceip\\_home1/ceip\\_home/webdab\\_emepdatabase/emissions\\_emepmodels/](http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/emissions_emepmodels/)

<sup>2</sup> <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/airbase-the-european-air-quality-database-8>



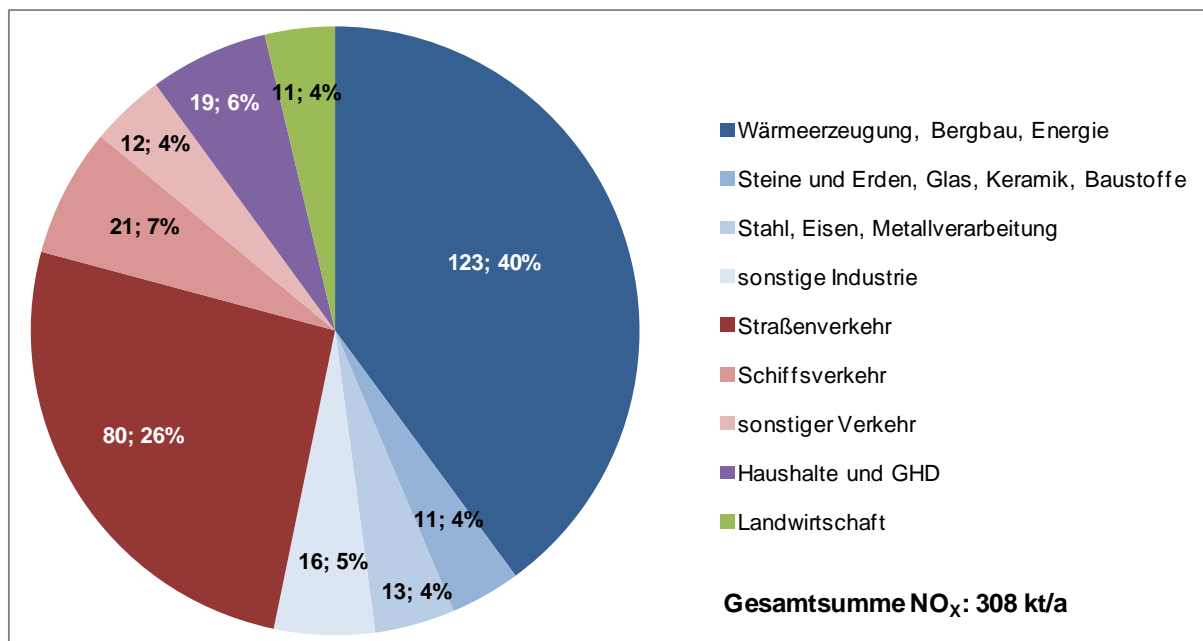


Bild 3.1: Beiträge einzelner Quellengruppen zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW 2012 bzw. 2013 (absolut [kt]; prozentual); Datenquelle: LANUV NRW

Insgesamt wurden in 2012 in NRW Stickstoffoxide in Höhe von 308 kt emittiert. Dazu trägt die Industrie (in Blautönen eingefärbt) in NRW mehr als die Hälfte bei. Innerhalb dieser Quellengruppe ist der Beitrag der Branche „Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie“ zu den Gesamtemissionen mit 40 % am höchsten, gefolgt von den Beiträgen der Branchen „Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe“ (4 %) und „Stahl, Eisen, Metallverarbeitung“ (ebenfalls 4 %).

Die nächstgrößere Quellengruppe ist der Verkehr mit 37 %, differenziert nach Straßenverkehr (26 %), Schiffsverkehr (7 %) sowie sonstigem Verkehr (Flug, Schiene, Offroad, 4 %).

Weiterhin tragen Kleinf Feuerungsanlagen in Haushalten sowie im Sektor GHD (Gewerbe, Handel, Dienstleistungen) mit 6 % und die Landwirtschaft mit 4 % zu den Stickstoffoxid-Emissionen in NRW bei.

In Bild 3.2 ist die zeitliche Entwicklung der Beiträge einzelner Quellengruppen zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW zwischen 1996 und 2012 dargestellt.

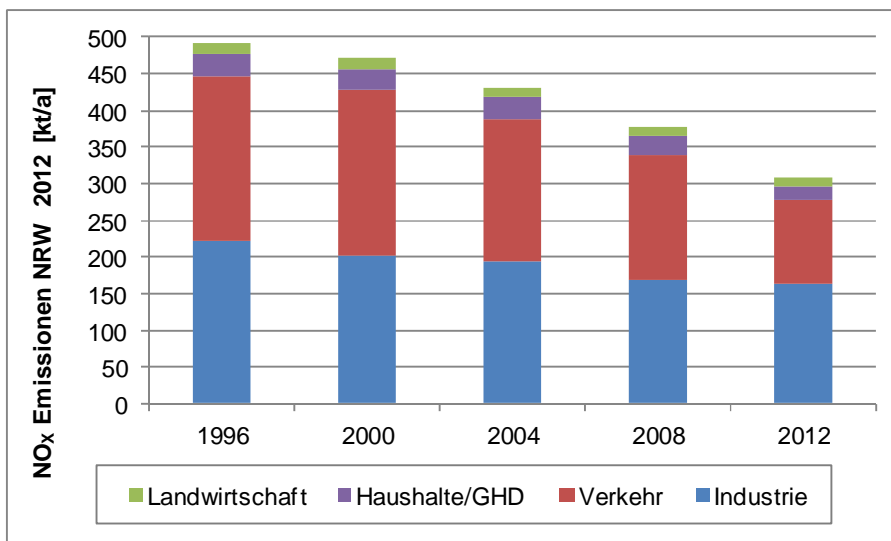


Bild 3.2: Zeitliche Entwicklung der Beiträge einzelner Quellengruppen zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW; Datenquelle: LANUV NRW

In allen Quellengruppen kam es in diesem Zeitraum zu deutlichen Reduktionen. Diese sind für 2012 gegenüber 1996 in Bild 3.3 zusammengefasst.

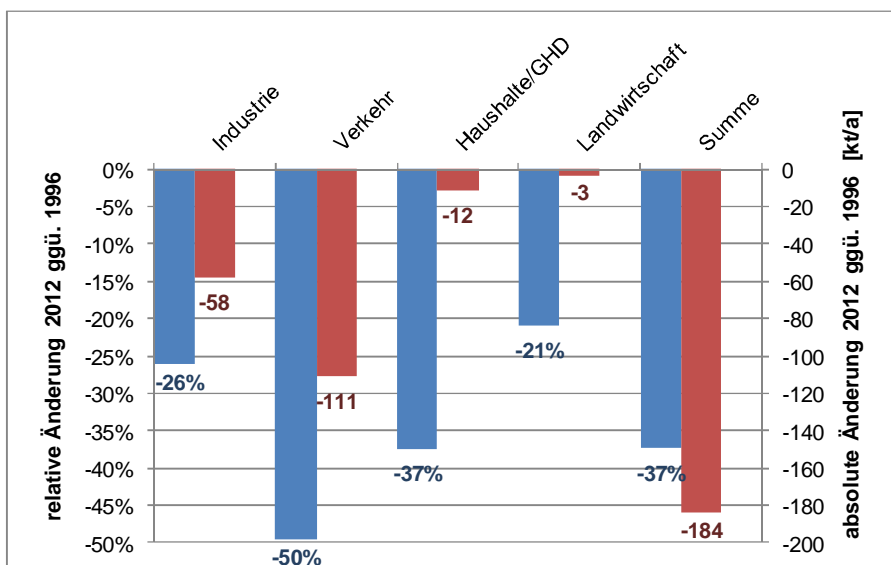


Bild 3.3: Reduktionen der NO<sub>x</sub>-Emissionen der einzelnen Quellengruppen in NRW 2012 ggü. 1996 (relative Änderung und absolute Änderung [kt/a])

Die Verkehrsemissionen wurden im betrachteten Zeitraum am stärksten reduziert (um 50 % bzw. um 111 kt/a), die Emissionen der Landwirtschaft am geringsten (um 21 % bzw. um 3 kt/a). Insgesamt ergaben sich Abnahmen der Gesamtemissionen 2012 gegenüber 1996 von 37 % bzw. um 184 kt/a.

### 3.1.1.2 Emissionen der Nachbarländer

#### Benachbarte Bundesländer

In Bild 3.4 sind die NO<sub>x</sub>-Emissionen von NRW 2012 im Vergleich mit denen der benachbarten Bundesländer Rheinland-Pfalz, Hessen und Niedersachsen sowie zum Vergleich zusätzlich auch für Baden-Württemberg dargestellt.

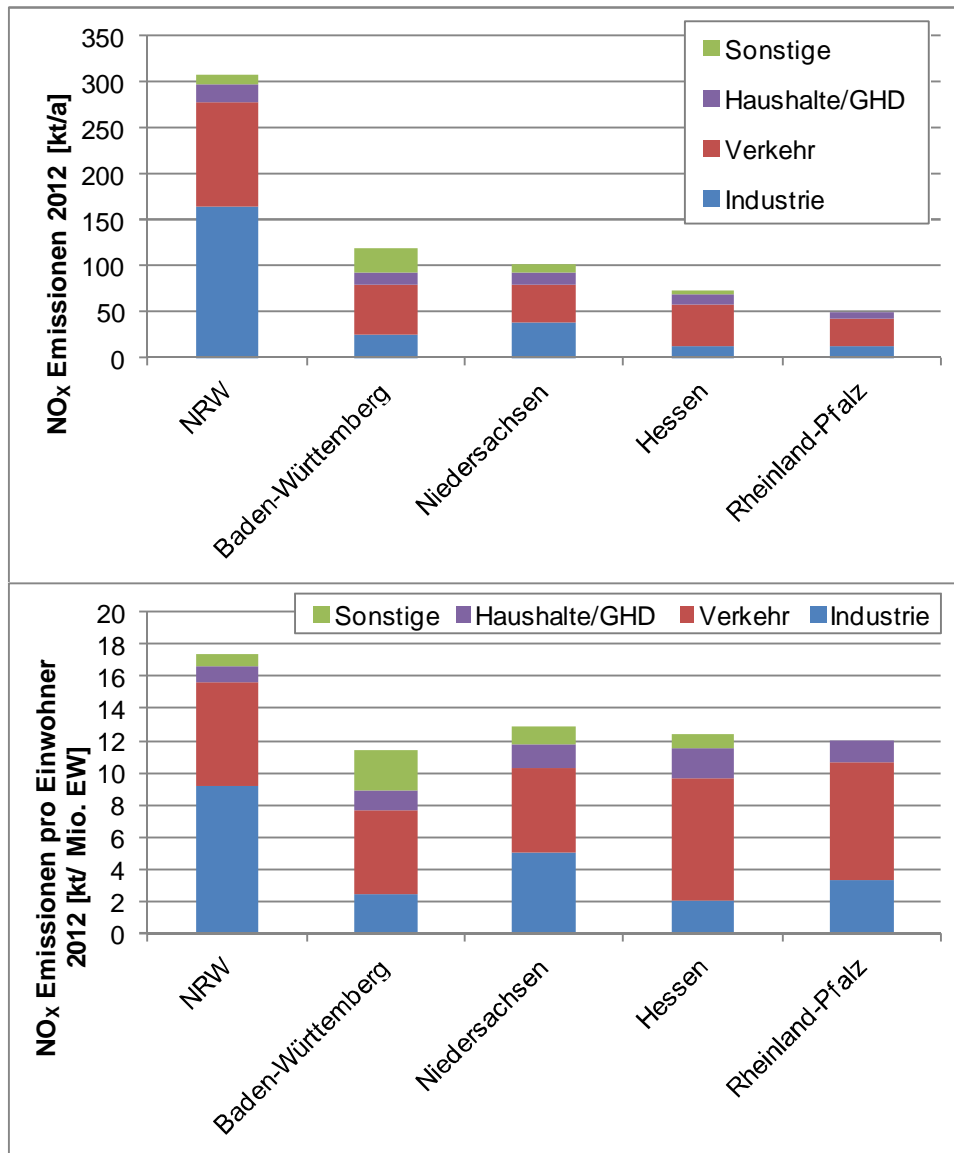


Bild 3.4: Beiträge einzelner Quellengruppen zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen 2012 in NRW und benachbarten Bundesländern (Hessen: Bezugsjahr je nach Quellengruppe unterschiedlich), oben: Gesamtemissionen, unten: bezogen auf Einwohner; Datenquelle: LANUV NRW, LUWG, HLUG, LUBW, GAA Hildesheim

Beim Vergleich ist zu beachten, dass die einzelnen Quellengruppen teilweise unterschiedlich abgegrenzt sind. Die Quellengruppe „Sonstige“ entspricht in NRW und Hessen der Landwirtschaft, in Baden-Württemberg sind zusätzlich diffuse Anteile des Verkehrs (Offroad) sowie „sonstige technische Einrichtungen“ enthalten. In Rheinland-Pfalz wurde die Landwirtschaft nicht gesondert betrachtet.

Der Vergleich der NO<sub>x</sub>-Emissionen von NRW und den benachbarten Bundesländern zeigt, dass die Emissionen in NRW deutlich höher sind als in den anderen Bundesländern. In der unteren Grafik in Bild 3.4 wurden die Emissionen zum besseren Vergleich auf die jeweilige Anzahl der Einwohner bezogen. Durch die Normierung werden die Verhältnisse der Bundesländer untereinander im Vergleich zu den absoluten Emissionen deutlich relativiert und teilweise die Reihenfolge verändert. Es wird deutlich, dass die Industrie-Emissionen in NRW im Vergleich mit den anderen Bundesländern mehr als doppelt so hoch sind. Dies sind insbesondere Emissionen der Branche „Energieerzeugung, Bergbau, Energie“ (s. Bild 3.1). Die spezifischen einwohnerbezogenen Emissionen des Verkehrs und der Haushalte/GHD sind hingegen geringer als in Hessen und Rheinland-Pfalz, wo sie im Ländervergleich am höchsten sind.

## Europa

Im Rahmen von EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme) werden die von den Europäischen Mitgliedsländern gemeldeten Emissionen regelmäßig für die Modellierung konsistent aufbereitet. Sie sind nach Quellengruppen differenziert und als Landessummen wie auch gerastert im Internet verfügbar<sup>3</sup>.

In Bild 3.5 ist die Entwicklung der nationalen NO<sub>x</sub>-Emissionen im Zeitraum von 2002 bis 2012 im Vergleich mit NRW dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass die Emissionen in allen Ländern (mit Ausnahme von Polen) im betrachteten Zeitraum deutlich reduziert wurden. Die stärksten Rückgänge gab es in Großbritannien. In der zeitlichen Entwicklung ist bei den meisten Staaten eine deutliche Verringerung in 2009 infolge der europaweiten Wirtschaftskrise zu erkennen, die teilweise in den Folgejahren wieder durch höhere Emissionen kompensiert wurde.

---

<sup>3</sup> [http://www.ceip.at/ms/ceip\\_home1/ceip\\_home/webdab\\_emepdatabase/emissions\\_emepmodels/](http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/emissions_emepmodels/)

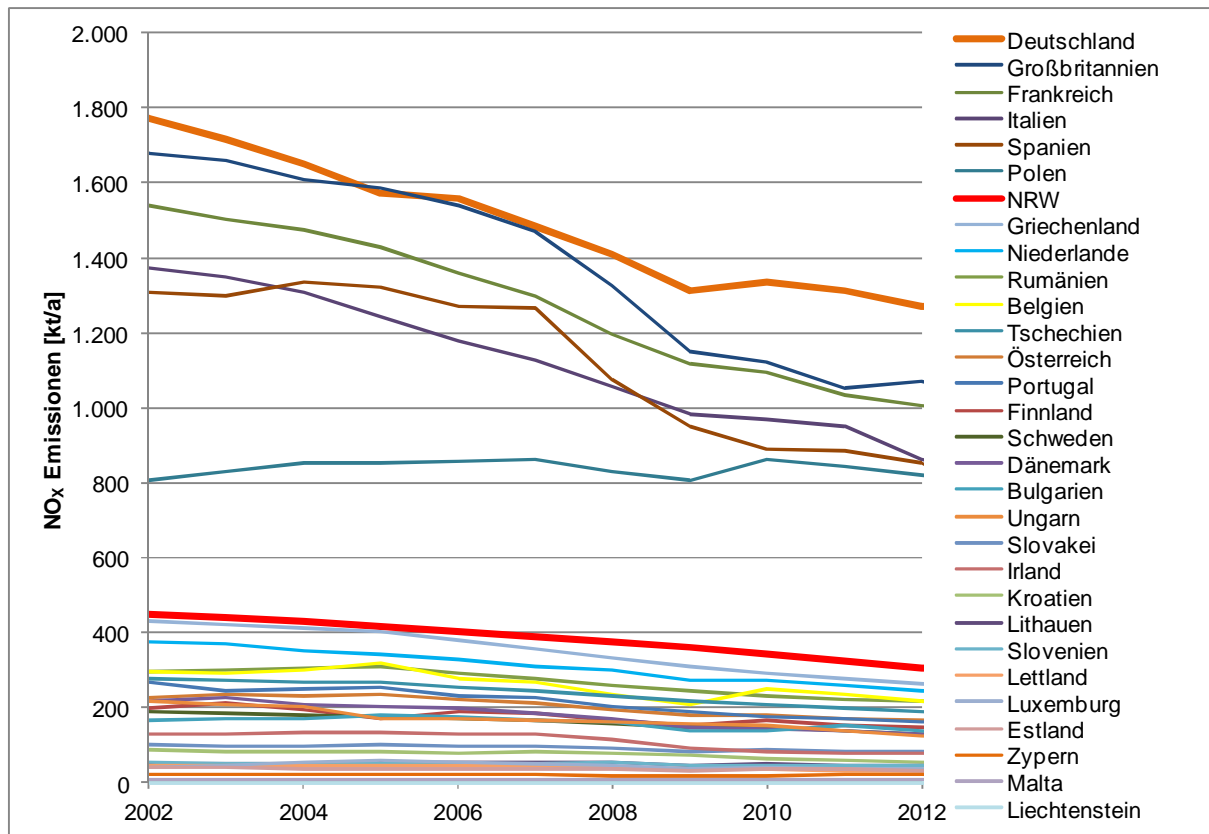


Bild 3.5: Zeitliche Entwicklung der an die EEA gemeldeten NO<sub>x</sub>-Emissionen (nationale Summen<sup>4</sup>) im Vergleich mit NRW; Datenquelle: EMEP/EEA

Deutschland weist im Vergleich zu den anderen europäischen Mitgliedsstaaten die höchsten Emissionen auf. NRW liegt in dieser Vergleichsdarstellung an siebter Stelle der Länder mit den höchsten Emissionen, dies zeigt auch Bild 3.6.

Dort sind im oberen Teil die NO<sub>x</sub>-Emissionen (nationale Summen) der europäischen Länder im Vergleich mit NRW für das Jahr 2012 dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass es sechs große Länder (Deutschland, Großbritannien, Frankreich, Italien, Polen, Spanien) mit hohen NO<sub>x</sub>-Emissionen gibt. In allen anderen europäischen Ländern liegen die NO<sub>x</sub>-Emissionen deutlich darunter. NRW befindet sich in dieser Betrachtung knapp oberhalb dieser anderen europäischen Länder.

In Bild 3.6 (zweites Diagramm von oben) werden die Emissionen analog zu Bild 3.4 auf die Einwohner bezogen. Hier befindet sich NRW wie Deutschland im europäischen Mittelfeld.

<sup>4</sup> Es werden alle Quellengruppen berücksichtigt, die in die nationalen Emissionssummen eingehen. Überflüge, internationale Seefahrt, multilaterale Operationen (z.B. Seebunker) oder natürliche Quellen sind nicht enthalten.

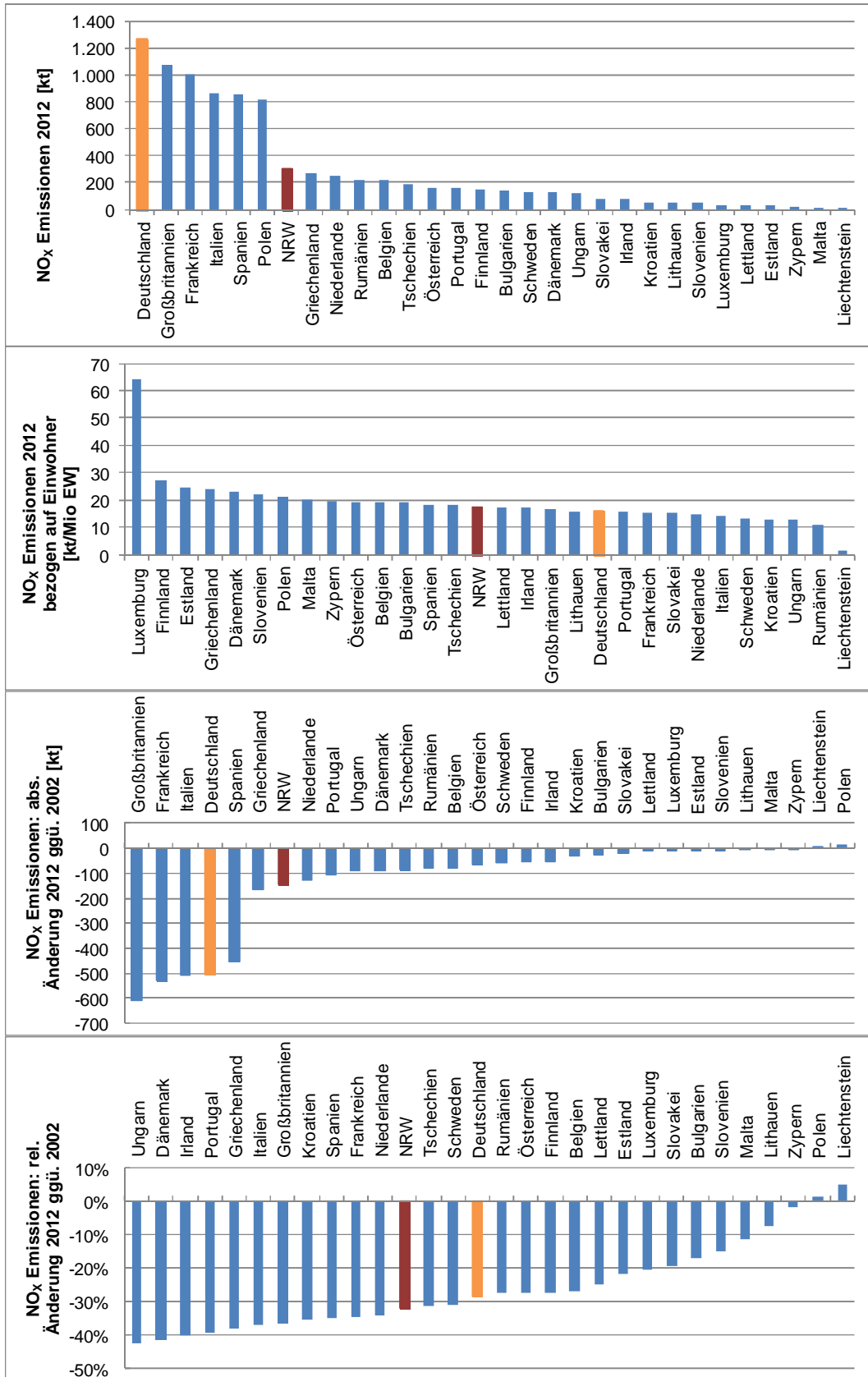


Bild 3.6: NO<sub>x</sub>-Emissionen (nationale Summen) der europäischen Länder im Vergleich mit NRW, oben: absolute Werte, zweites Bild von oben: bezogen auf Einwohner, unten: Änderung 2012 ggü. 2002 (absolut und relativ); Datenquelle: EMEP/EEA

In Bild 3.6 (untere zwei Diagramme) sind die Änderungen der Emissionen zwischen 2002 und 2012 als Absolutwerte sowie als relative Änderungen dargestellt. Auch bei den Abnahmen der NO<sub>x</sub>-Emissionen befindet sich NRW im Mittelfeld (-143 kt bzw. -32 %), die prozentualen Minderungen sind aber höher als in Deutschland (-500 kt bzw. -28 %). Im Vergleich mit den direkten Nachbarstaaten sind die prozentualen Minderungen in NRW etwas höher als in Belgien und etwas geringer als in den Niederlanden und in Frankreich.

### Europäische Nachbarländer mit besonderer Importrelevanz für NRW

Für die Länder, aus denen aufgrund der Windrichtung NO<sub>2</sub>-Importe nach NRW zu erwarten sind (Niederlande, Belgien, Frankreich, Großbritannien), wurden die NO<sub>x</sub>-Emissionen weiter nach Quellengruppen differenziert betrachtet.

Im EMEP-Datensatz werden folgende Sektoren unterschieden<sup>5</sup>:

- **S1:** **Verbrennung in Energieversorgung**
- **S2:** **nicht-industrielle Verbrennung, stationär**
- **S3:** **Verbrennung in der Fertigungsindustrie, stationär**
- **S4:** **Produktionsprozesse, stationär**
- **S5:** **Verarbeitung und Verteilung fossiler Brennstoffe**
- **S6:** **Einsatz von Lösungsmitteln und anderen Produkten**
- **S7:** **Straßenverkehr**
- **S8:** **andere mobile Quellen und Maschinen**
- **S9:** **Abfallbehandlung und Müllverbrennung**
- **S10:** **Landwirtschaft**
- **S11:** **sonstige Quellen und Senken**

Die Sektoren S1, S3, S4, S5, S6 und S9 wurden dabei zur Quellengruppe „Industrie“ zusammengefasst, die Sektoren S7 und S8 zum „Verkehr“. Der Sektor S2 entspricht der Quellengruppe „Haushalte und GHD“ und die Sektoren S10 und S11 wurden zu den „Sonstigen“ zusammengefasst.

Für die benachbarten europäischen Länder sowie für NRW und Deutschland sind die Beiträge dieser Quellengruppen zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen 2012 in Bild 3.7 (oben) dargestellt. Zum Vergleich wurden die entsprechenden Werte der benachbarten Bundesländer aus Bild 3.4 mit aufgenommen. In Bild 3.7 (unten) sind jeweils die prozentualen Anteile der Quellengruppen dargestellt.

Vergleicht man die Anteile der Industrie-Emissionen mit den europäischen Nachbarstaaten, so sind diese in NRW am höchsten, dicht gefolgt von Großbritannien und Deutschland. In Frankreich sind sie am geringsten, noch unter denen von Belgien und den Niederlanden.

---

<sup>5</sup> Farbgebung wie in den folgenden Abbildungen

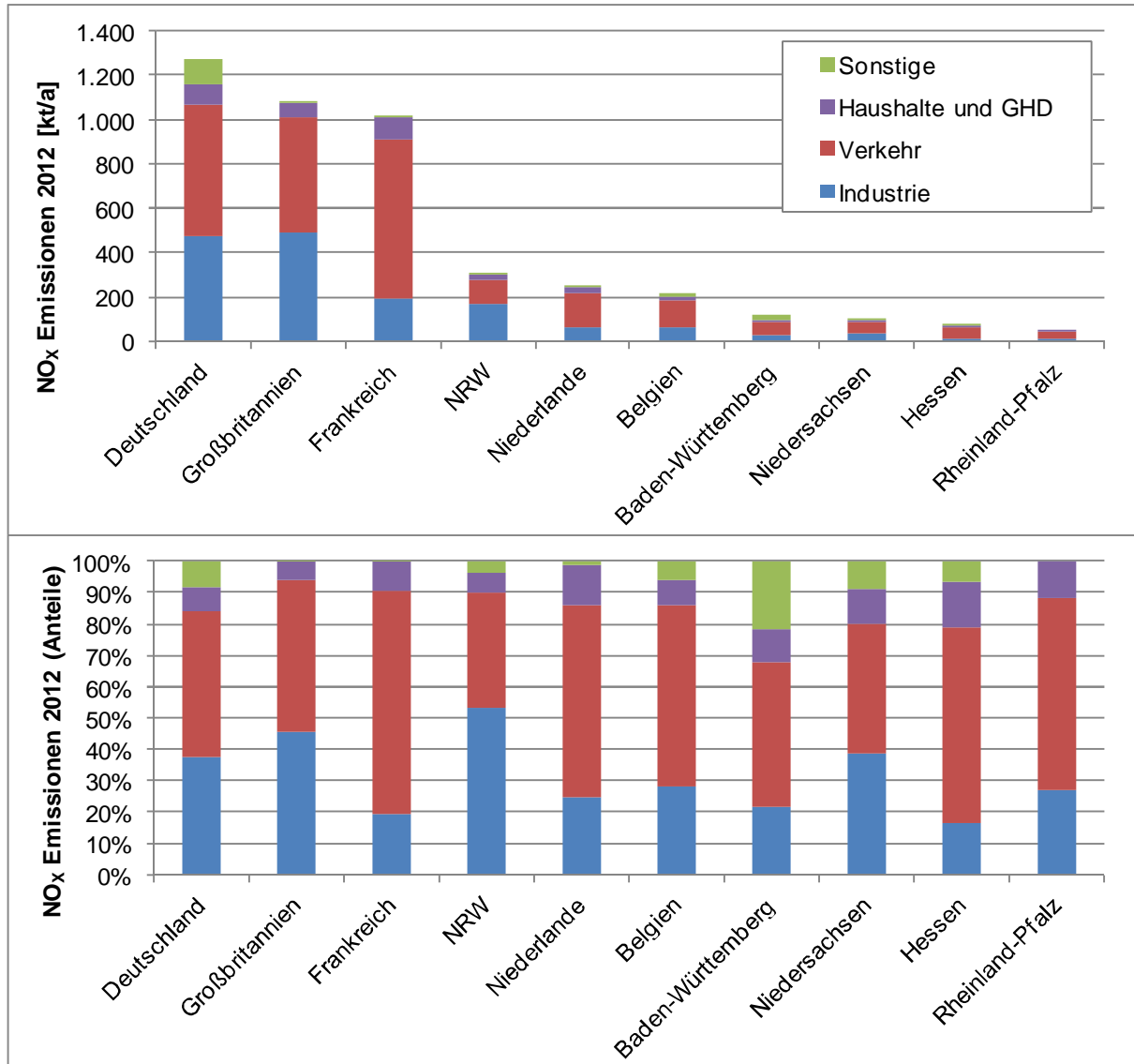


Bild 3.7: Beiträge einzelner Quellengruppen zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen 2012 in NRW und benachbarten europäischen Ländern sowie Bundesländern, oben: absolute Werte, unten: Verteilung auf Quellengruppen; Datenquelle: EMEP/EEA

In Bild 3.8 sind die Emissionen von Deutschland und den europäischen Ländern, die für den Import nach NRW besonders relevant sind, differenziert nach den Quellensektoren nach EMEP, dargestellt. Beim Verkehr wird zwischen Straßenverkehr und sonstigen mobilen Quellen unterschieden, die nicht-industrielle stationäre Verbrennung entspricht den Kleinf Feuerungsanlagen in Haushalten und GHD, bei der Industrie wird am stärksten differenziert.



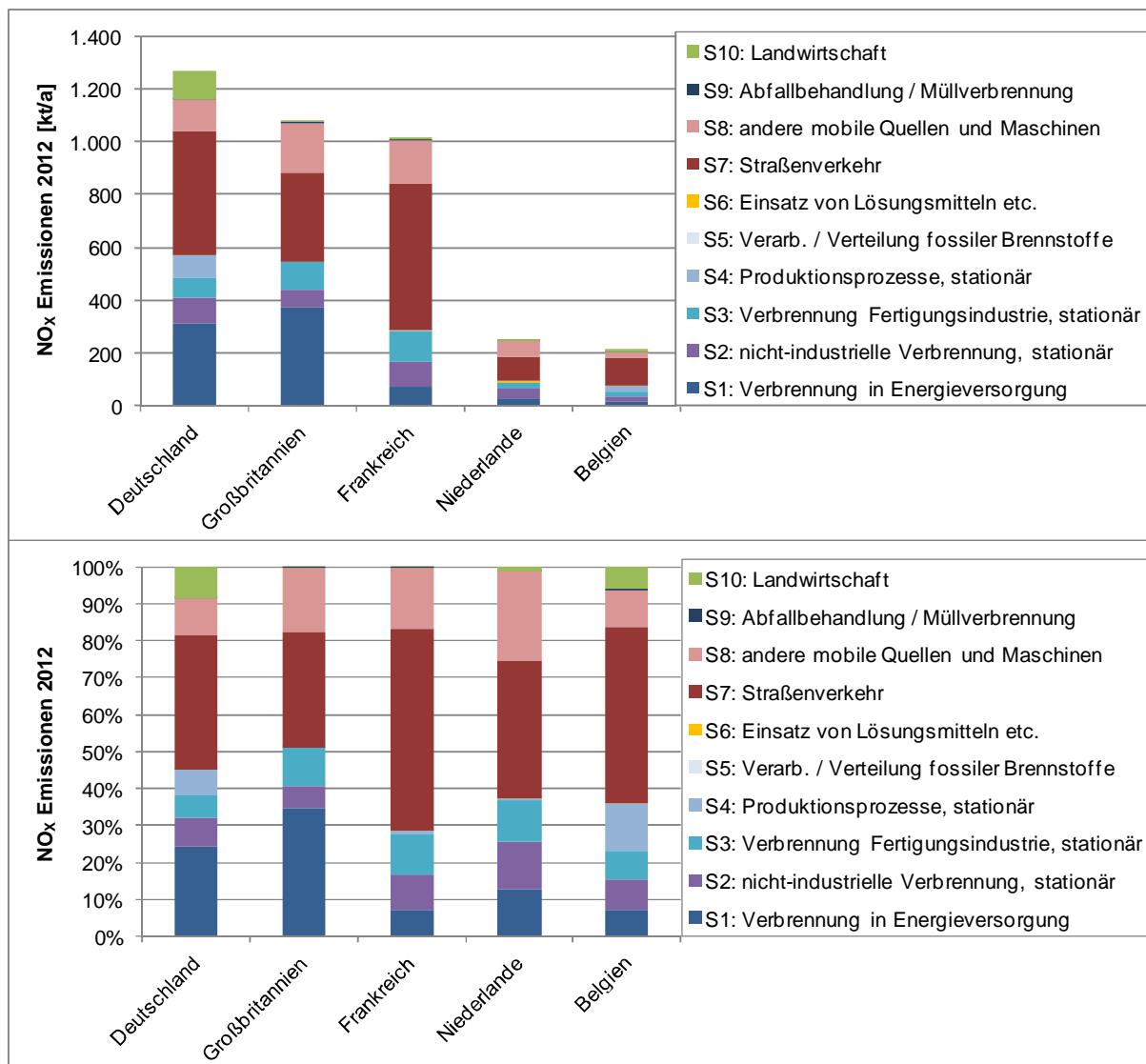


Bild 3.8: Beiträge der Quellensektoren nach EMEP zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen 2012 in benachbarten europäischen Ländern, oben: absolute Werte, unten: Verteilung auf Quellensektoren; Datenquelle: EMEP/EEA

Es ist deutlich zu erkennen, dass in Deutschland und Großbritannien ein Großteil der Industrie-Emissionen aus dem Bereich Energieversorgung stammt, während dieser Beitrag in Frankreich und Belgien aufgrund des hohen Anteils an Kernenergie an der Energieversorgung deutlich kleiner ist.

Die Sektoren nach EMEP sind den Branchen, nach denen die Industrie-Emissionen für NRW differenziert vorliegen (s. Bild 3.1), nicht eindeutig zuzuordnen. Deshalb wurden diese Sektoren in Bild 3.9 wieder soweit aggregiert, dass eine eindeutige Zuordnung zu den Quellengruppen in NRW möglich ist. Es wird deutlich, dass in NRW insbesondere die Energieversorgung überproportional zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen beiträgt.

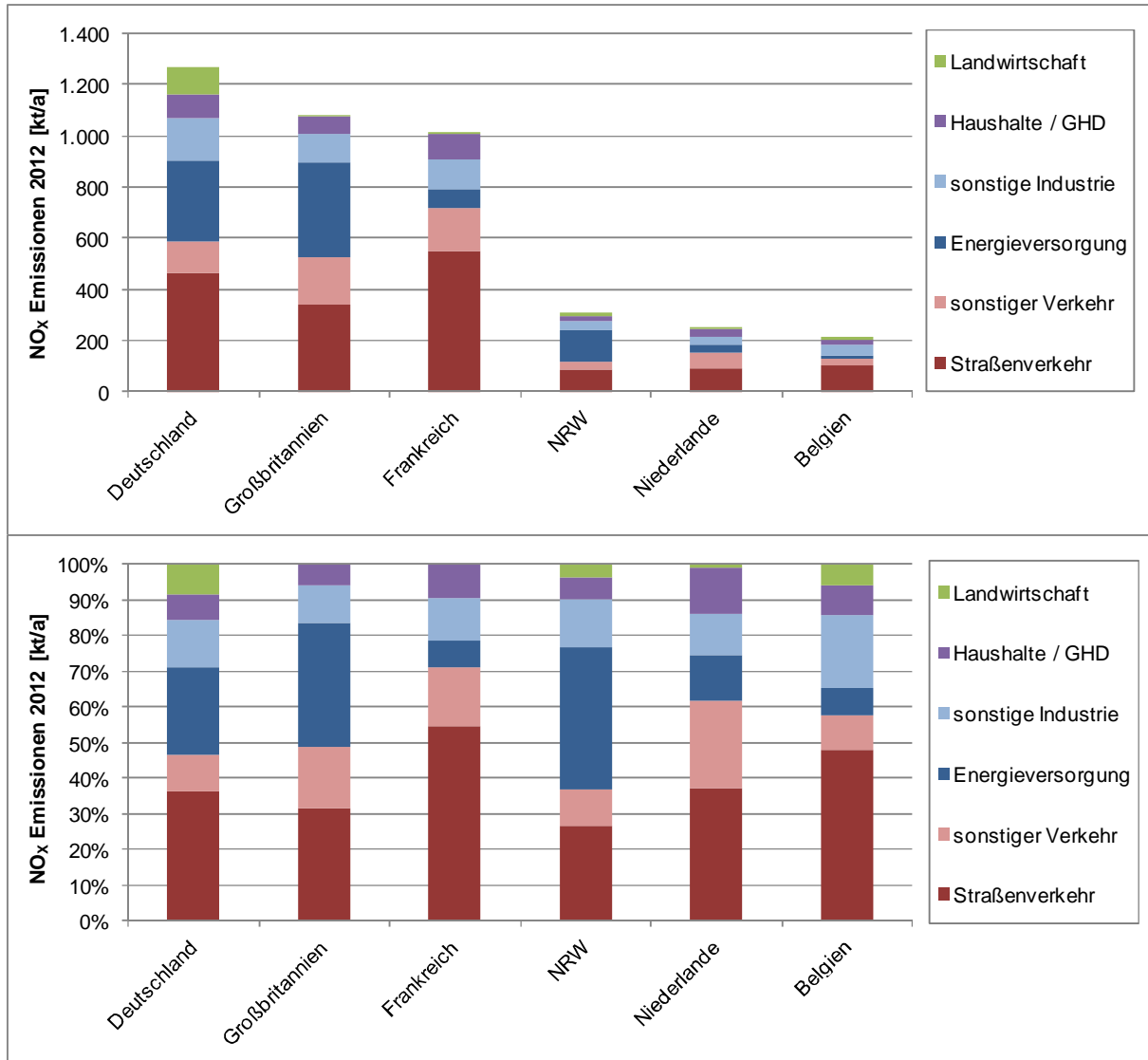


Bild 3.9: Beiträge einzelner Quellengruppen zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen 2012 in NRW und benachbarten europäischen Ländern, oben: absolute Werte, unten: Verteilung auf Quellengruppen; Datenquelle: EMEP/EEA

### Räumliche Verteilung der Emissionen

In Bild 3.10 sind die NO<sub>x</sub>-Emissionen nach EMEP als Summe über alle Quellengruppen im 50 km × 50 km-Raster für Europa (Bearbeitungsstand 2015 für das Jahr 2012) kartografisch dargestellt.

In Bild 3.11 sind die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Sektoren S1, S3, S4, S5 und S9 dargestellt. Diese Sektoren entsprechen in Summe den Industrie-Emissionen. Analog sind in Bild 3.12 die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Sektoren S7 und S8 dargestellt. Diese Sektoren entsprechen in Summe den Verkehrsemissionen.

Die Gebiete mit den höchsten NO<sub>x</sub>-Emissionen aus der Industrie liegen in NRW und im Nordosten von Tschechien, zudem gibt es hohe industrielle Emissionen auch in England. In Frankreich, wo die Kernenergie einen hohen Beitrag zur Energieversorgung leistet, sind die NO<sub>x</sub>-Emissionen im Industriesektor gering.

Die Verkehrsemissionen sind insbesondere in den Großräumen London und Paris, in Mailand, Brüssel, Luxemburg und den südlichen Niederlanden besonders hoch. In den genannten Regionen ist i.d.R. der Straßenverkehr dominant. Es treten aber auch Raster (Rotterdam, Antwerpen) hervor, wo der Straßenverkehr zusätzlich durch Schiffsemissionen, insbesondere in Häfen, überlagert wird.

In Deutschland sind die Verkehrsemissionen eher flächig verteilt, Großstädte wie Berlin, Hamburg, Stuttgart, München sowie das Rhein-/Ruhrgebiet und die Häfen sind jedoch erkennbar.

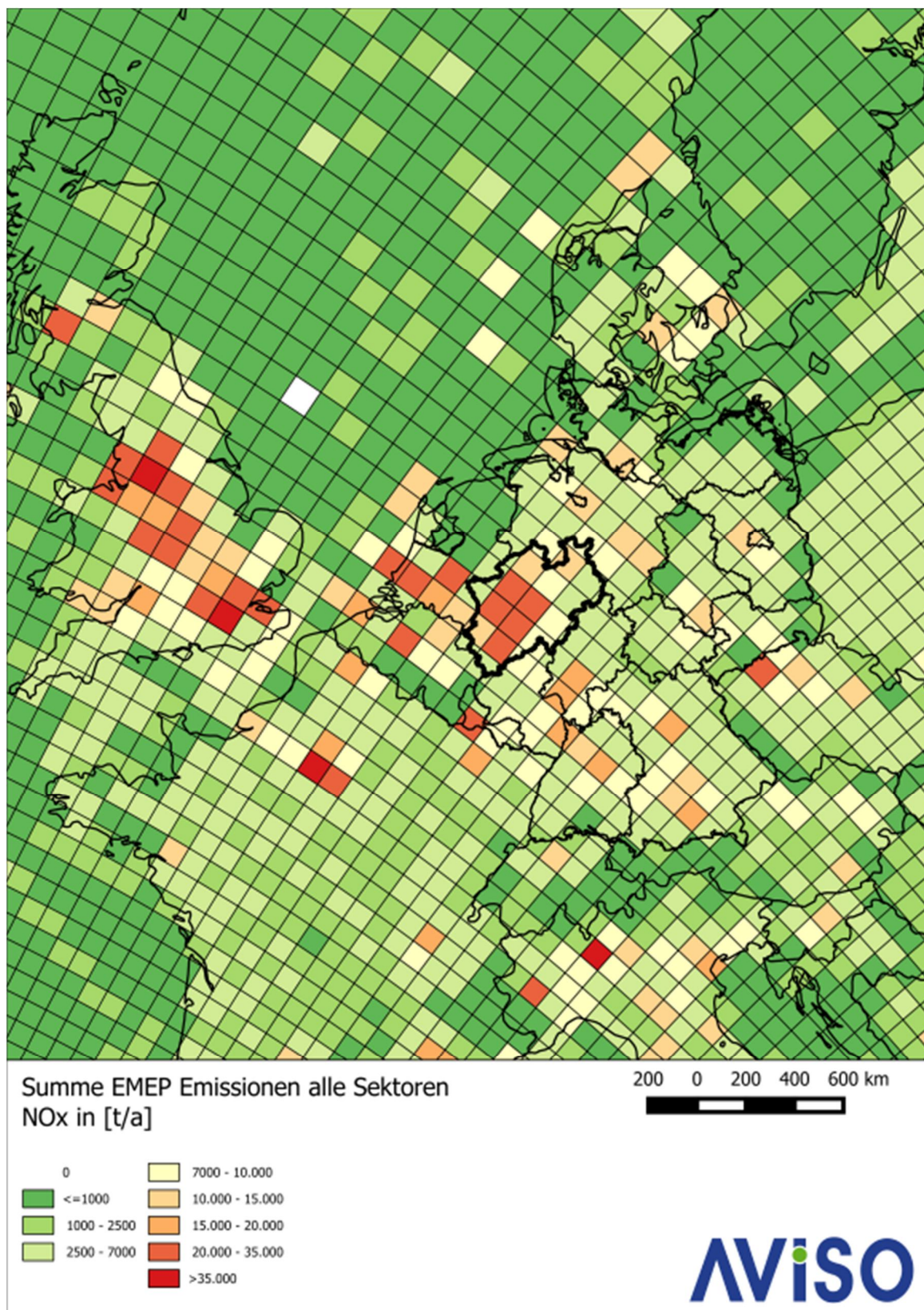


Bild 3.10: EMEP Emissionen für Europa (NO<sub>x</sub>, alle Quellengruppen) im 50 km × 50 km-Raster, Bearbeitungsstand 2015 für das Jahr 2012; Quelle: EMEP/EEA<sup>6</sup>

<sup>6</sup> [http://www.ceip.at/ms/ceip\\_home1/ceip\\_home/webdab\\_emepdatabase/emissions\\_emepmodeme/](http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/webdab_emepdatabase/emissions_emepmodeme/)



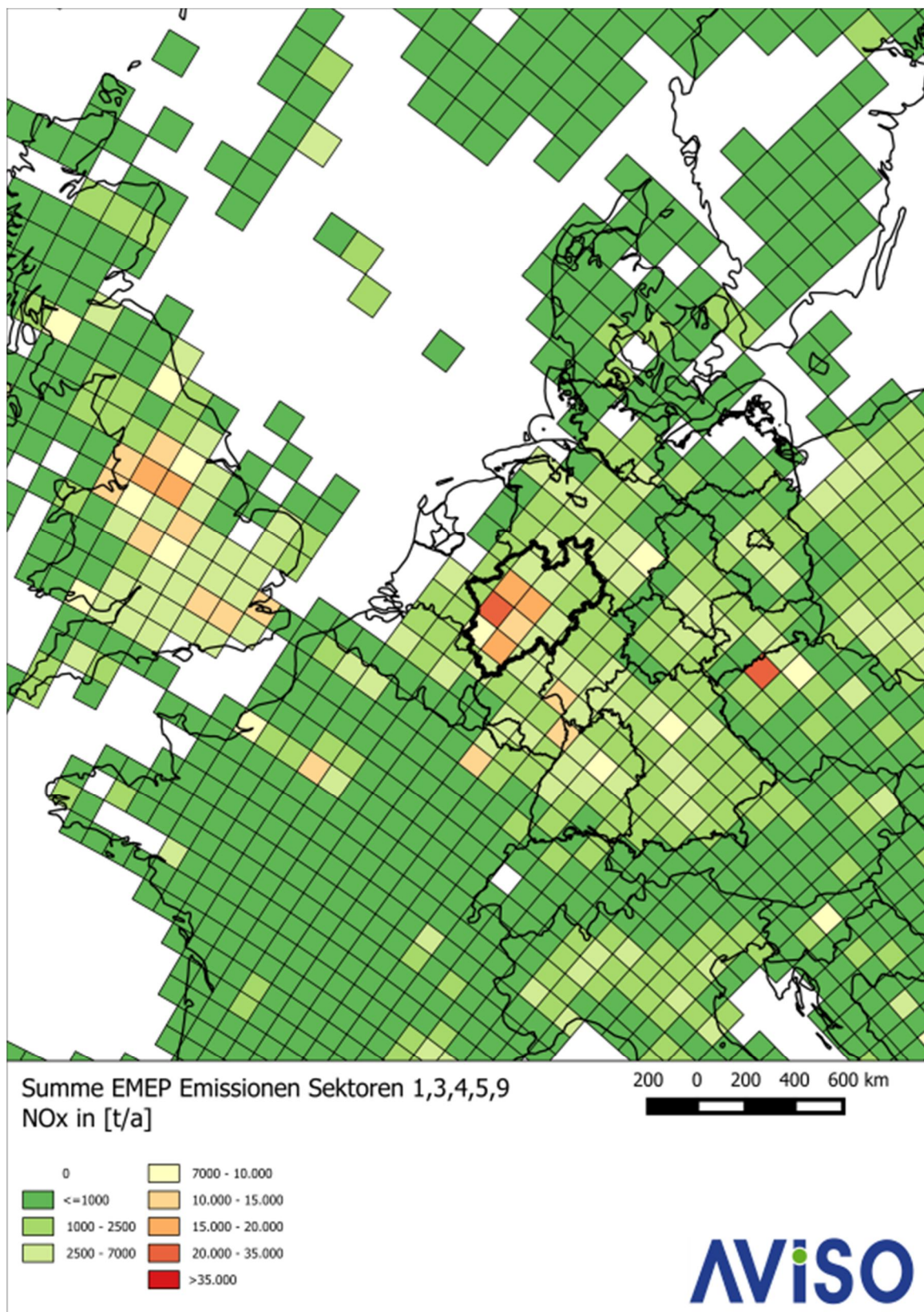


Bild 3.11: EMEP Emissionen für Europa (NO<sub>x</sub>, Industrieemissionen) im 50 km x 50 km-Raster, Bearbeitungsstand 2015 für das Jahr 2012; Quelle: EMEP/EEA



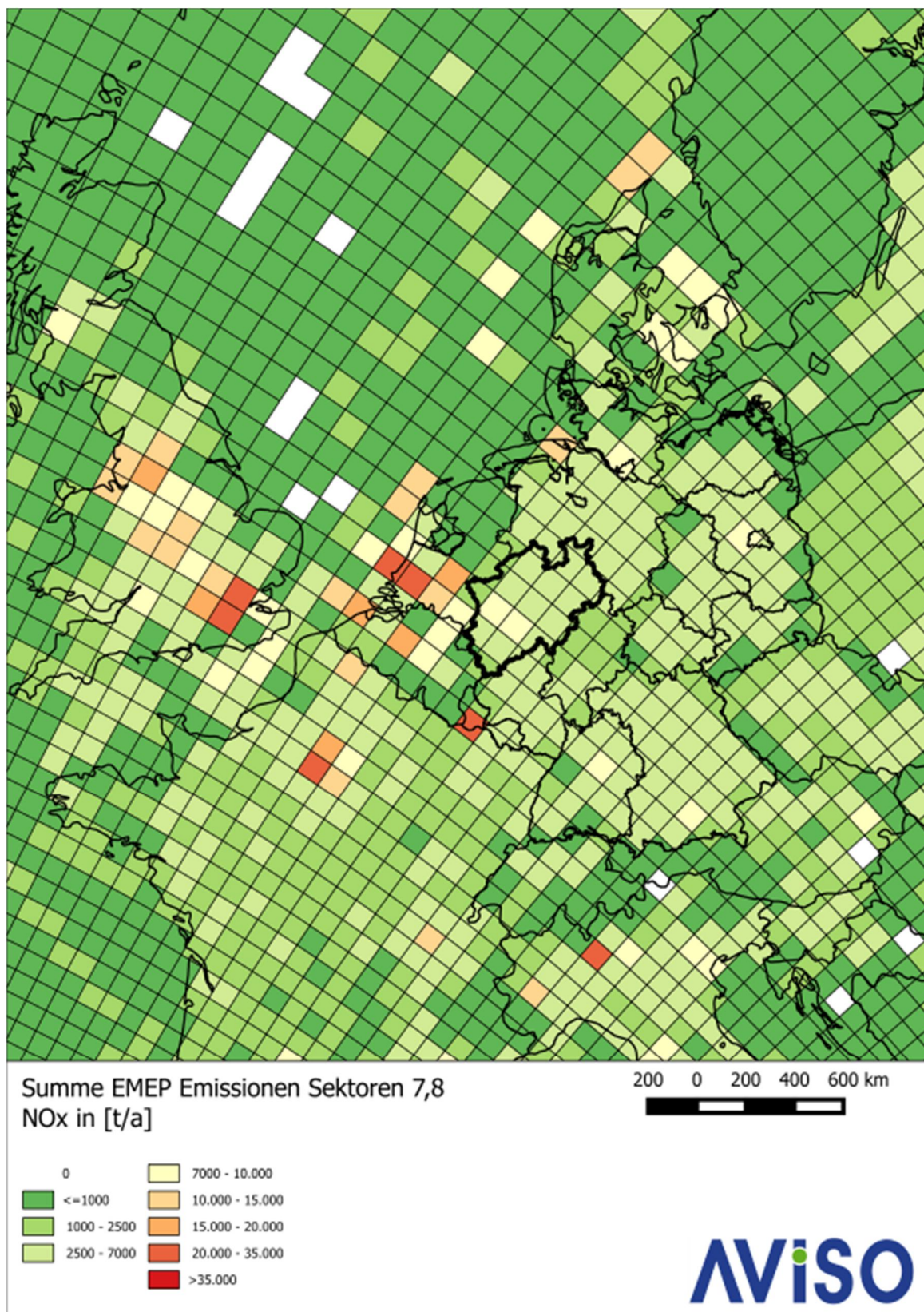


Bild 3.12 EMEP Emissionen für Europa (NO<sub>x</sub>, Verkehrsemissionen) im 50 km x 50 km-Raster, Bearbeitungsstand 2015 für das Jahr 2012; Quelle: EMEP/EEA

## PRTR

Die PRTR-Verordnung (Pollutant Release and Transfer Register) verpflichtet seit dem Jahr 2006 alle Betriebe in Europa ab einer jeweils branchenabhängigen Größe, Informationen zu Emissionen an die jeweiligen nationalen Behörden zu berichten, um sie in das europäische Register aufzunehmen.

Da zu den Emissionen jeweils die GPS-Koordinaten der entsprechenden Quellen gemeldet werden, können die PRTR-Emissionen genau lokalisiert werden. In Bild 3.13 sind die NO<sub>x</sub>-Emissionen der PRTR-berichtspflichtigen Betriebe in Europa 2012 dargestellt (Bearbeitungsstand 2015).

Da nicht alle Betriebe PRTR-berichtspflichtig sind, ist die Summe über alle PRTR-Emissionen geringer als die jeweilige Gesamtsumme der entsprechenden nationalen Industrie-Emissionen. Bild 3.13 ist deshalb nicht direkt mit Bild 3.11 vergleichbar. Die wesentlichen Aspekte der räumlichen Verteilung der NO<sub>x</sub>-Emissionen stimmen jedoch überein.

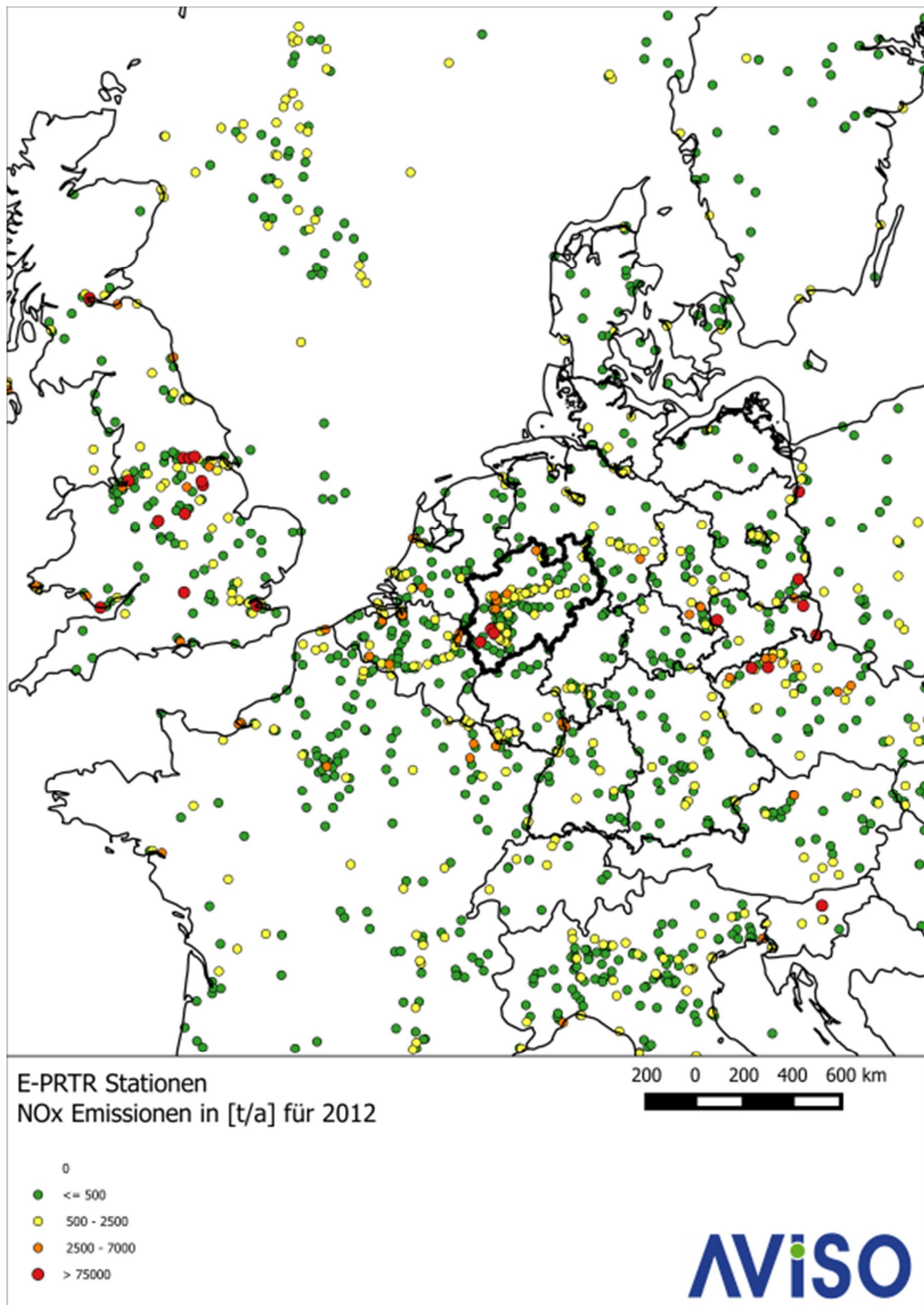


Bild 3.13: NO<sub>x</sub>-Emissionen der PRTR-berichtspflichtigen Betriebe in Europa, Anlagendaten 2012, Bearbeitungsstand 2015; Quelle: E-PRTR<sup>7</sup>

<sup>7</sup> <http://prtr.ec.europa.eu/pgDownloadDataSet.aspx>



### 3.1.1.3 Kurzfazit Emissionsdaten

Die ausgewerteten Daten zu den Emissionen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Gesamtemissionen NO<sub>x</sub> betragen im Jahr 2012/2013 in NRW 308 kt.
- Verkehr und Industrie sind die dominierenden NO<sub>x</sub>-Emissionsquellen in NRW, ihr Beitrag an den NO<sub>x</sub>-Gesamtemissionen liegt bei 53 % für die Energiewirtschaft / Industrie bzw. 37 % für den Verkehr.
- Die NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW sind absolut gesehen deutlich höher als in den benachbarten Bundesländern. Dies liegt an der hohen Einwohnerzahl sowie an einem hohen Beitrag der Industrie, insbesondere der Energieversorgung.
- Die auf die Einwohner normierten NRW-Emissionen zeigen im Vergleich zu den benachbarten Bundesländern deutlich den Industrieschwerpunkt. Die pro Kopf Verkehrsemissionen hingegen sind vergleichbar mit Baden-Württemberg und liegen sogar niedriger als in Rheinland-Pfalz und Hessen.
- Im europäischen Vergleich liegt NRW hinsichtlich der Höhe der absoluten NO<sub>x</sub>-Emissionen an siebter Stelle (nach Polen und vor Griechenland), pro Kopf betrachtet im europäischen Mittelfeld.
- Die Reduktionen der Emissionen im Zeitraum zwischen 2002 und 2012 in NRW liegen bei 32 % und damit ebenfalls im europäischen Mittelfeld. Im Vergleich mit den Nachbarstaaten sind sie etwas höher als in Deutschland und in Belgien und etwas geringer als in den Niederlanden und in Frankreich.

## 3.1.2 NO<sub>2</sub>-Konzentrationen

### 3.1.2.1 Stickstoffoxid-Immissionssituation in NRW

In NRW wird die Immissionssituation über das Messnetz des LANUV NRW kontinuierlich erfasst. Zur Darstellung der Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung liegt ein Bericht des LANUV vor. Dort wird am Beispiel von fünf Messstandorten (eine Verkehrsmessstation (Essen-Ost, Steeler Straße), zwei Industriemessstationen (Bottrop, Duisburg-Walsum), zwei Hintergrundmessstationen (Lünen-Niederaden, Düsseldorf-Lörrick)) die Langzeit-Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Konzentration über 30 Jahre dargestellt (vgl. Bild 3.14). Für die extrem hoch belastete Verkehrsstation Düsseldorf Corneliusstraße wurden die Werte seit Beginn der Messungen 2003 zum Vergleich mit aufgeführt.

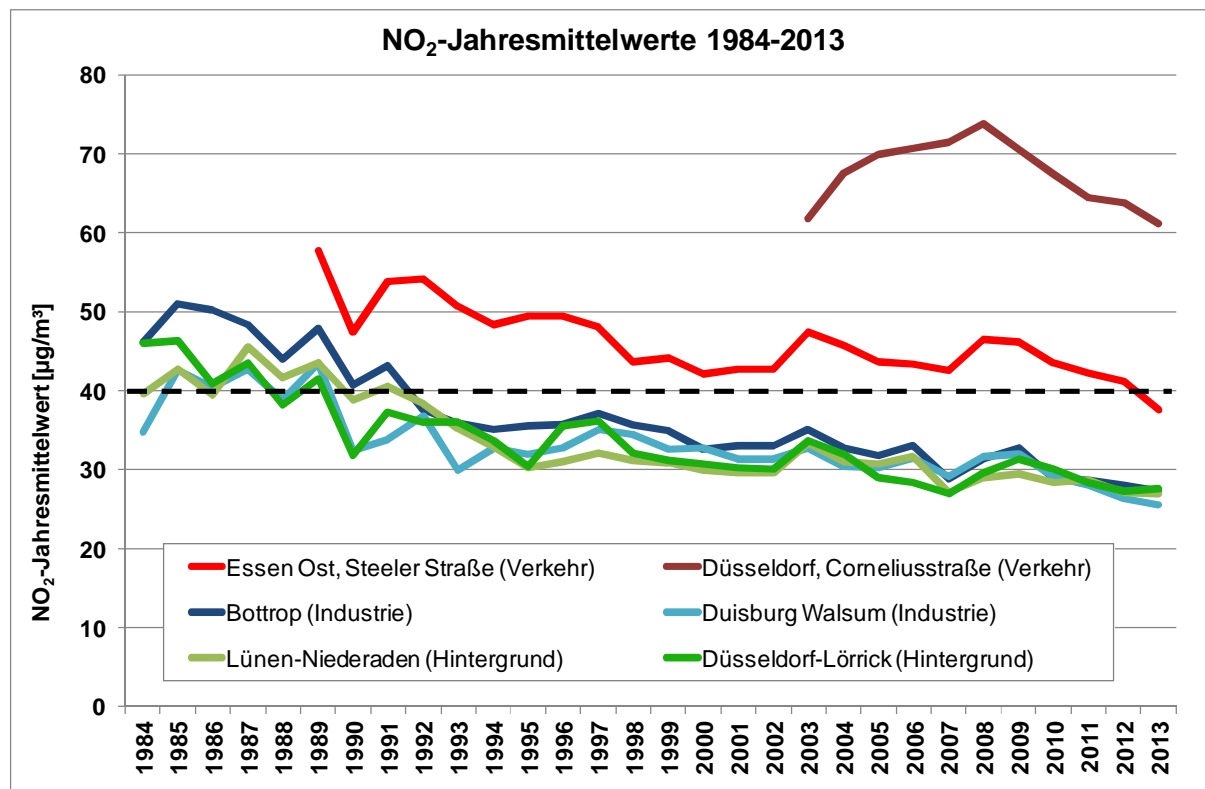


Bild 3.14: Langzeit-Entwicklung 1984 bis 2013 der NO<sub>2</sub>-Konzentration am Beispiel von fünf Messstandorten, gestrichelte Linie: Luftqualitätsgrenzwert; Quelle: LANUV NRW

Wo langjährige Messreihen vorliegen, ist in den letzten 30 Jahren im Mittel eine deutliche Abnahme der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen erkennbar. Für die Corneliusstraße in Düsseldorf liegen erst seit 2003 Messwerte vor. Dort kam es zwischen 2003 und 2008 zu Zunahmen der NO<sub>2</sub>-Belastung, in den letzten fünf Jahren ist jedoch auch dort eine Abnahme der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte zu erkennen.

In Bild 3.15 wurde der Zeitraum zwischen 2004 und 2013 genauer betrachtet. Es wurden nur Stationen berücksichtigt, die in allen betrachteten Jahren gültige Messwerte geliefert haben. Zum Ausgleich lokaler Effekte wurde jeweils über alle Messstationen gleichen Typs (Hintergrund, Industrie, Verkehr) gemittelt. Zum Ausgleich wechselnder Meteorologie wurden jeweils Mittelwerte über fünf Jahre verglichen: Zeitraum A bezieht sich auf den Mittelwert von 2004 bis 2008, Zeitraum B auf den Mittelwert von 2009 bis 2013.

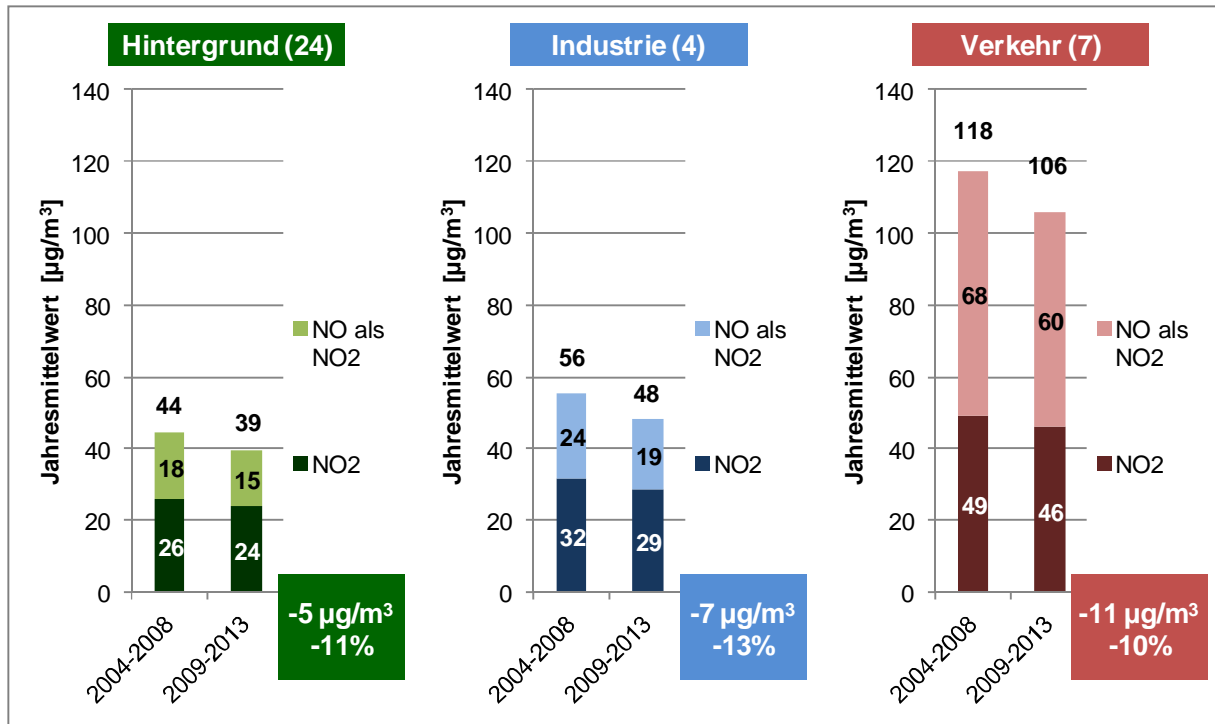


Bild 3.15: Entwicklung der Stickstoffoxid-Belastung 2004 bis 2013 (Mittelwerte Stationstypen); Quelle: LANUV NRW<sup>8</sup>

Zwischen Zeitraum A und Zeitraum B gab es im Mittel überall Reduktionen. Für NO<sub>x</sub> liegen die Reduktionen bei den Hintergrundstationen bei -5 µg/m<sup>3</sup> bzw. bei -11 %, bei den Industriestationen bei -7 µg/m<sup>3</sup> bzw. bei -13 % und bei den Verkehrsstationen bei -11 µg/m<sup>3</sup> bzw. bei -10 %. Weiterhin ist eine Zunahme des NO<sub>2</sub>-Anteils an den NO<sub>x</sub>-Konzentrationen erkennbar, daher fallen die Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen deutlich geringer aus.

In Bild 3.16 ist die Häufigkeitsverteilung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte 2013 nach Stationstypen in NRW dargestellt. Alle Hintergrundstationen und alle Industriestationen halten den Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup> ein, die letzte Grenzwertüberschreitung bei einer Industriestation gab es im Jahr 2005. Von den Verkehrsstationen halten im Jahr 2013 21 von 84 Messstationen den Grenzwert ein.

Insgesamt lässt sich zwar eine Abnahme sowohl der NO<sub>x</sub>- wie auch der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in NRW feststellen, trotzdem wird in 2013 noch bei 75 % der Verkehrsstationen der Grenzwert für NO<sub>2</sub> überschritten.

<sup>8</sup> Abweichungen in den Summen sind auf die Darstellung ohne Nachkommastellen zurückzuführen; intern wurde mit voller Genauigkeit gerechnet.

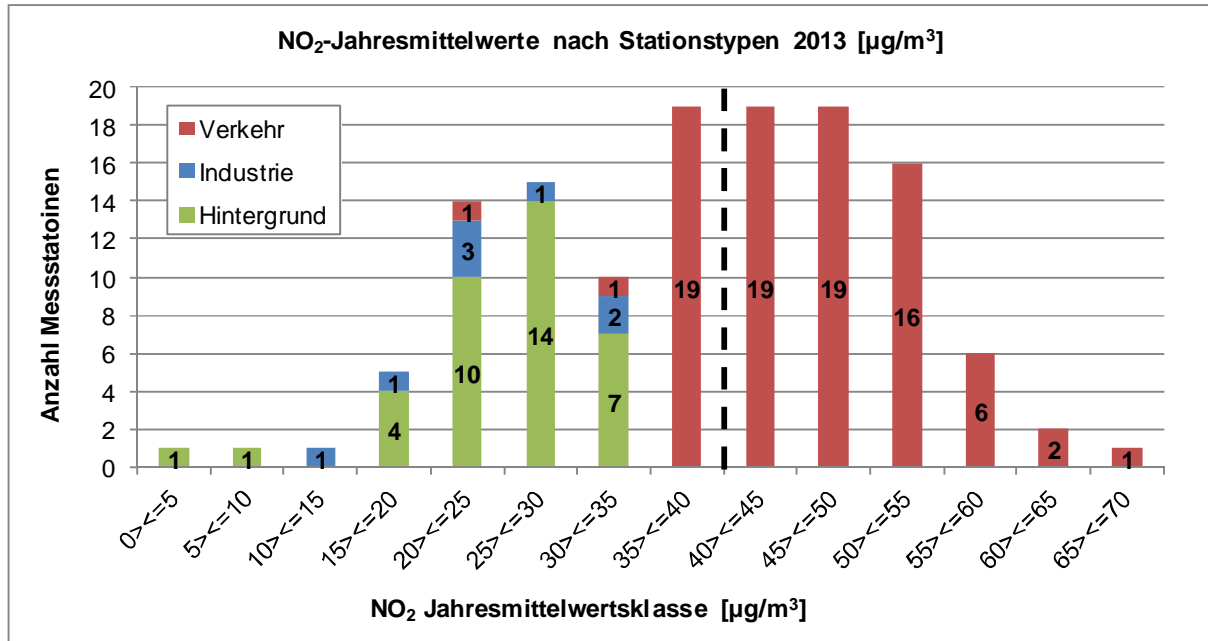


Bild 3.16: Häufigkeitsverteilung der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte 2013 nach Stationstypen, gestrichelte Linie: Luftqualitätsgrenzwert; Quelle: LANUV NRW

### 3.1.2.2 NRW im Vergleich mit seinen Nachbarländern

Die Luftqualitäts-Datenbank AirBase der EEA (European Environmental Agency) enthält Daten repräsentativer Luftqualitätsstationen aus über 30 Ländern, die jeweils von den nationalen Behörden der EEA gemeldet wurden. Vorhanden sind Messwerte und Metadaten über die Stationen (Koordinaten, Stationstyp, ...) bis zum Jahr 2012.

Im Folgenden werden die Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen einer Auswahl von Stationen in und um NRW ausgewertet. Die Standorte der betrachteten Stationen sind in Bild 3.17 kartografisch dargestellt.

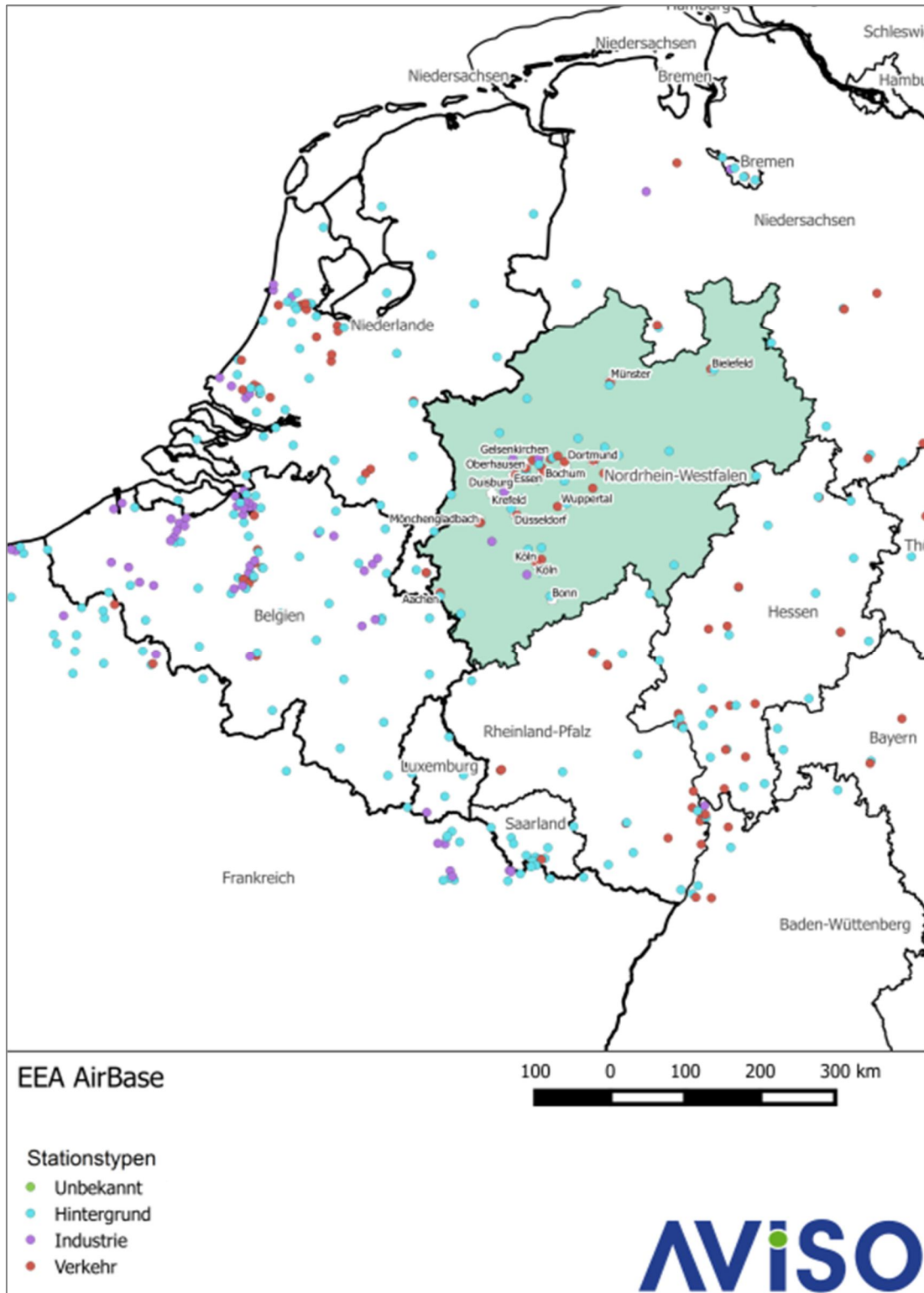


Bild 3.17: Standorte von Luftqualitätsstationen der EEA AirBase, Version 8 in und um NRW

Zunächst wurden die Jahresmittelwerte der gemessenen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen aller Stationen in NRW ausgewertet, für die Messwerte für die Jahre 2005 bis 2014 vorliegen. Die Zeitreihen sind differenziert nach Stationstyp in Bild 3.18 dargestellt.

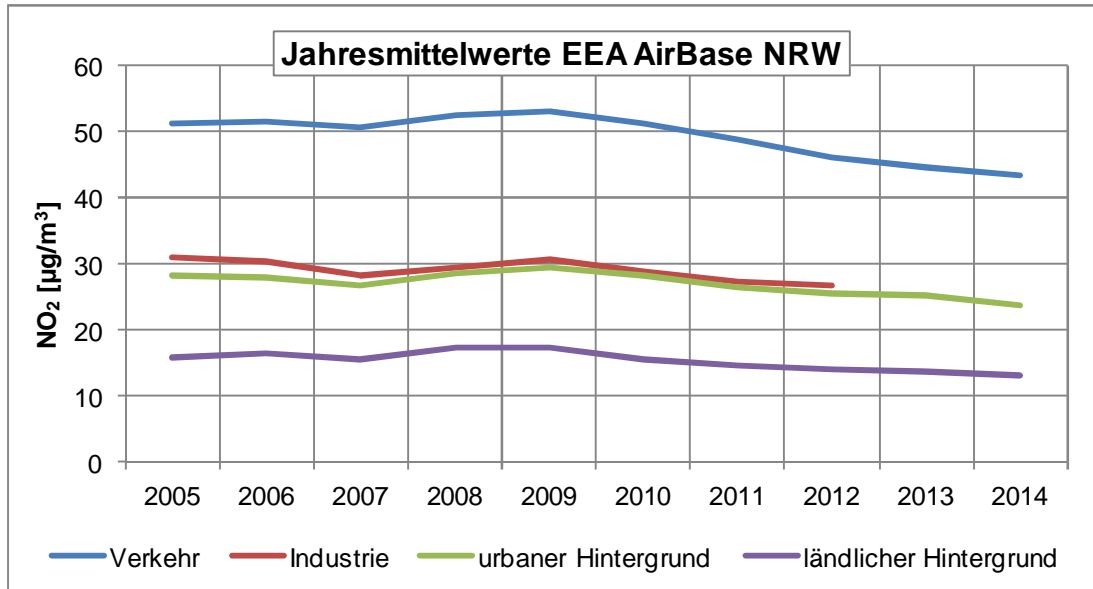


Bild 3.18: Jahresmittlere NO<sub>2</sub>-Konzentrationen 2005 bis 2014 in NRW nach Stationstyp; Datenquelle: EEA AirBase, ergänzt um Werte des LANUV

Es ist Folgendes zu erkennen:

- Die Verkehrsstationen sind in NRW am höchsten belastet. Der mittlere NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert ist von 51 µg/m<sup>3</sup> in 2005 auf 46 µg/m<sup>3</sup> in 2012 abgesunken.
- Die Industriestationen sind nur geringfügig höher belastet als der urbane Hintergrund. Der Grenzwert wird hier überall eingehalten. Der mittlere NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert liegt im Jahr 2012 bei 27 µg/m<sup>3</sup>.
- Die jahresmittlere NO<sub>2</sub>-Belastung im ländlichen Hintergrund liegt noch einmal deutlich unter der im urbanen Hintergrund, in 2012 bei 14 µg/m<sup>3</sup>.
- Es sind seit 2009 für alle Stationstypen Abnahmen der NO<sub>2</sub>-Belastung zu erkennen. Diese sind für die Verkehrsstationen am stärksten.
- Trotzdem überschreitet auch im Jahr 2012 selbst der Mittelwert der Verkehrsstationen den Grenzwert für NO<sub>2</sub> deutlich.

Die Aussagen aus dem Bericht des LANUV zur Stickstoffoxid-Immissionssituation in NRW, dass zwar ein Abwärtstrend erkennbar ist, aber bei den Verkehrsmessstationen ein großer Anteil noch eine Überschreitung des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes zeigt, gelten damit auch für das der EEA gemeldete Ensemble von Stationen.

In Bild 3.19 sind jahresmittlere NO<sub>2</sub>-Konzentrationen 2012 in NRW und für die umgebenden Stationen aus Bild 3.17 gemittelt über die angrenzenden Regionen nach Stationstyp dargestellt. Die Stationen aus der Umgebung von NRW wurden wie folgt zu Regionen räumlich zusammengefasst:

- Nordwesten: Niederlande (NL),
- Südwesten: Belgien, Frankreich, Luxemburg (BE, FR, LU),

- Süden: Baden-Württemberg, Rheinland-Pfalz, Saarland (BW, RP, SL),
- Südosten: Bayern, Hessen, Thüringen (BY, HE, TH),
- Norden und Nordosten: Niedersachsen (NI).

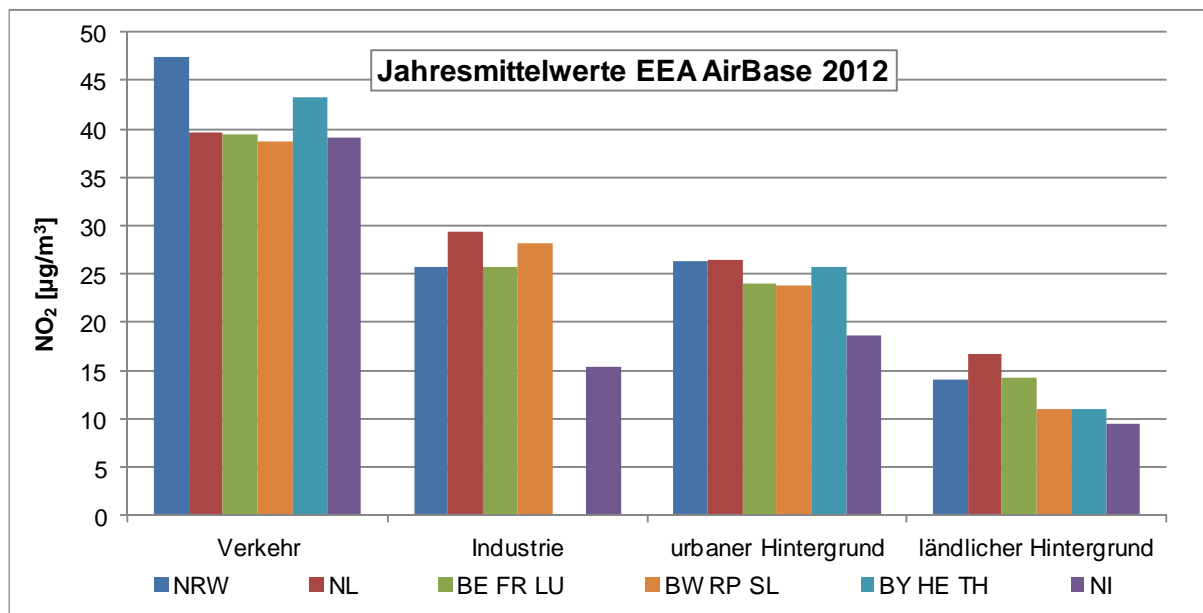


Bild 3.19: Jahresmittlere NO<sub>2</sub>-Konzentrationen 2012 in NRW und den angrenzenden Regionen nach Stationstyp; Datenquelle: EEA AirBase<sup>9</sup>

Es lassen sich folgende Punkte festhalten:

- In allen betrachteten Regionen sind die Verkehrsstationen im Mittel am höchsten mit NO<sub>2</sub> belastet.
- Die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen an Verkehrsstationen in NRW sind im Vergleich mit den anderen betrachteten Regionen am höchsten. Die mittlere NO<sub>2</sub>-Konzentration der Verkehrsmessstationen in NRW liegt bei 46 µg/m<sup>3</sup>, die der angrenzenden Regionen darunter und (bis auf die Region „BY HE TH“) auch unter dem NO<sub>2</sub>-Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup>.
- Bei den anderen Stationstypen sind die mittleren NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in NRW mit denen der Nachbarländer vergleichbar.
- Die mittleren NO<sub>2</sub>-Jahreskonzentrationen der Industrie- und Hintergrund-Messstationen liegen alle deutlich unter dem Grenzwert für NO<sub>2</sub>.
- Im ländlichen Hintergrund weisen die Stationen aus den Niederlanden im Mittel die höchsten Werte auf.

<sup>9</sup> In der Auswahl der Stationen aus den EEA-Daten nach Bild 3.17 gab es in der Region „BY HE TH“ keine Daten für Industriestationen im Jahr 2012. Die Datenbasis für die NRW-Stationen in Bild 3.19 ist nicht ganz identisch mit der in Bild 3.18, da in Bild 3.18 nur Stationen berücksichtigt wurden, wenn für den Zeitraum von 2005 bis 2012 Jahresmittelwerte vorhanden sind, in Bild 3.19 jedoch alle Stationen, für die der Jahresmittelwert 2012 vorhanden ist.

### 3.1.2.3 Satellitendaten

Die Verteilungsmuster von NO<sub>2</sub>-Konzentrationen (global und über Europa) können auch von Satelliten aus beobachtet werden. Von verschiedenen Instrumenten werden „NO<sub>2</sub>-Säulendichten“ gemessen, d.h. die Anzahl der NO<sub>2</sub>-Moleküle pro Grundfläche zwischen Erdoberfläche und Satellit. Die stratosphärischen Anteile, für die andere Quellen und andere chemische Prozesse relevant sind als für die troposphärischen Anteile, werden unabhängig bestimmt und abgezogen. Das Ergebnis sind troposphärische NO<sub>2</sub>-Säulendichten.

Das KNMI (Koninklijk Nederlands Meteorologisch Instituut) betreibt das Ozone Monitoring Instrument (OMI) auf dem EOS-Aura Satelliten der NASA. Bilder monatlicher troposphärischer NO<sub>2</sub>-Säulendichten über Europa (Zusammensetzungen verschiedener Überflüge) sind auf der Webseite des KNMI verfügbar, der Auswertungsalgorithmus ist in /OMI 2011/ beschrieben.

In Bild 3.20 sind OMI-Messungen troposphärischer NO<sub>2</sub>-Säulendichten für die Monate Februar, Mai, August und November 2014 dargestellt. Es ist Folgendes zu erkennen:

- Im Winter (in Bild 3.20 gezeigt für Februar und November) sind die NO<sub>2</sub>-Werte deutlich höher als im Sommer. In dieser Jahreszeit sind einerseits die Quellen (Hausbrand, Kraftwerke) höher, andererseits sind aber auch die Senken geringer: Durch schwächere Sonneneinstrahlung läuft der photochemische Abbau langsamer ab.
- Aufgrund der längeren Lebensdauer der Stickstoffoxide im Winter spielt in dieser Jahreszeit der Transport auch eine größere Rolle.
- Auch über den Meeren werden zum Teil hohe NO<sub>2</sub>-Werte von OMI gemessen. Es gibt dort zwar auch Stickstoffoxid-Quellen (Schiffsemissionen, Erdgasabfackelung an Ölplattformen, NO<sub>2</sub>-Produktion durch Blitze in Gewittern). Diese sind jedoch verglichen mit den Quellen über Land sehr gering (s. Bild 3.10). Die NO<sub>2</sub>-Konzentration über den Meeren visualisiert damit den Ferntransport von Stickstoffoxiden. Über der Nordsee ist der Ferntransport deutlich zu erkennen.
- Insbesondere über Deutschland, den Niederlanden, Belgien, Dänemark, England und Norditalien sind die NO<sub>2</sub>-Säulendichten erhöht.
- Darüber hinaus sind einzelne Hauptstädte zu erkennen (Paris, Madrid, Moskau, Warschau).

Die Satellitendaten liefern damit ein anschauliches Bild zum Zusammenwirken von NO<sub>x</sub>-Emissionen und ihrem Transport über Europa.



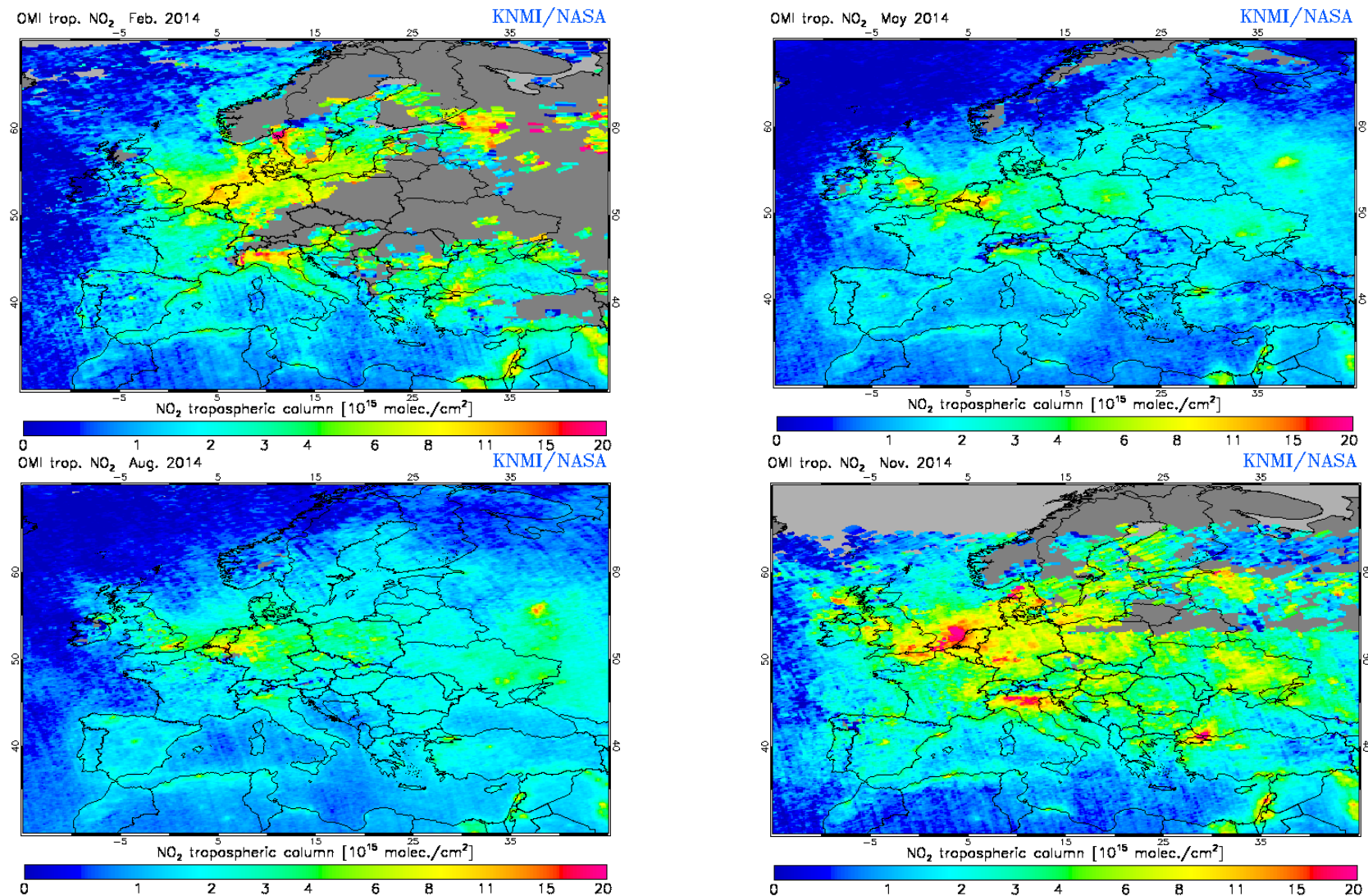


Bild 3.20: Troposphärische NO<sub>2</sub>-Säulendichten über Europa, Februar, Mai, August, November 2014, gemessen von OMI; Quelle: KNMI<sup>10</sup>

<sup>10</sup> [http://www.temis.nl/airpollution/no2col/no2regioomimonth\\_v2.php](http://www.temis.nl/airpollution/no2col/no2regioomimonth_v2.php)

### 3.1.2.4 Kurzfazit zu den NO<sub>2</sub>-Konzentrationen

Die ausgewerteten Daten zu den NO<sub>2</sub>-Konzentrationen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Verkehrsstationen sind in NRW am höchsten belastet, bei allen anderen Stationstypen (Industrie, Hintergrund) wird der Grenzwert für den Jahresmittelwert von NO<sub>2</sub> eingehalten.
- Es sind seit 2009 für alle Stationstypen Abnahmen der NO<sub>2</sub>-Belastung zu erkennen. Diese sind für die Verkehrsstationen am stärksten. Trotzdem überschreitet auch im Jahr 2012 selbst der Mittelwert der Verkehrsstationen den Grenzwert für NO<sub>2</sub> deutlich. Die mittlere NO<sub>2</sub>-Konzentration aller Verkehrsmessstationen in NRW liegt 2012 bei 46 µg/m<sup>3</sup>.
- Die mittleren NO<sub>2</sub>-Jahreskonzentrationen der Verkehrsmessstationen in den betrachteten benachbarten Regionen liegen bis auf Bayern / Hessen / Thüringen unter dem NO<sub>2</sub>-Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup>.
- In 2013 wird noch an 75 % der Verkehrsmessstationen in NRW der NO<sub>2</sub>-Grenzwert überschritten.
- Bei Fortschreibung des bisherigen Trends der Abnahme der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in NRW würde bei vielen Verkehrsmessstationen auch in 10 Jahren der NO<sub>2</sub>-Grenzwert nicht eingehalten.
- Satellitendaten liefern ein anschauliches Bild zum Zusammenwirken von NO<sub>x</sub>-Emissionen und ihrem Transport über Europa:
  - Erhöhte NO<sub>2</sub>-Konzentrationen zeigen sich vor allem über Deutschland, den Niederlanden, Belgien, Dänemark, England und Norditalien.
  - Insbesondere über der Nordsee sind deutliche Anteile an Ferntransport zu erkennen.
  - Im Winter sind die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen höher als im Sommer und der Ferntransport spielt eine größere Rolle.

### 3.2 Zusammenhänge zwischen NO<sub>x</sub>-Emissionen und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen

Zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen NO<sub>x</sub>-Emissionen und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im regionalen Hintergrund wurden vom Rheinischen Institut für Umweltforschung (RIU) im Auftrag des LANUV verschiedene EURAD-Modellrechnungen durchgeführt. Darin wurden die NO<sub>2</sub>- (und Feinstaub-) Konzentrationen im regionalen Hintergrund in NRW modelliert sowie die Beiträge der relevanten Quellengruppen quantifiziert. Sie sind in einer Veröffentlichung in „Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft“ /LANUV 2014b/ sowie in zwei Berichten des LANUV an das Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW (/LANUV 2014a/, /LANUV 2010/) enthalten.

Die EURAD-Modellrechnungen wurden „genestet“ mit unterschiedlichen räumlichen Auflösungen durchgeführt. Europaweit wurde mit einer Auflösung von 125 km × 125 km gerechnet, diese wurde über Zwischengitter bis zu einer Auflösung von 5 km × 5 km für das Gebiet von NRW verfeinert.

In der Luftqualitätsmodellierung wird häufig zwischen „ländlichem Hintergrund“, „urbanem Hintergrund“ und „lokaler Zusatzbelastung“ unterschieden. Der ländliche Hintergrund wird dabei als gut durchmischt und weiträumig konstant angenommen. Der urbane Hintergrund ergibt sich als Summe aus ländlichem Hintergrund und allen Quellen der betrachteten Stadt mit Ausnahme der lokalen Quellen am betrachteten Belastungsschwerpunkt (Hotspot). Durch die zusätzlichen lokalen Quellen am Hotspot ergibt sich dann die räumlich sehr variable lokale Zusatzbelastung. Dieses Schema nach /Lenschow et al. 2001/ ist in Bild 3.21 dargestellt.



Bild 3.21: Schema der Zusammensetzung der städtischen Gesamtbelastung nach /Lenschow et al. 2001/; Bildquelle: nach /UBA 2011a/

Der in den EURAD-Rechnungen modellierte regionale Hintergrund ergibt sich als Mittelwert einer Gitterzelle der Größe 5 km × 5 km. In ländlichen Gebieten entspricht dies dem ländlichen Hintergrund und in städtischen Gebieten dem urbanen Hintergrund.

Die verschiedenen Modellrechnungen beziehen sich auf unterschiedliche Basisjahre. Dies betrifft sowohl die verwendeten Emissionen als auch die Meteorologie. Die Emissionen haben sich in diesem Zeitraum jedoch nicht grundlegend geändert. Die Meteorologie war in keinem der gewählten Jahre ungewöhnlich, sondern entsprach jeweils etwa durchschnittlichen Verhältnissen. Die Größenordnungen der Beiträge der Quellengruppen in den verschiedenen Modellrechnungen können daher verglichen werden.

### **3.2.1 Analyse der Beiträge einzelner Quellengruppen**

Zur Beantwortung der Frage, wie hoch die Beiträge der einzelnen Quellengruppen zur großräumigen NO<sub>2</sub>-Konzentration in NRW sind, werden die Ergebnisse der verschiedenen EURAD-Modellrechnungen zur Analyse der Beiträge einzelner Quellengruppen zusammengefasst. Bei diesen Rechnungen wurde Einfluss jeder betrachteten NO<sub>x</sub>-Emissionsquelle auf die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung im Modell durch jeweils eine zusätzliche Modellrechnung bestimmt, in der diese Quelle im Modell abgeschaltet wurde.

#### **3.2.1.1 EURAD-Modellrechnungen zu Verkehr und Industrie**

Die Beiträge von Verkehr und Industrie zur regionalen Hintergrundbelastung wurden vom RIU in einer EURAD-Modellrechnung im Auftrag des LANUV einzeln untersucht /LANUV 2014a/.

Durch modellseitiges Abschalten der Verkehrsemissionen in NRW ergaben sich dabei Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Konzentration im regionalen Hintergrund in weiten Teilen von NRW über 5 µg/m<sup>3</sup>. In dicht besiedelten Gebieten (Rhein/Ruhrgebiet) ist der Beitrag am höchsten.

Modellseitiges Abschalten der Industrie-Emissionen ergab Reduktionen, die bei maximal 2 µg/m<sup>3</sup> liegen.

Das Niveau des regionalen Hintergrunds von NO<sub>2</sub> liegt in NRW im Mittel bei ca. 20 µg/m<sup>3</sup>. Dies entspricht der Hälfte des Luftqualitätsgrenzwerts für den Jahresmittelwert von NO<sub>2</sub>. Dabei zeigen sich regionale Unterschiede, so liegt im Rhein/Ruhrgebiet das Niveau der regionalen Hintergrundbelastung etwas höher bei ca. 25 µg/m<sup>3</sup>, im Westen von NRW bei ca. 17 µg/m<sup>3</sup> und im Osten bei ca. 12 µg/m<sup>3</sup> /LANUV 2014b/.

#### **3.2.1.2 EURAD-Modellrechnungen Quellenanalyse**

In weiteren Modellrechnungen für das Jahr 2006 /LANUV 2014b/ wurden zusätzliche Quellengruppen untersucht. Es wurde der Einfluss folgender Quellengruppen auf den regionalen Hintergrund jeweils durch Abschalten der entsprechenden Emissionen in NRW im EURAD-Modell als Anteilswert bestimmt:

- Industrie (einschließlich Energieversorgung)
- Straßenverkehr
- Schiffsverkehr
- Sonstiger Verkehr (Schiene, Flugverkehr, Offroad)
- Kleinf Feuerungsanlagen
- Landwirtschaft
- Import (durch Abschalten aller Emissionen in NRW)

In Bild 3.22 sind die Beiträge dieser Quellengruppen zur regionalen Hintergrundbelastung in NRW 2006 nach /LANUV 2014b/ absolut (oben) und anteilig (unten) dargestellt.

Von den Quellengruppen innerhalb von NRW (ohne Import) trägt der Straßenverkehr am meisten zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung bei, im dicht besiedelten Rhein/Ruhrgebiet mit 38 % bzw. 9,5 µg/m<sup>3</sup> am höchsten. Weitere Quellengruppen sind der sonstige Verkehr (Beitrag zwischen 11 % und 17 % bzw. zwischen 1,5 und 4,3 µg/m<sup>3</sup>) und der Schiffsverkehr (Beitrag zwischen 3 % und 11 % bzw. zwischen 0,3 und 2,8 µg/m<sup>3</sup>). Obwohl die Industrie mit über 50 % zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW beiträgt, liegt ihr Beitrag zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung nur zwischen 4 % und 6 % bzw. zwischen 0,6 und 1,4 µg/m<sup>3</sup>. Haushalte und GHD sowie die Landwirtschaft tragen weniger als 1 % zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung bei und wurden nicht dargestellt.

Der Beitrag des Imports zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW liegt zwischen 5,3 und 8,5 µg/m<sup>3</sup>. Aufgrund der vorherrschenden Windrichtung nimmt er von Westen nach Osten ab. Der prozentuale Anteil des Imports ist im Westen mit 50 % am höchsten und im Ruhrgebiet wegen der hohen lokalen Quellen mit 28 % am geringsten.

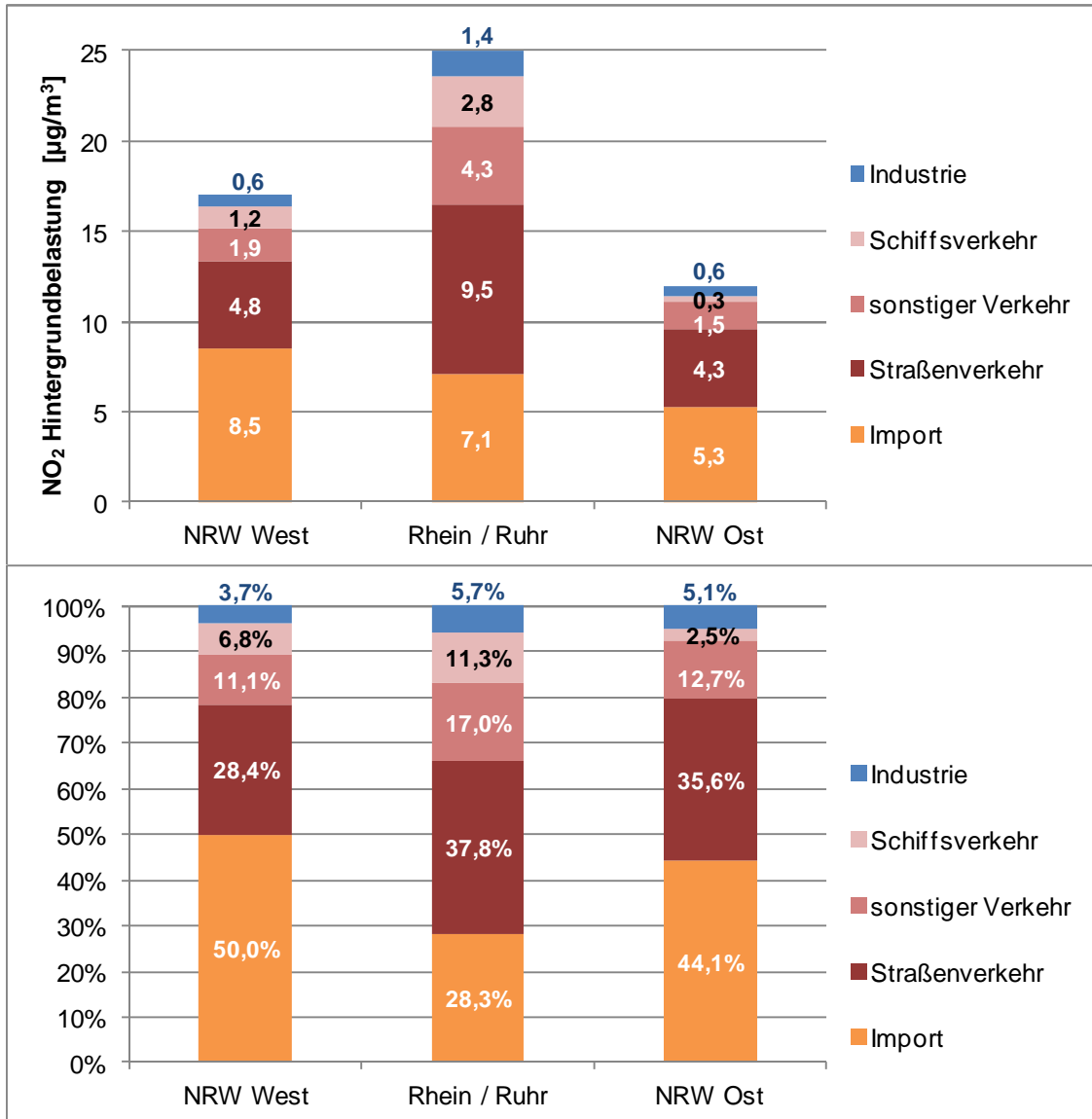


Bild 3.22: Beiträge einzelner Quellengruppen zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung; jeweils Durchschnittswerte 2006 für NRW West, Rhein/Ruhrgebiet und NRW Ost; Datenquelle: /LANUV 2014b/

### 3.2.1.3 Kurzfazit zur Analyse der Beiträge einzelner Quellengruppen

Die Ergebnisse aus den vorhandenen EURAD-Modellrechnungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Das Niveau der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung liegt in NRW bei 20 µg/m<sup>3</sup>. Dabei zeigen sich regionale Unterschiede: Im Rhein/Ruhrgebiet liegt das Niveau bei ca. 25 µg/m<sup>3</sup>, im Westen von NRW bei ca. 17 µg/m<sup>3</sup> und im Osten bei ca. 12 µg/m<sup>3</sup>.
- Der Beitrag der Straßenverkehrsemissionen NRW zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung variiert von 4 µg/m<sup>3</sup> bis über 9 µg/m<sup>3</sup>, der Beitrag der Industrie-Emissionen liegt bei maximal 2 µg/m<sup>3</sup>.

- Die Anteile der Quellengruppen an der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung liegen für die Quellengruppen Straßenverkehr im Bereich von 28 % - 38 %, Schiffsverkehr im Bereich von 3 % - 11 %, sonstigen Verkehr im Bereich von 11 % - 17 %, Industrie im Bereich von 4 % - 6 %.

### 3.2.2 Import und Export

Die Ausführungen in Kap. 3.2.1.2 zur Quellenanalyse zeigen deutlich auf, dass neben den Beiträgen der Emissionen der verschiedenen Quellengruppen in NRW der Import einen hohen Anteil an der regionalen Hintergrundbelastung hat (zwischen 28 % im Rhein/Ruhrgebiet bis zu 50 % im Westen von NRW). Der Import stellt den Beitrag der Emissionen außerhalb von NRW an der regionalen Hintergrundbelastung in NRW dar. Zum Import aus den Nachbarländern tragen vor allem die Emissionen aus diesen Ländern bei, die eher über längere Entfernungen transportiert werden.

Um den Aspekt der unterschiedlichen Transportweite von Emissionen kurz zu erläutern, findet sich im Folgenden zunächst eine allgemeine grobe Abschätzung mittlerer Transportweiten und Lebensdauern von Stickstoffoxiden. Die Abschätzung zeigt die Größenordnung von Transportweiten von Emissionen aus unterschiedlichen Quellhöhen auf.

Im weiteren werden dann zur Beantwortung der Fragen, wie hoch der Beitrag von Emissionen außerhalb von NRW auf die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in NRW (Import) und der Beitrag von Emissionen innerhalb von NRW auf die NO<sub>2</sub>-Konzentration außerhalb von NRW (Export) sind, wiederum Ergebnisse von Modellrechnungen und weiteren Datenquellen zu diesem Thema zusammengefasst.

#### 3.2.2.1 Grobabschätzung Transportweiten

Zur Veranschaulichung möglicher Transportweiten der Stickstoffoxide nach der Emission soll die folgende Überschlagsrechnung dienen. Als Abschätzung für die Transportweite wird die Strecke angesetzt, die mit der mittleren Windgeschwindigkeit während der mittleren Lebensdauer der Stickstoffoxide zurückgelegt werden kann. Die mittlere Lebensdauer entspricht der Zeitspanne, innerhalb derer die Stickstoffoxide in der Luft bis auf einen Faktor 1/e abgebaut sind. Die Hauptsenke für Stickstoffoxide ist die chemische Umwandlung in Salpetersäure. Diese ist sehr gut in Wasser löslich und wird vom Regen ausgewaschen.

Für Höhen von 10 m über Grund und 150 m über Grund wurden die mittleren Windgeschwindigkeiten (3 m/s bzw. 6 m/s) dem Klimaatlas NRW entnommen. Unter Annahme eines logarithmischen Geschwindigkeitsprofils mit der Höhe wurde daraus eine Grobabschätzung von 0,4 m/s für die mittlere Windgeschwindigkeit in 1 m Höhe über Grund abgeleitet. Diese Größe ist theoretischer Natur und soll nur der folgenden groben Abschätzung dienen. Die Geschwindigkeiten sind in Tab. 3.1 (2. Spalte) aufgeführt.

Die mittleren Lebensdauern der Stickstoffoxide wurden nach /Seinfeld, Pandis 1998/ abgeschätzt: Da mit zunehmender Höhe die Verdünnung aller reagierenden Spurengase zunimmt, werden die Reaktionen entsprechend langsamer und die Lebensdauer nimmt zu. Die mittleren Lebensdauern liegen grob geschätzt zwischen acht Stunden in Bodennähe und zwei Tagen in 150 m Höhe, sie sind ebenfalls in Tab. 3.1 (3. Spalte) ausgewiesen.

Tab. 3.1: *Grobabschätzung der Transportweiten von Stickstoffoxiden in Abhängigkeit von der Emissionshöhe*

Höhe über Grund [m]	mittl. Windgeschw. [m/s]	mittl. Lebensdauer [h]	Transportweite [km]
~150	~6	~48	~1.000
~10	~3	~24	~250
~1	~0,4	~8	~10

In der letzten Spalte von Tab. 3.1 sind die daraus abgeschätzten Transportweiten angegeben. Angesichts der sehr groben Annahmen stellen die Werte nur Größenordnungen dar. Es lässt sich jedoch festhalten:

- Die Verkehrsemissionen, die bodennah freigesetzt werden, verbleiben im Wesentlichen am Hotspot und in seiner Umgebung.
- Die Emissionen der Industrie können je nach Schornsteinhöhe prinzipiell europaweit transportiert werden.

Diese grobe Abschätzung veranschaulicht, warum der Beitrag der Industrie zur NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW deutlich kleiner ist als ihr Beitrag zu den Emissionen, während es beim Verkehr umgekehrt ist. Die Industrie-Emissionen werden eher über Schornsteine freigesetzt und daher deutlich weiter transportiert.

Zum Import und zum Export von Stickstoffoxiden werden die Emissionen der Industrie daher entsprechend stärker beitragen als die des Verkehrs.

### 3.2.2.2 EURAD-Modellrechnungen

Im Folgenden werden die Ergebnisse von Untersuchungen zu Import und Export von Stickstoffoxiden aus den verschiedenen EURAD-Modellrechnungen für NRW zusammengeführt.

Zum Import ergeben sich folgende Punkte:

- Der Beitrag des Imports zur NO<sub>2</sub>-Belastung wurde in /LANUV 2014b/ untersucht und ist vergleichend mit den Beiträgen der Quellengruppen innerhalb von NRW bereits in Bild 3.22 dargestellt. Er ist im Westen von NRW mit 50 % am höchsten. Bei der



vorherrschenden Westströmung ist dies zu erwarten. Im Rhein/Ruhrgebiet ist der Beitrag des Imports mit 28 % am geringsten. Hier sind die lokalen Quellen (hohe Bevölkerungsdichte) am größten. Im Osten von NRW ist der Beitrag des Imports mit 44 % höher als im Rhein/Ruhrgebiet, jedoch deutlich kleiner als im Westen von NRW.

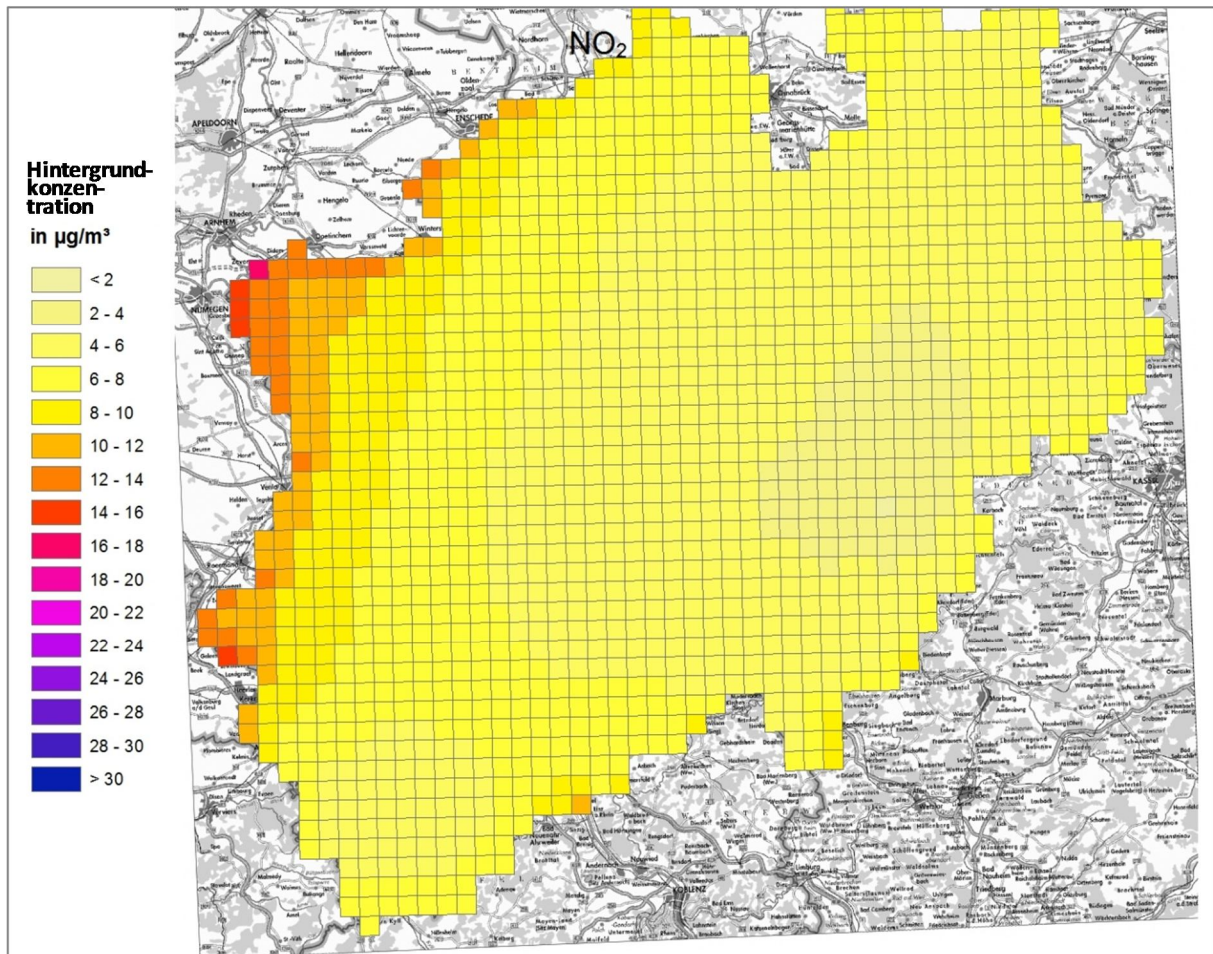
- Die absoluten Beiträge liegen gemäß /LANUV 2014b/ zwischen  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .
- In einer etwas älteren EURAD-Modellrechnung, ebenfalls durchgeführt am RIU im Auftrag des LANUV, wurden die Beiträge Belgiens und der Niederlande einzeln betrachtet /LANUV 2010/. Sie liegen jeweils zwischen  $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Da sich der Import aus den Niederlanden vornehmlich im Nordwesten von NRW und der Import aus Belgien vornehmlich im Südwesten von NRW auswirkt, überlagern sich diese Beiträge fast nicht und dürfen nicht addiert werden.

Die Emissionen der beiden Modellrechnungen beziehen sich auf unterschiedliche Basisjahre, gleiches gilt für die Meteorologie. Die Jahre sind jedoch jeweils nicht außergewöhnlich und die Ergebnisse der Modellrechnungen sind vergleichbar. Der Vergleich der Beiträge Belgiens und der Niederlande ( $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bis  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , /LANUV 2010/) mit den Werten für den Import aus allen Nachbarländern ( $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bis  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , /LANUV 2014b/) zeigt daher, dass es im Westen von NRW außer den Beiträgen Belgiens und der Niederlande weitere Beiträge zum Import von NO<sub>2</sub> zur regionalen Hintergrundkonzentration gibt.

In Bild 3.23 ist das Ergebnis der EURAD-Modellrechnung /LANUV 2014b/ zum Beitrag des Imports zur regionalen Hintergrundbelastung (Abschalten der Emissionen in NRW) nochmals kartografisch dargestellt.

Obwohl in NRW eine Windrichtung von Südwest bis West vorherrscht (mit einem Nebenmaximum aus nordöstlicher Richtung, Quelle: Klimaatlas NRW), ist der Beitrag des Imports zum Hintergrund im Nordwesten von NRW am höchsten. Dies legt die Vermutung nahe, dass der Import nach NRW, der zusätzlich zum Beitrag aus Belgien und den Niederlanden stattfindet, aus der Nordsee (Schiffsemissionen) oder aus Großbritannien kommen könnte. Die für den Import besonders relevanten Industrie-Emissionen sind westlich von NRW insbesondere im Norden Englands erhöht (s. Bild 3.11).

Am östlichen Rand von NRW sind NO<sub>2</sub>-Importe aus östlicher Richtung zu erkennen, die jedoch deutlich geringer sind als die aus westlicher Richtung, wie auch nach der Verteilung der Windrichtungen zu erwarten.



*Bild 3.23: EURAD-Modellrechnung: Jahresmittlere NO<sub>2</sub>-Konzentration im regionalen Hintergrund in NRW 2006 ohne Emissionen in NRW (d.h. Import nach NRW), Rastergröße: 5 km x 5 km; Quelle: /LANUV 2014b/*

In /LANUV 2010/ wurde weiterhin der Export von Stickstoffoxiden aus Deutschland auf die Nachbarländer untersucht, NRW wurde nicht gesondert betrachtet:

- In Polen und Tschechien tragen Emissionen aus Deutschland bis zu 3 µg/m<sup>3</sup> zur regionalen Hintergrundkonzentration von NO<sub>2</sub> bei.
- Bei Ostwind-Wetterlagen exportiert Deutschland auch Stickstoffoxide in die Niederlande und nach Belgien. Dort liegt der Beitrag Deutschlands zur regionalen Hintergrundkonzentration von NO<sub>2</sub> bei jeweils bis zu 2 µg/m<sup>3</sup>.

Sowohl im Export Deutschlands nach Polen und Tschechien wie auch im Export in die Niederlande und nach Belgien sind Emissionen aus NRW enthalten. Um den Beitrag aus NRW genauer zu quantifizieren, müssten entsprechende Rechnungen für NRW durchgeführt werden.

In NRW ist der Beitrag der Industrie zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen vergleichsweise hoch (s. Bild 3.7, unten), die eher in größeren Höhen freigesetzt und damit weiter transportiert werden und so zum Export aus NRW beitragen.

### 3.2.2.3 LOTOS-EUROS-Modellrechnungen

Traditionell wird der Einfluss einer Emissionsquelle im Modell durch eine zusätzliche Modellrechnung bestimmt, in der diese Quelle im Modell abgeschaltet bzw. leicht verändert wird. Die Antwort des Modells auf die Änderung der Eingangsdaten ergibt die Sensitivität der Modellergebnisse auf diese Daten. Bei stark nicht-linearen Modellen sollten die Eingangsdaten nur leicht (infinitesimal) geändert werden. Hinsichtlich der NO<sub>x</sub>-Emissionen verhalten sich Chemie-Transport-Modelle zwar nicht extrem nicht-linear, das Abschalten einer großen Quelle im Modell stellt jedoch trotzdem eine Näherung dar.

Um den Einfluss großer Quellen abzuschätzen, ohne den Zustand des Modells zu ändern, kann die „Labelling-Technik“ /TNO 2012/ verwendet werden: Dabei können verschiedene Stoffe ein „Label“ bekommen, z.B. können Stickstoffatome mit dem Label „emittiert als NO<sub>x</sub> in NRW“ versehen werden. Die so gelabelten Stickstoffatome verhalten sich chemisch und physikalisch wie andere Stickstoffatome auch, können jedoch stets verfolgt und anhand ihres Labels identifiziert werden. Prinzipiell sind auch kombinierte Label (z.B. „emittiert als NO<sub>x</sub> in der Energieversorgung in NRW“) möglich.

Das Modell LOTOS-EUROS ist sehr gut zur Quellenzuordnung geeignet, da die Labelling-Technik angewandt wird /TNO 2012/.

Im Auftrag des UBA wurden von TNO im Rahmen des PINETI II Projekts mit dem Modell LOTOS-EUROS Modellrechnungen zur atmosphärischen Deposition verschiedener Schadstoffe untersucht /TNO 2015a/. Zielgebiet für die Untersuchungen war die Bundesrepublik Deutschland, hier wurde in einer horizontalen Auflösung von in der geografischen Länge 1/8 Grad und in der geografischen Breite 1/16 Grad gerechnet. Dies entspricht einer Gitterweite von ca. 8 km in Nord-Süd-Richtung und bei einem Breitengrad von 51° nördlicher Breite ca. 9 km in Ost-West-Richtung. Zur Berücksichtigung der Auswirkungen des Ferntransports wurden mit einem gröberen Gitter Modellrechnungen für ganz Europa durchgeführt, in die Deutschland mit der feineren Auflösung entsprechend genestet wurde.

In diesem Zusammenhang wurden von TNO auch bislang unveröffentlichte Modellrechnungen zum Beitrag der NO<sub>x</sub>-Emissionen einzelner Bundesländer zur Stickstoffdeposition sowie zur regionalen Hintergrundbelastung von NO<sub>2</sub> durchgeführt.

In Bild 3.24 ist der relative Beitrag der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW 2009 zur regionalen Hintergrundkonzentration von NO<sub>2</sub> dargestellt /TNO 2015b/. Ein Wert von eins in der Grafik bedeutet, dass die NO<sub>2</sub>-Hintergrundkonzentration an dieser Stelle zu 100 % auf NO<sub>x</sub>-Quellen innerhalb von NRW zurückzuführen ist.

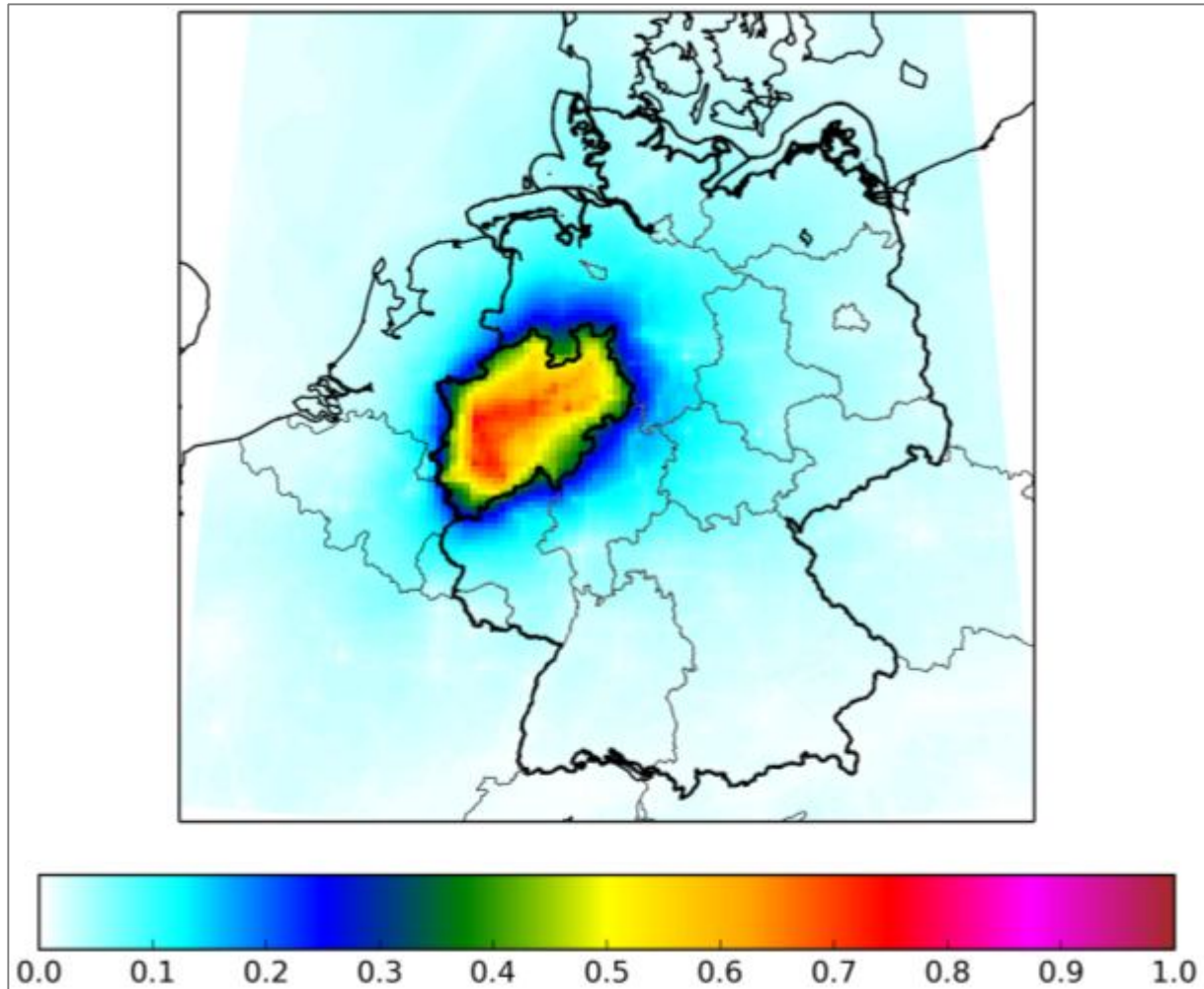


Bild 3.24: Relativer Beitrag der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW 2009 zur regionalen Hintergrundkonzentration von NO<sub>2</sub>; Bildquelle: /TNO 2015b/

In Bild 3.24 sind sowohl der Import nach NRW wie auch der Export aus NRW zu erkennen:

- **Import:** Der an 100 % fehlende Anteil der regionalen Hintergrundbelastung **innerhalb** von NRW entspricht dem Beitrag des Imports. Dieser liegt in den grün eingefärbten Gebieten am Rand von NRW zwischen 60 % und 70 %, in den gelb eingefärbten Gebieten zwischen 40 % und 50 % und in den rot eingefärbten Gebieten (Rhein/Ruhrgebiet) zwischen 20 % und 30 %. Für den Import nach NRW liefern die Modellrechnungen von EURAD (s. Bild 3.22) und LOTOS-EUROS also die gleiche Größenordnung.
- **Export:** Der dargestellte Anteil der regionalen Hintergrundbelastung **außerhalb** von NRW entspricht dem Beitrag des Exports aus NRW in diese Gebiete. In Niedersachsen und Hessen (Hauptwindrichtung) tragen die Emissionen aus NRW in 40 km Entfernung zum Teil über 20 % zur NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung bei. In alle Richtungen wird auch weiträumiger exportiert, der Beitrag von NRW liegt auch in 100 km Entfernung noch bei ca. 10 %.

### 3.2.2.4 Vergleich: NO<sub>2</sub>-Import nach Baden-Württemberg

Im Auftrag der LUBW wurden von der IVU Umwelt GmbH Modellrechnungen zur Bestimmung der Hintergrundbelastung unterschiedlicher Schadstoffe, unter anderem NO<sub>2</sub>, in Baden-Württemberg (BW) mit dem Programmsystem FLADIS durchgeführt /LUBW 2014/. Betrachtet wurde das Jahr 2010.

Im Rahmen dieser Arbeiten wurde auch der Import nach BW untersucht, dafür wurden die Emissionen innerhalb von BW abgeschaltet. Die resultierende NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in BW (Jahresmittelwert 2010) ist in Bild 3.25 dargestellt.

In BW, wie auch in NRW, ist die häufigste Windrichtung eine Westströmung. Ein Vergleich mit dem Beitrag des Imports in NRW nach Bild 3.23 zeigt Folgendes:

- Im Westen von NRW stammen bis ca. 50 km ins Landesinnere hinein 7 µg/m<sup>3</sup> oder mehr der NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung aus dem Import.
- In BW ist der Beitrag des Imports an der NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung fast überall bereits 5 km ins Landesinnere hinein auf unter 7 µg/m<sup>3</sup> abgefallen. Ausnahmen befinden sich im Nordwesten und Südwesten von BW. Dort liegen mit Ludwigsburg in Rheinland-Pfalz und Basel in der Schweiz jeweils große Städte mit hohen Emissionen.

Insgesamt ist der Beitrag des Imports zur NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW höher als in BW. Ein möglicher Grund dafür ist bereits oben genannt: Aufgrund der Windrichtung kommen die importierten Luftmassen in BW vornehmlich aus Frankreich. Aufgrund des hohen Anteils der Kernenergie an der Energieversorgung dort sind die besonders exportrelevanten NO<sub>2</sub>-Emissionen der Quellengruppe Industrie und Energieversorgung im europäischen Vergleich in Frankreich eher niedrig.



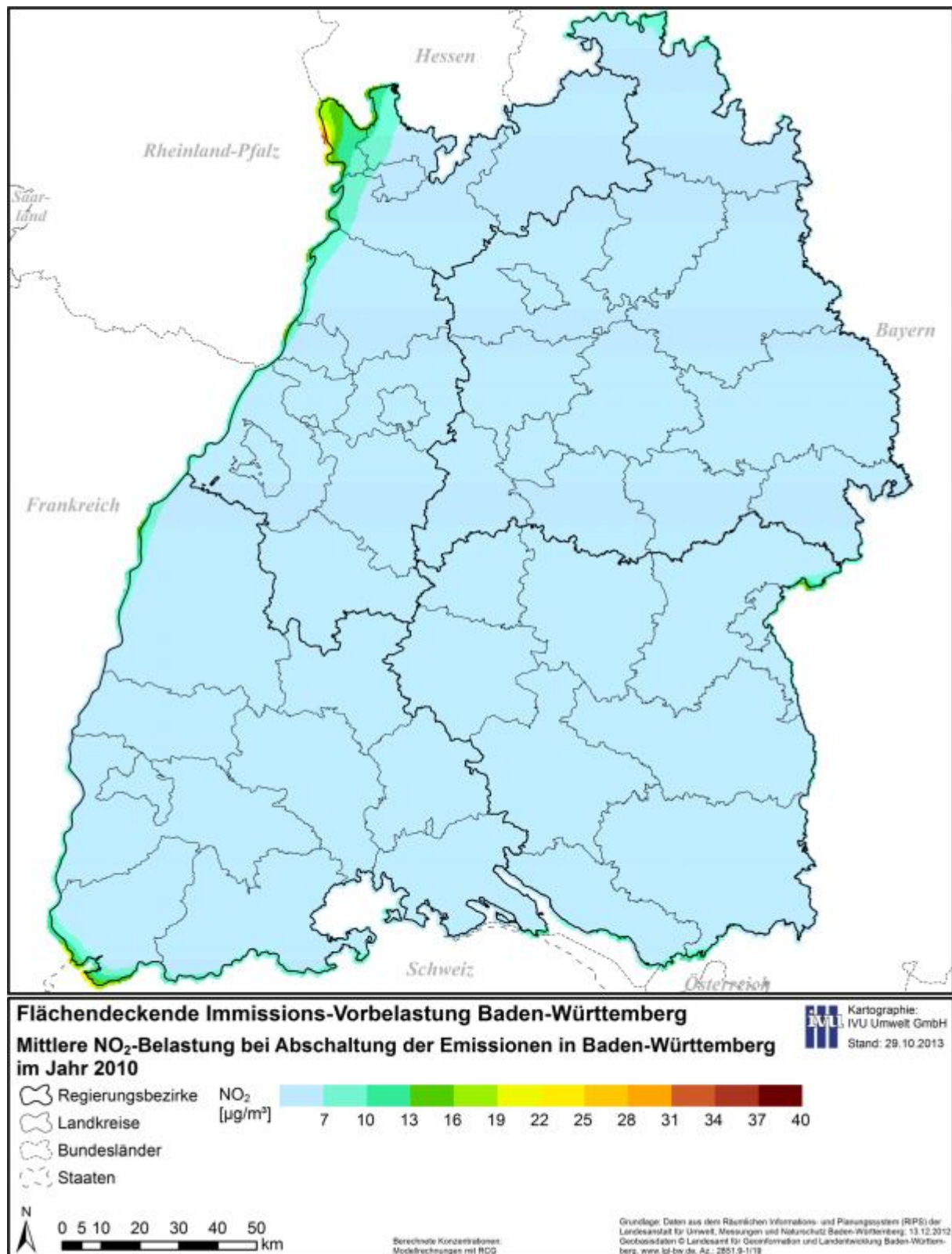


Bild 3.25: Mittlere NO<sub>2</sub>-Belastung bei Abschaltung der Emissionen in Baden-Württemberg im Jahr 2010; Bildquelle: /LUBW 2014/

### 3.2.2.5 Kurzfazit zum Import/Export

Die Ergebnisse aus den vorhandenen Modellrechnungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Für den Import und Export von Stickstoffoxiden sind die Emissionen der Industrie relevanter als die des Verkehrs, da diese in größeren Höhen freigesetzt werden und daher weiter transportiert werden.
- Der Beitrag des Imports zur NO<sub>2</sub>-Hintergrundkonzentration in NRW liegt zwischen 50 % (im Westen von NRW) und 28 % (Rhein/Ruhr), dies entspricht einer Belastung zwischen 4 und 10 µg/m<sup>3</sup>.
- In NRW spielt der Import von Stickstoffoxiden eine größere Rolle als in BW.
- Aus den Niederlanden und Belgien importiert NRW jeweils 2 bis 4 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>. Diese Beiträge beziehen sich auf den Nordwesten (Niederlande) bzw. den Südwesten (Belgien) von NRW und überlagern sich fast nicht. NRW importiert zusätzliches NO<sub>2</sub> aus westlicher Richtung, wahrscheinlich aus Großbritannien und aus Schiffs-emissionen auf der Nordsee.
- Der Export von Stickstoffoxiden aus Deutschland nach Polen und Tschechien trägt dort bis zu 3 µg/m<sup>3</sup> zur regionalen Hintergrundkonzentration von NO<sub>2</sub> bei.
- Der Beitrag Deutschlands zur regionalen Hintergrundkonzentration von NO<sub>2</sub> in Belgien und den Niederlanden beträgt jeweils bis zu 2 µg/m<sup>3</sup>.
- NRW trägt in den umgebenden Gebieten weiträumig ca. 10 % zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung bei.

### 3.2.3 Vergleich der zeitlichen Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen

In den vergangenen Jahren sind die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen nicht in gleichem Maße wie die NO<sub>x</sub>-Emissionen gesunken. Dies zeigt die Darstellung in Bild 3.26. Dort sind für NRW und seine Nachbarstaaten die mittleren NO<sub>2</sub>-Konzentrationen von Hintergrundmessstationen (EEA AirBase) für die Jahre 2002 bis 2012 dargestellt, dabei wurde über alle Hintergrundstationen (urban und ländlich) gemittelt. Neben der zeitlichen Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen ist dort auch die zeitliche Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen in diesen Staaten mit dargestellt. Damit die Größenordnungen vergleichbar sind, wurden die Emissionen (analog zu Bild 3.6 (unten)) auf die Einwohner bezogen.

Es ist gut zu erkennen, dass auch in den Nachbarstaaten die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im regionalen Hintergrund in den letzten zehn Jahren langsamer zurückgegangen sind als die NO<sub>x</sub>-Emissionen.

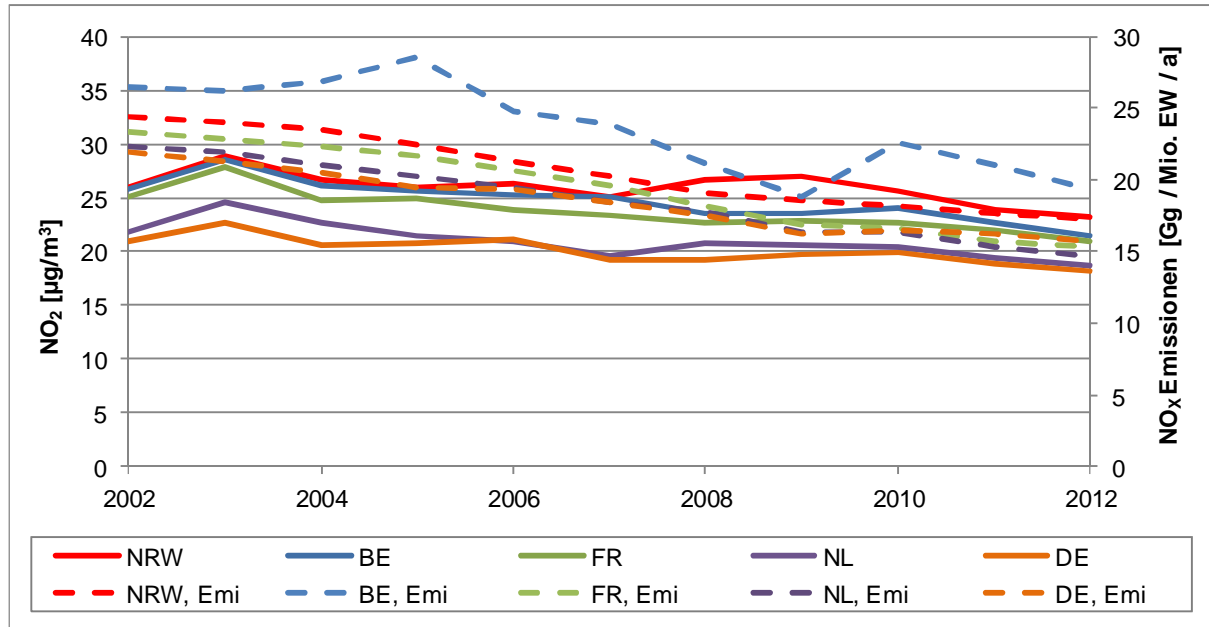


Bild 3.26: Zeitliche Entwicklung: Mittlere NO<sub>2</sub>-Hintergrundkonzentrationen (urban und ländlich) in NRW, Belgien, Frankreich, den Niederlanden und Deutschland (durchgezogene Linien) im Vergleich mit den NO<sub>x</sub>-Emissionen pro Einwohner; Datenquelle: EEA AirBase, EMEP/EEA, LANUV NRW

### 3.2.3.1 NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis

Zur weiteren Analyse wurden zusätzlich zu den NO<sub>2</sub>-Konzentrationen auch die NO<sub>x</sub>-Konzentrationen für die Messstationen des regionalen Hintergrunds in NRW aus der EEA AirBase ausgewertet. Dabei wurden alle Luftqualitätsstationen im urbanen oder ländlichen Hintergrund aus der Datenbank berücksichtigt, für die im Zeitraum 2002 bis 2012 alle Jahresmittelwerte vorliegen.

In Bild 3.27 sind die zeitlichen Entwicklungen der NO<sub>2</sub>-Konzentration, der NO<sub>x</sub>-Konzentration und der NO<sub>x</sub>-Emissionen vergleichend dargestellt. Zusätzlich eingetragen sind lineare Trendlinien.

In Bild 3.27 ist gut zu erkennen, dass in NRW in den letzten zehn Jahren die mittlere NO<sub>2</sub>-Konzentration im Hintergrund deutlich langsamer, NO<sub>x</sub>-Konzentration jedoch nur geringfügig langsamer zurückgegangen ist als die NO<sub>x</sub>-Emissionen.

In Bild 3.28 sind die Änderungen dieser drei Größen zwischen 2002 und 2012 dargestellt. Diese Änderungen wurden auf Basis der Trendlinien bestimmt, um die Werte robuster gegenüber zufälligen Schwankungen dieser Jahre zu machen.



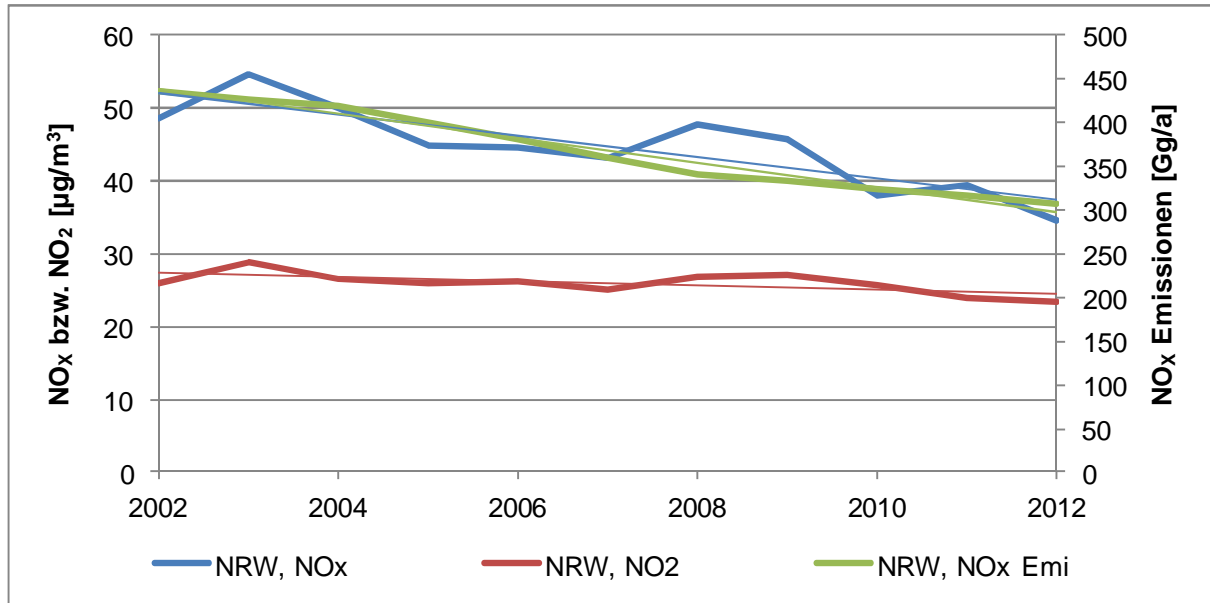


Bild 3.27: Zeitliche Entwicklung: Mittlere NO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Hintergrundkonzentration (urban und ländlich) in NRW im Vergleich mit den NO<sub>x</sub>-Emissionen; Datenquelle: EEA AirBase, LANUV NRW

Es zeigt sich, dass die NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW zwischen 2002 und 2012 um 32 % gesunken sind, die NO<sub>x</sub>-Konzentrationen im gleichen Zeitraum um 28 % sanken, die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen jedoch nur um 11 %. Für Deutschland gesamt sind die Tendenzen ähnlich, die Unterschiede zwischen den Änderungen bei den NO<sub>x</sub>- und den NO<sub>2</sub>-Konzentrationen sind jedoch nicht ganz so groß.

Die Auswertungen zeigen also, dass die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in NRW im regionalen Hintergrund im Vergleich zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen langsamer gesunken sind und dies mit einem Anstieg des NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnisses der Konzentrationen im regionalen Hintergrund verbunden ist.

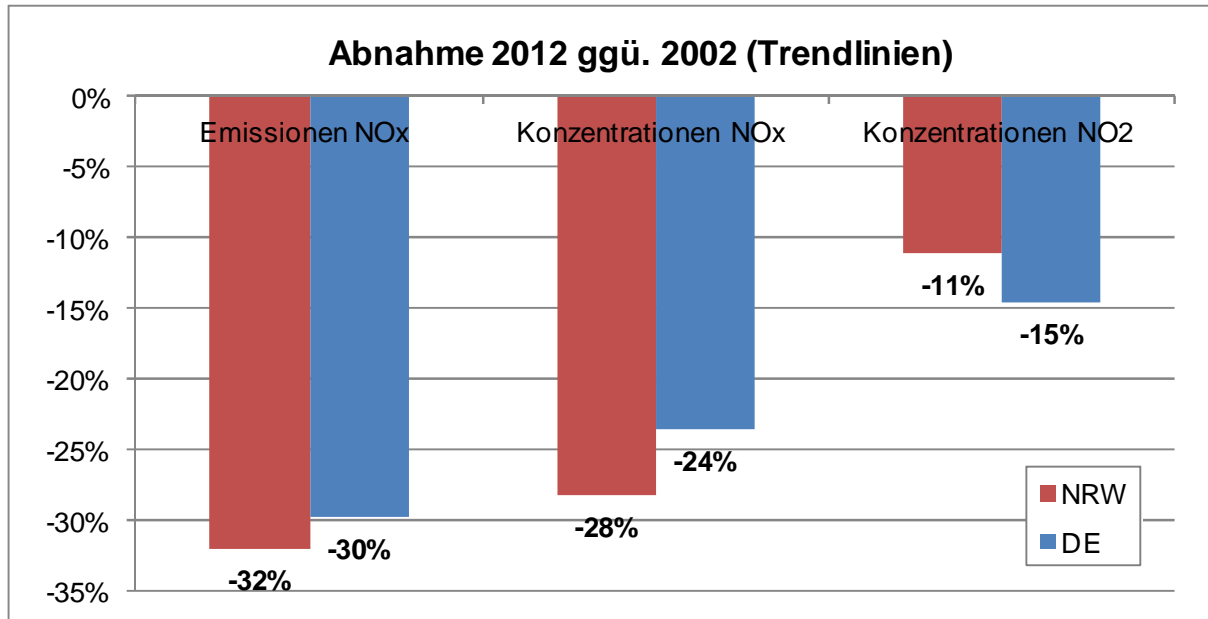


Bild 3.28: Abnahme der NO<sub>x</sub>-Emissionen, der mittleren NO<sub>x</sub>-Konzentrationen sowie der mittleren NO<sub>2</sub>-Konzentrationen 2012 ggü. 2002 in NRW und Deutschland

Zwischen NO und NO<sub>2</sub>, den Bestandteilen von NO<sub>x</sub>, stellt sich innerhalb weniger Sekunden nach Freisetzung der Emissionen ein stationärer Zustand ein. Die Lage dieses Gleichgewichts ist bestimmt durch folgende Größen:

- Sonneneinstrahlung (tagsüber): Photolyse von NO<sub>2</sub> zu NO
- Ozon-Konzentration: Reaktion von O<sub>3</sub> mit NO zu NO<sub>2</sub>
- In Quellennähe: NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis der Emissionen
- Die Konzentrationen weiterer Stoffe (z.B. RO<sub>2</sub>-Radikale), die NO zu NO<sub>2</sub> oxidieren können

Die Sonneneinstrahlung in NRW hat sich in den letzten zehn Jahren nicht verändert. Gegenüber der Reaktion mit Ozon spielen weitere Reaktionen von NO zu NO<sub>2</sub> nur eine geringe Rolle. Die Ozonkonzentration ist in den letzten zehn Jahren in NRW, zumindest an den Rhein/Ruhr-Stationen, jedoch leicht angestiegen (s. Bild 3.29), d.h. das Gleichgewicht zwischen NO und NO<sub>2</sub> konnte aufgrund der höheren O<sub>3</sub>-Konzentrationen in Richtung NO<sub>2</sub> verschoben werden.

Auch das NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis der Emissionen hat zugenommen, z.B. durch den steigenden Anteil von Diesel-Fahrzeugen höherer Euronorm-Stufen an der Kfz-Flotte. Bei diesen Fahrzeugen ist das NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis der Emissionen gegenüber dem Rest der Flotte besonders hoch. Dies führt im direkten Nahfeld der Emissionsquellen zu höheren NO<sub>2</sub>-Konzentrationen.

Diese Effekte führten dazu, dass sich das NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis der gemessenen Konzentrationen in den letzten 10 Jahren kontinuierlich erhöht hat.

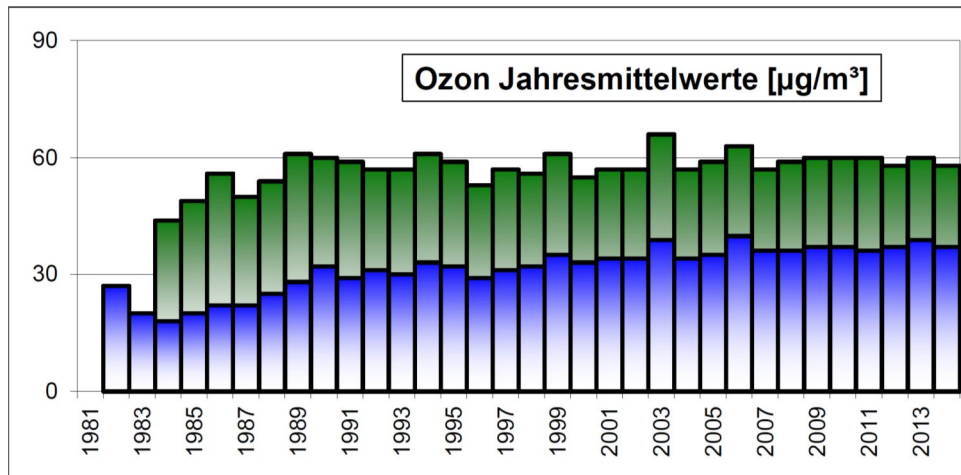


Bild 3.29: Zeitliche Entwicklung der Ozonkonzentrationen (Jahresmittelwerte) in NRW, grün: Waldstationen, blau: Rhein/Ruhr-Stationen; Bildquelle: LANUV NRW<sup>11</sup>

### 3.2.3.2 Weitere Einflüsse auf die NO<sub>x</sub>-Konzentration

Wie Bild 3.28 zeigt, sind auch die NO<sub>x</sub>-Konzentrationen im regionalen Hintergrund in NRW etwas langsamer (28 %) gesunken als die NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW (32 %), wenn auch deutlich stärker als die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen. Der Unterschied ist gering und ergibt sich voraussichtlich als Summe mehrerer kleiner Effekte:

- Biogene Quellen und sonstige, bisher nicht berücksichtigte, anthropogene Quellen für Stickstoffoxid-Emissionen, die keine Minderung erfahren haben in den letzten Jahren, deren Beitrag in Europa und auch in NRW aber gering ist.
- Quellen (biogen oder anthropogen) außerhalb Europas, die in den letzten zehn Jahren weniger stark gesunken sind als die Quellen innerhalb Europas und die auch einen kleinen Beitrag zu den gemessenen Konzentrationen in NRW liefern (z.B. durch Bildung von langlebigen Substanzen wie PAN (Peroxyacetylnitrat), das in der oberen Troposphäre weltweit transportiert werden kann und in wärmeren Luftschichten wieder in seine Ursprungsstoffe zerfällt).

Zu den nicht-anthropogenen NO<sub>x</sub>-Quellen auf globaler Ebene gibt es eine Abschätzung für das Jahr 2000 im IPCC Third Assessment Report /IPCC 2001/, die Werte sind in Bild 3.30 dargestellt. Global tragen die nicht-anthropogenen Emissionen (Bakterienaktivität in Böden, Blitze, Eintrag aus der Stratosphäre) ca. 20 % zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen bei. Die nicht-anthropogenen NO<sub>x</sub>-Quellen sind insbesondere in den Tropen relevant (tägliche Gewitter in der innertropischen Konvergenzzone, häufige Waldbrände, viele offene Böden).

In Bild 3.31 sind die anthropogenen Emissionen für das Jahr 2000 gemäß /IPCC 2001/ weltweit nach Erdteilen dargestellt. Europa und Nordamerika trugen 2000 etwas mehr als die Hälfte zu den Gesamtemissionen bei. Der Beitrag aus Schwellenländern wie China, Indien

<sup>11</sup> [http://www.lanuv.nrw.de/luft/immissionen/ber\\_trend/Jahreskenngroessen\\_2014.pdf](http://www.lanuv.nrw.de/luft/immissionen/ber_trend/Jahreskenngroessen_2014.pdf)

oder Brasilien ist jedoch nicht zu vernachlässigen und hat im Zeitraum von 2000 bis 2012 eher zugenommen.

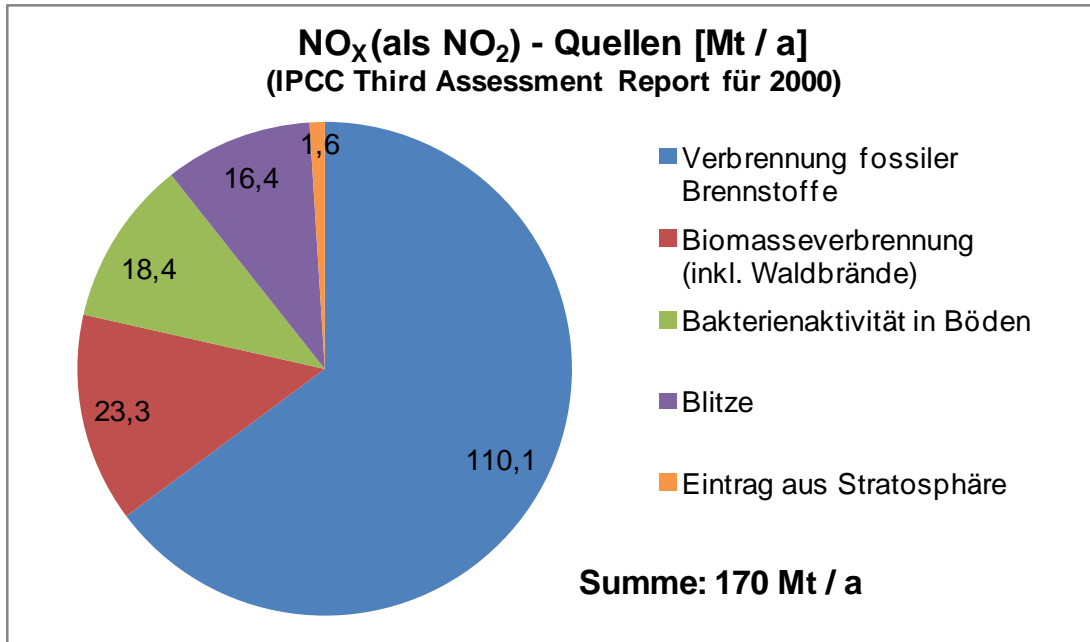


Bild 3.30: NO<sub>x</sub>-Quellen global: Beiträge biogener und anthropogener Prozesse; Quelle: /IPCC 2001/

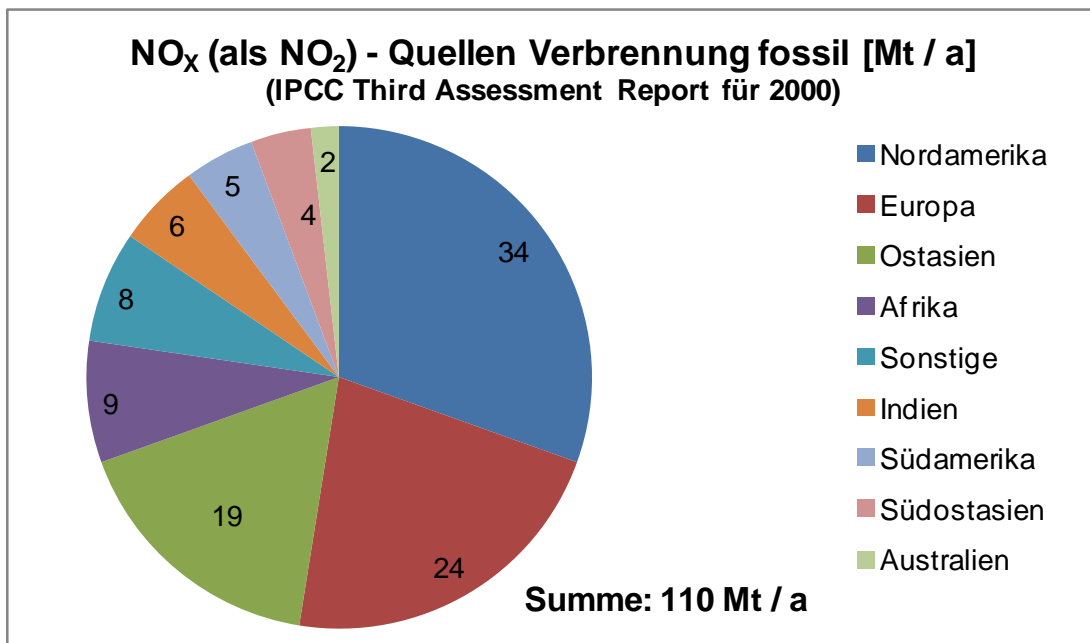


Bild 3.31: NO<sub>x</sub>-Quellen global: Anthropogene Emissionen nach Erdteilen; Quelle: /IPCC 2001/

### 3.2.3.3 Kurzfazit zum Vergleich der zeitlichen Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen und NO<sub>2</sub>-Konzentrationen

Die ausgewerteten Daten lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Wie in NRW sinken auch in den Nachbarstaaten von NRW die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen nicht in gleichem Maße wie die NO<sub>x</sub>-Emissionen. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen dort sind in den letzten zehn Jahren ähnlich stark gesunken wie in NRW.
- Die NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW sind zwischen 2002 und 2012 um 32 % gesunken, die NO<sub>x</sub>-Konzentrationen im regionalen Hintergrund im Mittel in vergleichbarer Größenordnung um 28 %. Die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im regionalen Hintergrund sind im Mittel jedoch nur um 11 % gesunken. Der Hauptgrund für die geringere Reduktion ist eine Zunahme des NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnisses. Dies kann durch eine Zunahme der Ozonkonzentrationen sowie durch eine Zunahme des NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnisses bei den Emissionen erklärt werden.

### 3.2.4 Auswirkungen von Emissionsänderungen auf die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in NRW

Um die Auswirkungen von Emissionsminderungen in verschiedenen Quellengruppen in NRW auf die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im regionalen Hintergrund abzuleiten, wurden auf der Basis der vorliegenden Ergebnisse u.a. der EURAD-Modellrechnungen weitere Abschätzungen durchgeführt.

Es wurden hierzu hypothetische Emissionsänderungen von jeweils 25 % für die einzelnen Quellengruppen angenommen. Die auf dieser Basis bestimmten Minderungen der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen werden im Folgenden erläutert.

Es werden zum einen die Auswirkungen der hypothetischen Emissionsminderungen auf die regionale Hintergrundbelastung beschrieben und zum anderen die Auswirkungen an einem typischen Belastungsschwerpunkt dargestellt.

#### 3.2.4.1 Regionale Hintergrundbelastung

Aufbauend auf den Ergebnissen aus Bild 3.22 und unter der Annahme, dass sich Änderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen einzelner Quellengruppen direkt in einer entsprechenden Änderung des Beitrags dieser Quellengruppe zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung zeigen (d.h., es wird vereinfachend ein linearer Zusammenhang zwischen NO<sub>x</sub>-Emissionen und NO<sub>2</sub>-Immissionsanteil unterstellt), kann grob abgeschätzt werden, wie sich Emissionsminderungen auf die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung auswirken. In Bild 3.32 ist dargestellt, wie stark unter diesen Annahmen die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung bei einer hypothetischen Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Quellengruppen Straßenverkehr, Schiffsverkehr und Industrie um jeweils 25 % reduziert wird.

Die stärksten Reduktionen der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung (zwischen 7 % in NRW West und knapp 10 % im Rhein/Ruhrgebiet) ergeben sich bei Minderungen der Emissionen des Straßenverkehrs um 25 %. Die gleiche Minderung der Emissionen des Schiffsverkehrs führt zu Reduktionen der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung zwischen knapp 1 % (NRW Ost) und knapp 3 % (Rhein/Ruhrgebiet), während eine entsprechende Minderung der Emissionen der Industrie zu Reduktionen der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung von ungefähr einem Prozent führt.

Durch eine hypothetische Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen aller drei betrachteten Quellengruppen um jeweils 25 % lassen sich im Bezugsjahr 2012 Minderungen der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung zwischen 10 % und 14 % erreichen.

Die Auswirkungen von Reduktionen bei den Quellengruppen Hausbrand und Landwirtschaft, deren Einfluss auf die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung bei unter einem Prozent liegt /LANUV 2014b/, sind hier nicht nachweisbar.

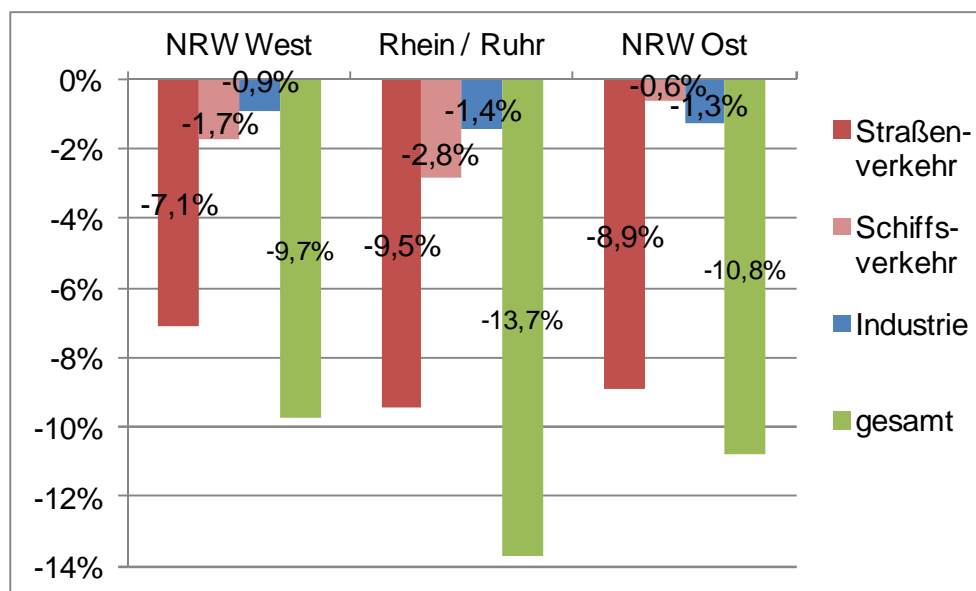


Bild 3.32: Grobabschätzung: Reduktion der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung bei einer hypothetischen Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Quellengruppen Straßenverkehr, Schiffsverkehr und Industrie sowie aller Quellengruppen (gesamt) um jeweils 25 % für NRW West, Rhein/Ruhrgebiet und NRW Ost

### 3.2.4.2 Belastungsschwerpunkte

Die in Abschnitt 3.1.2 beschriebenen EURAD-Modellrechnungen für NRW zur Ableitung der Beiträge einzelner Quellengruppen zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung wurden mit einer Gitterweite von 5 km × 5 km durchgeführt. Damit kann der regionale Hintergrund gut modelliert werden und die Beiträge zur dortigen NO<sub>2</sub>-Konzentration können analysiert

werden. Die lokale Situation, z.B. in einer Straßenschlucht, kann jedoch vom regionalen Hintergrund deutlich abweichen.

Zur Ermittlung der Beiträge einzelner Quellengruppen an lokalen Belastungsschwerpunkten wurde auf die Verursacheranalysen in den Luftreinhalteplänen der Kommunen in NRW zurückgegriffen. In diesen Analysen wurden NO<sub>x</sub>-Konzentrationen betrachtet, daher bezieht sich der folgende Absatz auf NO<sub>x</sub> und nicht, wie zuvor, auf NO<sub>2</sub>.

Fast alle Luftreinhaltepläne in NRW enthalten Verursacheranalysen, in denen die Beiträge verschiedener Quellengruppen zur NO<sub>x</sub>-Konzentration an bestimmten Luftqualitätsstationen analysiert werden. Bei diesen Stationen handelt es sich in den meisten Fällen um Verkehrsstationen, es sind jedoch auch Industriestationen und Stationen aus dem urbanen Hintergrund darunter.

Es wurden alle Luftreinhaltepläne in NRW ausgewertet. In Bild 3.33 sind jeweils die mittleren Anteile der Quellengruppen „Hausbrand“, „Industrie“, „Sonstiger Verkehr“, „Lokaler Kfz-Verkehr“ und „sonstiger urbaner Hintergrund“ an der lokalen NO<sub>x</sub>-Belastung für die verschiedenen Stationstypen dargestellt.

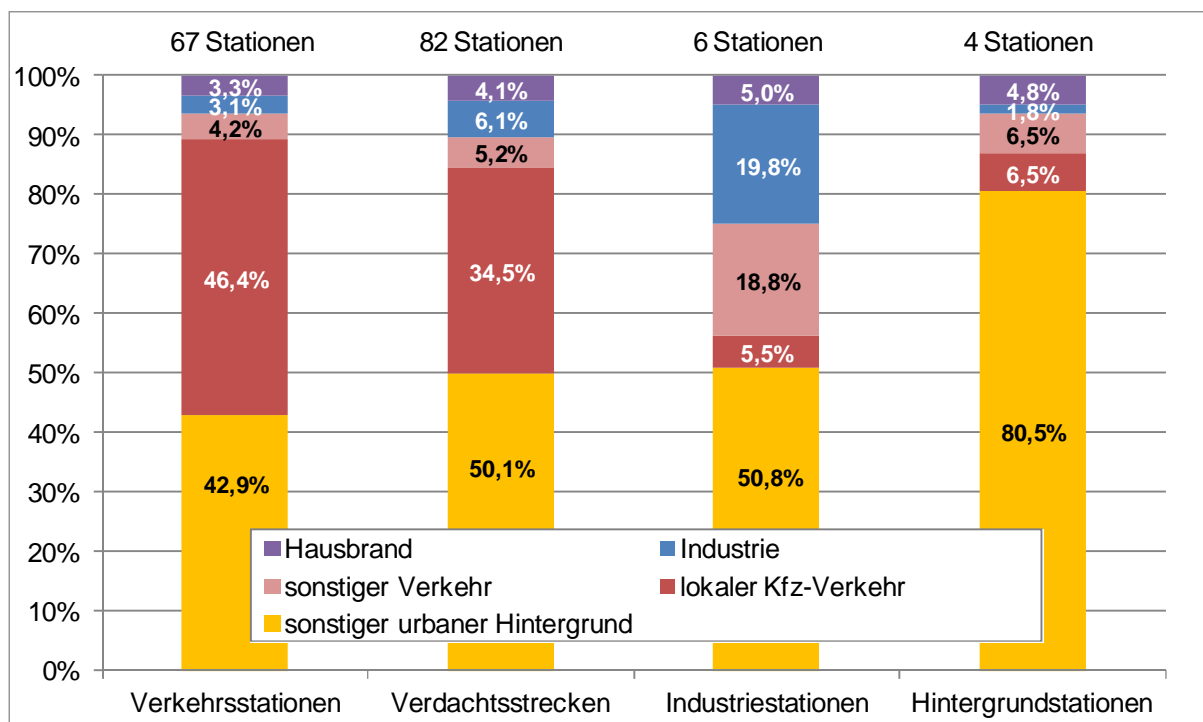


Bild 3.33: Beiträge einzelner Quellengruppen zur lokalen NO<sub>x</sub>-Konzentration, jeweils Mittelwerte für verschiedene Typen von Luftqualitätsstationen; Datenquelle: Luftreinhaltepläne NRW

Insgesamt lässt sich Folgendes festhalten:

- Der sonstige urbane Hintergrund enthält neben den in den EURAD-Modellrechnungen analysierten Beiträgen zum regionalen Hintergrund (s. Bild 3.22) zusätzlich Beiträge aller Quellen aus der Stadt, die sich nicht lokal an der Messstation selbst befinden. Der Beitrag des sonstigen urbanen Hintergrunds zur lokalen NO<sub>x</sub>-Belastung liegt zwischen ca. 40 % (an Verkehrsstationen) und ca. 80 % (an Hintergrundstationen).
- An Verkehrsstationen liefert der Kfz-Verkehr den höchsten Beitrag zur lokalen NO<sub>x</sub>-Belastung (im Mittel fast 50 %), an Verdachtsstrecken<sup>12</sup> den zweithöchsten nach dem sonstigen urbanen Hintergrund. Verkehrsstationen und Verdachtsstrecken sind hinsichtlich der Beiträge der einzelnen Quellengruppen erwartungsgemäß sehr ähnlich. Bei den Verdachtsstrecken ist der Beitrag des lokalen Straßenverkehrs etwas geringer und die Beiträge der anderen Quellengruppen sind entsprechend etwas höher als bei den Verkehrsstationen.
- An Industriestationen liefert die Industrie nach dem Hintergrund mit knapp 20 % den zweithöchsten Beitrag zur lokalen NO<sub>x</sub>-Belastung. Fast genauso hoch ist hier im Mittel der Beitrag des sonstigen Verkehrs. Den größten Einzelbeitrag liefert davon der Schiffsverkehr.
- Der Hausbrand trägt im Jahresmittel an den Messstationen weniger als 5 % zur lokalen NO<sub>x</sub>-Belastung bei. Daraus folgt jedoch nicht, dass Hausbrandemissionen für die lokale Luftqualität unproblematisch sind. Es zeigt nur, dass bei der Wahl der Standorte für die Messstationen andere Quellen im Fokus standen.

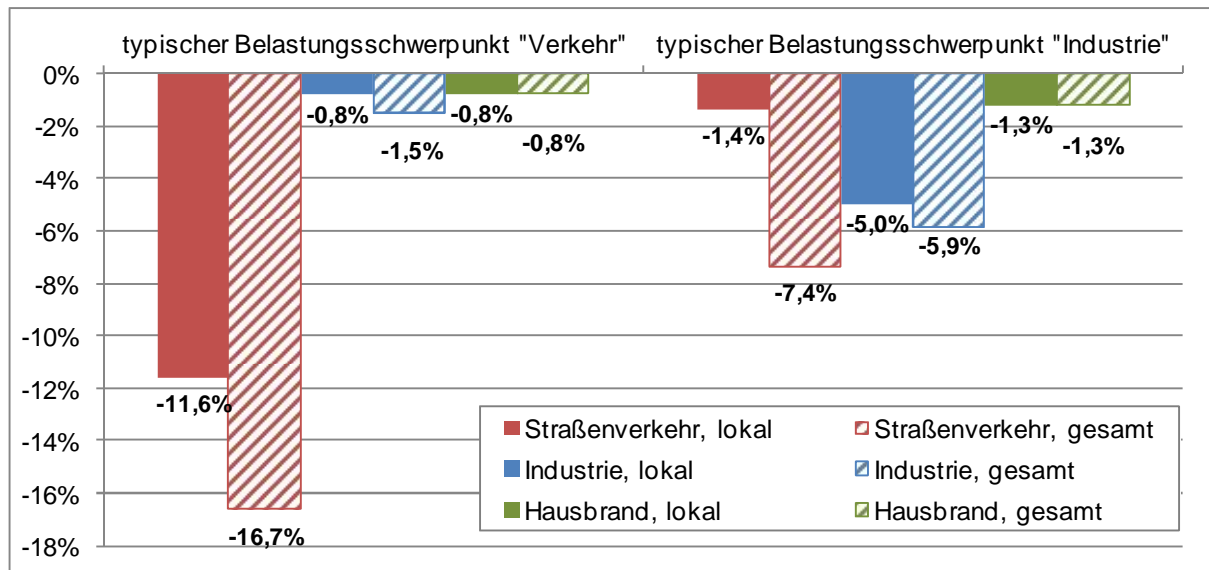
Analog zur Vorgehensweise für den regionalen Hintergrund kann unter Annahme eines linearen Zusammenhangs zwischen NO<sub>x</sub>-Emissionen und dem jeweiligen Anteil an den NO<sub>x</sub>-Konzentrationen am Belastungsschwerpunkt aus Bild 3.33 grob abgeschätzt werden, wie sich Emissionsminderungen auf die NO<sub>x</sub>-Konzentrationen auswirken.

In Bild 3.34 ist dargestellt, wie stark unter diesen Annahmen die NO<sub>x</sub>-Konzentration bei einer hypothetischen Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Quellengruppen Straßenverkehr, Industrie und Hausbrand um jeweils 25 % an einem typischen Belastungsschwerpunkt „Verkehr“ sowie an einem typischen Belastungsschwerpunkt „Industrie“ reduziert wird.

---

<sup>12</sup> Bei den „Verdachtsstrecken“ handelt es sich nicht direkt um Verkehrsstationen, sondern um Strecken, an denen aufgrund von Modellrechnungen der Verdacht auf Grenzwertüberschreitung bestand, und an denen deshalb Messungen durchgeführt wurden. I.d.R. handelt es sich dabei um verkehrsbeeinflusste Standorte.





**Bild 3.34:** Grobabschätzung: Reduktion der NO<sub>x</sub>-Konzentration an einem typischen Belastungsschwerpunkt „Verkehr“ und einem typischen Belastungsschwerpunkt „Industrie“ gemäß Bild 3.33 bei einer hypothetischen Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Quellengruppen Straßenverkehr, Industrie und Hausbrand; gefüllte Balken: Reduktion um jeweils 25 % nur am Belastungsschwerpunkt, schraffierte Balken: Reduktion um jeweils 25 % zusätzlich im urbanen Hintergrund

Die ausgefüllten Balken zeigen dabei die Reduktionen, die sich bei Minderungen der jeweiligen Quellengruppen um 25 % nur am Belastungsschwerpunkt ergeben. Die schraffierten Balken zeigen die Reduktionen, die sich bei entsprechenden Minderungen sowohl am Belastungsschwerpunkt als auch im urbanen Hintergrund ergeben. Für den urbanen Hintergrund wurden dabei die entsprechenden Minderungen nach Bild 3.32 im Rhein/Ruhrgebiet angesetzt. Dabei wurde angenommen, dass der regionale Hintergrund im dicht besiedelten Rhein/Ruhrgebiet einem urbanen Hintergrund entspricht, der auch für die anderen Teile von NRW als repräsentativ angesehen werden kann.

Wie schon im regionalen Hintergrund (siehe Bild 3.32) wirken sich Änderungen bei den Verkehrsemissionen am stärksten auf die NO<sub>x</sub>-Konzentrationen an Belastungsschwerpunkten aus. Bei einer hypothetischen Minderung der Emissionen des Straßenverkehrs um 25 % sowohl am Belastungsschwerpunkt als auch im urbanen Hintergrund ergibt sich für einen typischen Belastungsschwerpunkt „Verkehr“ eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Konzentrationen von knapp 17 %. Werden nur die Emissionen am Belastungsschwerpunkt selbst hypothetisch um 25 % reduziert, liegt die Reduktion bei knapp 12 %.

Für einen typischen Belastungsschwerpunkt „Industrie“ wirken sich die angesetzten hypothetischen Reduktionen der lokalen Industrie-Emissionen (NO<sub>x</sub>) stärker aus (-5 % NO<sub>x</sub>-Belastung) als die hypothetischen Reduktionen der lokalen Emissionen des Straßenverkehrs (< -2 %). Bei gleichzeitiger Reduktion im urbanen Hintergrund führt die hypothetische

Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen beider Quellengruppen zu Reduktionen von ca. 7,4 % (Industrie) bzw. 5,9 % (Verkehr).

In Bild 3.36 sind die Beiträge der einzelnen Quellengruppen an den Verkehrsmessstationen dargestellt. Es ist zu erkennen, dass im dicht besiedelten Rhein/Ruhrgebiet der Beitrag des urbanen Hintergrunds höher ist als im Westen bzw. Osten von NRW. Die lokalen Emissionen tragen dort weniger stark zur Gesamtbelastung bei. Daher ist es dort schwieriger, durch lokale Einzelmaßnahmen die Gesamtbelastung zu reduzieren.

### **3.2.4.3 Bestimmung der zur Einhaltung des Grenzwertes erforderlichen Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW am Beispiel der Gladbecker Straße in Essen**

An der Gladbecker Straße in Essen befindet sich eine Luftqualitätsmessstation (verkehrsbeeinflusst), an der es in den letzten Jahren zu Überschreitungen des Luftqualitätsgrenzwertes für NO<sub>2</sub> gekommen ist, im Jahr 2012 wurde ein NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert von 47 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Die Gladbecker Straße ist in vielerlei Hinsicht typisch für Belastungsschwerpunkte in NRW, daher wird an diesem Beispiel gezeigt, wie hoch die Reduktionen der NO<sub>x</sub>-Emissionen sein müssen, damit der Grenzwert für den Jahresmittelwert von 40 µg/m<sup>3</sup> für NO<sub>2</sub> eingehalten wird.

Die Anteile an der Stickstoffoxid-Gesamtbelastung in der Gladbecker Straße wurden dem Luftreinhalteplan Ruhrgebiet entnommen /LANUV 2011/ und sind in Bild 3.35 ausgewiesen. Diese Anteile beziehen sich genauso wie die Betrachtungen der Belastungsschwerpunkte in Abschnitt 3.2.4.2 auf NO<sub>x</sub>. Die Beiträge zum regionalen Hintergrund für NO<sub>2</sub> nach Bild 3.22 wurden daher nach /ROMBERG 1996/ in NO<sub>x</sub> umgerechnet. Dies ist eine Näherungsformel zur Parametrisierung der nicht-linearen Ozonchemie an hoch belasteten Standorten, um den Anteil von NO<sub>2</sub> am NO<sub>x</sub> abzuschätzen. Dem NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert von 47 µg/m<sup>3</sup> an der Gladbecker Straße entspricht nach /ROMBERG 1996/ ein NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwert von 107 µg/m<sup>3</sup>.

Dann wurden die zur Einhaltung des Grenzwertes erforderlichen Reduktionen bestimmt.

Als Ergebnis ergibt sich, dass die NO<sub>x</sub>-Emissionen aller Quellengruppen (sowohl lokal als auch im urbanen und regionalen Hintergrund) zur Einhaltung des Grenzwertes um 24 % reduziert werden müssen. Zum Vergleich: Wenn nur die Emissionen des lokalen Kfz-Verkehrs (größter Verursacher) betrachtet werden, müssten diese zur Einhaltung des Grenzwertes um 46 % reduziert werden, also fast doppelt so stark.

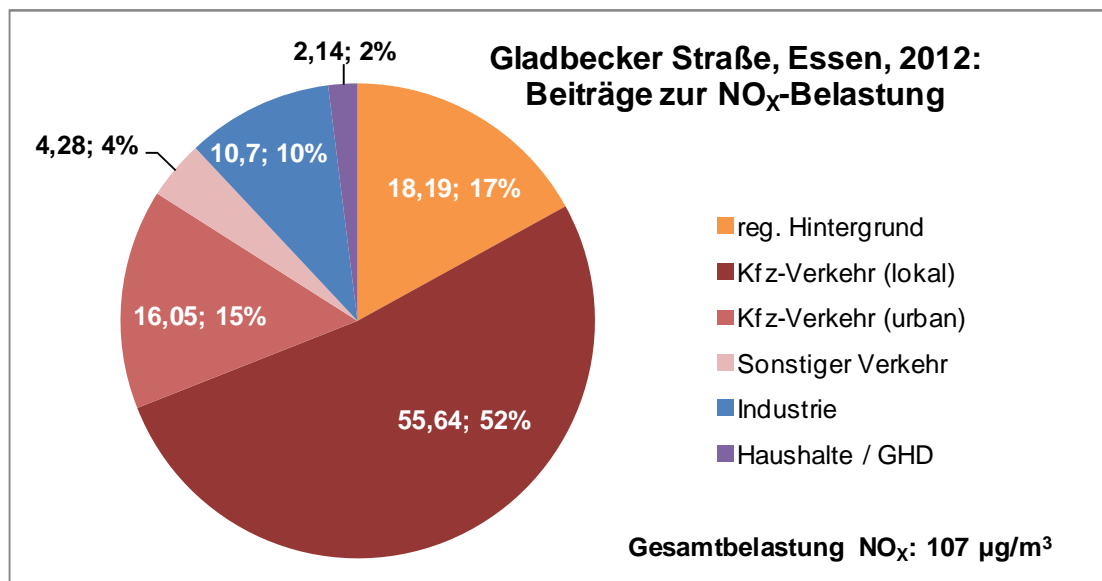


Bild 3.35: Beiträge (absolut; prozentual) der verschiedenen Quellengruppen sowie des regionalen Hintergrunds zur NO<sub>x</sub>-Belastung an der Gladbecker Straße (Essen) 2012; Datenquellen: EEA Airbase, /LANUV 2011/

Die hypothetisch betrachtete Minderung von 25 % (vergl. Abschnitt 3.2.4.2) entspricht an der hier beispielhaft betrachteten Gladbecker Straße in Essen also der Reduktion, die zur Einhaltung des Grenzwertes erforderlich ist, wenn alle Quellengruppen in NRW gleichermaßen gemindert werden.

#### 3.2.4.4 Kurzfazit zu Auswirkungen von Emissionsänderungen auf die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in NRW

In einem ersten Schritt wurden für alle Sektoren jeweils hypothetische Emissionsminderungen von 25 % betrachtet. Diese hypothetischen Reduktionen wirken sich wie folgt auf die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im regionalen Hintergrund aus:

- **Straßenverkehr:** Reduktionen zwischen 7 % (NRW West) und 10 % (Rhein/Ruhr),
- **Industrie:** Reduktionen zwischen 0,9 % (NRW West) und 1,4 % (Rhein/Ruhr),
- **Schiffsverkehr:** Reduktionen zwischen 0,6 % (NRW Ost) und 2,8 % (Rhein/Ruhr),
- **Hausbrand:** Reduktionen im regionalen Hintergrund nicht nachweisbar.

Zusätzlich wurden auf Basis von Verursacheranalysen in den Luftreinhalteplänen in NRW analoge Betrachtungen jeweils für einen typischen Belastungsschwerpunkt „Verkehr“ und „Industrie“ durchgeführt. Dabei wurden, entsprechend dem Vorgehen in den Verursacheranalysen, Beiträge zur lokalen NO<sub>x</sub>-Konzentration betrachtet.

Werden die NO<sub>x</sub>-Emissionen des lokalen Straßenverkehrs hypothetisch um 25 % reduziert, ergibt sich für die NO<sub>x</sub>-Konzentration an einer typischen Verkehrsstation eine Reduktion um

knapp 12 %. Werden zusätzlich die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs im Hintergrund hypothetisch um 25 % reduziert, ergibt sich eine Reduktion um knapp 17 %.

Für hypothetische Minderungen der Industrie-Emissionen um 25 % ergibt sich an einer typischen Industriestation eine Reduktion um 5 % (hypothetische Minderung lokal) bzw. 6 % (hypothetische Minderung zusätzlich im Beitrag zum Hintergrund).

Am Beispiel der Gladbecker Straße in Essen wurde bestimmt, wie stark die Emissionen aller Sektoren reduziert werden müssen, damit der Luftqualitätsgrenzwert für NO<sub>2</sub> eingehalten werden kann. Die erforderliche Reduktion entspricht hier fast der hypothetisch angesetzten Reduktion von 25 %.

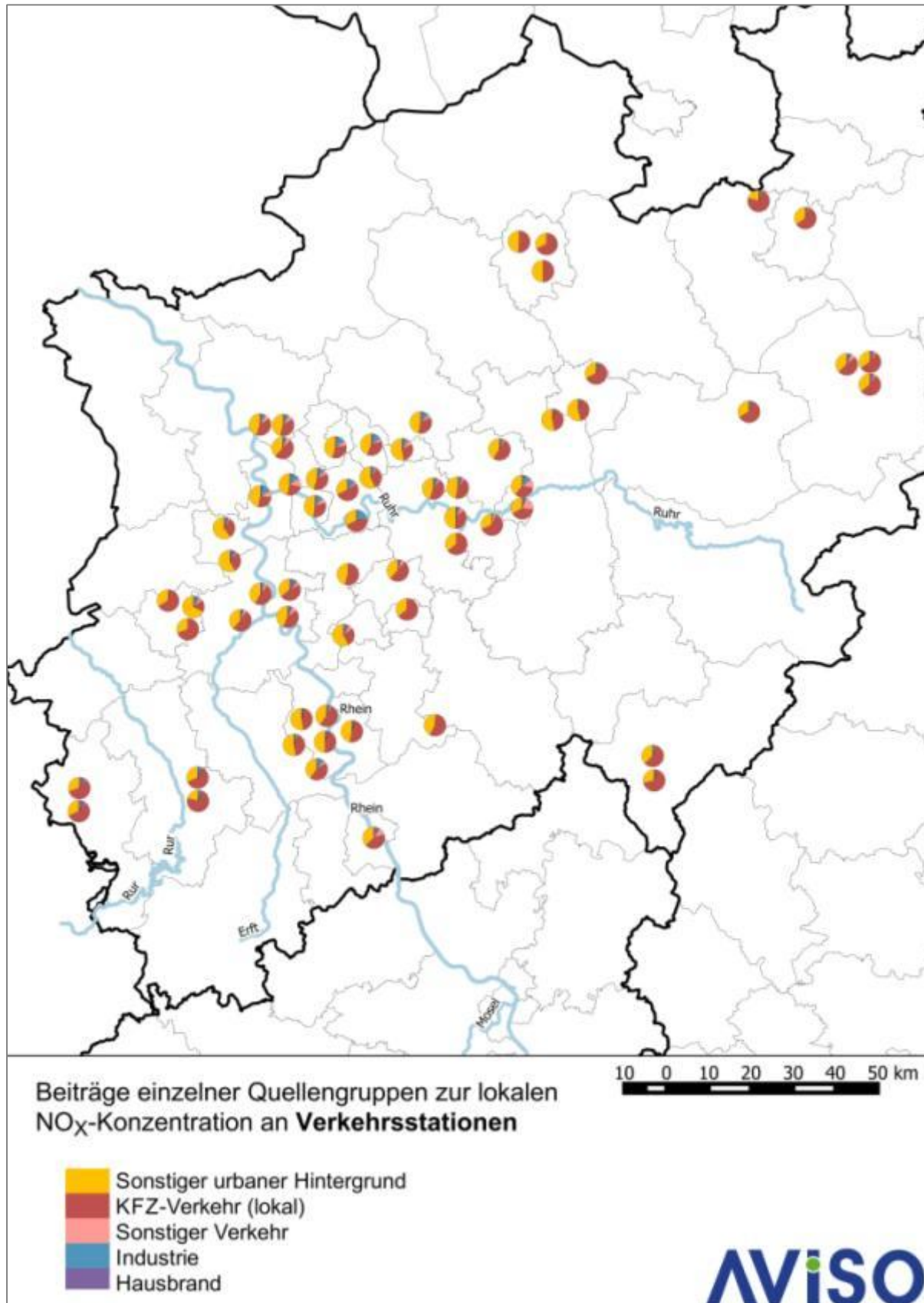


Bild 3.36: Beiträge einzelner Quellengruppen zur lokalen NO<sub>x</sub>-Konzentration an Verkehrsstationen

### 3.3 Zusammenfassung

Im Folgenden finden sich nochmals in zusammengefasster Form zunächst die Ergebnisse der Situationsbeschreibung bezüglich der NO<sub>x</sub>-Emissionen und der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen für NRW, auch in Bezug auf die benachbarten Länder.

Daran anschließend werden die Fragen, die am Anfang des Kapitels gestellt worden sind, nochmals aufgeführt und die aufgrund der Datenanalysen gefundenen Befunde dazu kurz zusammengefasst.

#### Situationsbeschreibung

Es wurden die Daten zu den **NO<sub>x</sub>-Emissionen** in NRW und zum Vergleich für die benachbarten Länder und Europa analysiert. Die Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Gesamtemissionen NO<sub>x</sub> betragen im Jahr 2012/2013 in NRW 308 kt.
- Verkehr und Industrie sind die dominierenden NO<sub>x</sub>-Emissionsquellen in NRW, ihr Beitrag an den NO<sub>x</sub>-Gesamtemissionen liegt bei 53 % für die Energiewirtschaft/Industrie bzw. 37 % für den Verkehr.
- Die NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW sind absolut gesehen deutlich höher als in den benachbarten Bundesländern. Dies liegt an der hohen Einwohnerzahl sowie an einem hohen Beitrag der Industrie, insbesondere der Energieversorgung.
- Die auf die Einwohner normierten NRW-Emissionen zeigen im Vergleich zu den benachbarten Bundesländern deutlich den Industrieschwerpunkt. Die pro Kopf Verkehrsemissionen hingegen sind vergleichbar mit Baden-Württemberg und liegen sogar niedriger als in Rheinland-Pfalz und Hessen.
- Im europäischen Vergleich liegt NRW hinsichtlich der Höhe der absoluten NO<sub>x</sub>-Emissionen an siebter Stelle (nach Polen und vor Griechenland), pro Kopf betrachtet im europäischen Mittelfeld.
- Die Reduktionen der Emissionen im Zeitraum zwischen 2002 und 2012 in NRW liegen bei 32 % und damit ebenfalls im europäischen Mittelfeld. Im Vergleich mit den Nachbarstaaten sind sie etwas höher als in Deutschland und in Belgien und etwas geringer als in den Niederlanden und in Frankreich.

Des Weiteren kann aus der Auswertung der Daten zur aktuellen Situation und der zeitlichen Entwicklung der **NO<sub>2</sub>-Konzentrationen** in NRW und den benachbarten Ländern folgendes Fazit gezogen werden:

- Die Verkehrsstationen sind in NRW am höchsten belastet, bei allen anderen Stationstypen (Industrie, Hintergrund) wird der Grenzwert für den Jahresmittelwert von NO<sub>2</sub> eingehalten.
- Es sind seit 2009 für alle Stationstypen Abnahmen der NO<sub>2</sub>-Belastung zu erkennen. Diese sind für die Verkehrsstationen am stärksten. Trotzdem überschreitet auch im Jahr 2012 selbst der Mittelwert der Verkehrsstationen den Grenzwert für NO<sub>2</sub>.

deutlich. Die mittlere NO<sub>2</sub>-Konzentration aller Verkehrsmessstationen in NRW liegt 2012 bei 46 µg/m<sup>3</sup>.

- Die mittleren NO<sub>2</sub>-Jahreskonzentrationen der Verkehrsmessstationen in den betrachteten benachbarten Regionen liegen bis auf Bayern / Hessen / Thüringen unter dem NO<sub>2</sub>-Grenzwert von 40 µg/m<sup>3</sup>.
- In 2013 wird noch an 75 % der Verkehrsmessstationen in NRW der NO<sub>2</sub>-Grenzwert überschritten.
- Bei Fortschreibung des bisherigen Trends der Abnahme der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in NRW würde bei vielen Verkehrsmessstationen auch in 10 Jahren der NO<sub>2</sub>-Grenzwert nicht eingehalten.
- Satellitendaten liefern ein anschauliches Bild zum Zusammenwirken von NO<sub>x</sub>-Emissionen und ihrem Transport über Europa. Insbesondere über der Nordsee sind deutliche Anteile an Ferntransport zu erkennen. Erhöhte NO<sub>2</sub>-Konzentrationen zeigen sich vor allem über Deutschland, den Niederlanden, Belgien, Dänemark, England und Norditalien.

### Übergeordnete Fragestellungen

*Wie hoch sind die Beiträge der einzelnen Quellengruppen zur NO<sub>2</sub>-Konzentration (regionaler Hintergrund) in NRW?*

- Straßenverkehr: zwischen 28 % bzw. 4,8 µg/m<sup>3</sup> (NRW West) und 38 % bzw. 9,5 µg/m<sup>3</sup> (Rhein/Ruhr)
- Schiffsverkehr: zwischen 3 % bzw. 0,3 µg/m<sup>3</sup> (NRW Ost) und 11 % bzw. 2,8 µg/m<sup>3</sup> (Rhein/Ruhr)
- Sonstiger Verkehr: zwischen 11 % bzw. 1,9 µg/m<sup>3</sup> (NRW West) und 17 % bzw. 4,3 µg/m<sup>3</sup> (Rhein/Ruhr)
- Industrie: zwischen 4 % bzw. 0,6 µg/m<sup>3</sup> (NRW West) und 6 % bzw. 1,4 µg/m<sup>3</sup> (Rhein/Ruhr)
- Haushalte/GHD: < 1 %

*Wie hoch ist der Beitrag von Emissionen außerhalb von NRW zu den NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in NRW (Import) und der Beitrag von Emissionen innerhalb von NRW zu den NO<sub>2</sub>-Konzentrationen außerhalb von NRW (Export)?*

- Für den Import und Export von Stickstoffoxiden sind die Emissionen der Industrie relevanter als die des Verkehrs, da diese in größeren Höhen freigesetzt werden und daher weiter transportiert werden.
- Der Beitrag des Imports zur NO<sub>2</sub>-Hintergrundkonzentration in NRW liegt zwischen 50 % (im Westen von NRW) und 28 % (Rhein/Ruhr), dies entspricht einer Belastung zwischen 4 und 10 µg/m<sup>3</sup>.
- Der Import von Stickstoffoxiden spielt in NRW eine wichtigere Rolle als in BW.

- Aus den Niederlanden und Belgien importiert NRW jeweils 2 bis 4 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub>. Diese Beiträge beziehen sich auf den Nordwesten (Niederlande) bzw. den Südwesten (Belgien) von NRW und überlagern sich fast nicht. NRW importiert zusätzliches NO<sub>2</sub> aus westlicher Richtung, wahrscheinlich aus Großbritannien und aus Schiffsemissionen auf der Nordsee.
- Der Export von Stickstoffoxiden aus Deutschland nach Polen und Tschechien trägt dort bis zu 3 µg/m<sup>3</sup> zur regionalen Hintergrundkonzentration von NO<sub>2</sub> bei.
- Der Beitrag Deutschlands zur regionalen Hintergrundkonzentration von NO<sub>2</sub> in Belgien und den Niederlanden beträgt jeweils bis zu 2 µg/m<sup>3</sup>.
- NRW trägt in den umgebenden Gebieten weiträumig ca. 10 % zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung bei.

*Wie haben sich die NO<sub>x</sub>-Emissionen und die NO<sub>2</sub>-Immissionen in den letzten Jahren entwickelt und warum sinken die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen nicht in gleichem Maße wie die NO<sub>x</sub>-Emissionen?*

- Wie in NRW sinken auch in den Nachbarstaaten von NRW die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen nicht in gleichem Maße wie die NO<sub>x</sub>-Emissionen. Die Emissionen dort sind in den letzten zehn Jahren ähnlich stark gesunken wie in NRW.
- Die NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW sind zwischen 2002 und 2012 um 32 % gesunken, die NO<sub>x</sub>-Konzentrationen im regionalen Hintergrund im Mittel um 28 % und damit in ähnlicher Größenordnung. Die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im regionalen Hintergrund sind im Mittel jedoch nur um 11 % gesunken. Der Hauptgrund für die geringere Reduktion ist eine Zunahme des NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnisses. Dies kann durch eine Zunahme der Ozonkonzentrationen sowie durch eine Zunahme des NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnisses bei den Emissionen (z.B. durch den steigenden Anteil von Diesel-Fahrzeugen höherer Euronorm-Stufen an der Kfz-Flotte) erklärt werden.

*Wie wirken sich NO<sub>x</sub>-Emissionsminderungen in den einzelnen Quellengruppen auf die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in NRW aus?*

In einem ersten Schritt wurden für die Sektoren jeweils hypothetische Emissionsminderungen von 25 % betrachtet. Diese wirken sich wie folgt auf die NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im regionalen Hintergrund aus:

- **Straßenverkehr:** Reduktionen zwischen 7 % (NRW West) und 10 % (Rhein/Ruhr)
- **Industrie:** Reduktionen zwischen 0,9 % (NRW West) und 1,4 % (Rhein/Ruhr)
- **Schiffsverkehr:** Reduktionen zwischen 0,6 % (NRW Ost) und 2,8 % (Rhein/Ruhr)
- **Hausbrand:** Reduktionen im regionalen Hintergrund nicht nachweisbar



## 4 Definition Handlungsfelder, Strategien und Maßnahmen

Bei der Untersuchung der NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale für NRW wird in Anlehnung an den Klimaschutzplan NRW /Wuppertalinstitut 2014/ zwischen Handlungsfeldern, Strategien und Maßnahmen unterschieden:

- **Handlungsfelder** stellen die wesentlichen Bereiche dar, in denen NO<sub>x</sub>-Minderungen erzielt werden können (Beispiel Straßenverkehr: „Verkehrsverlagerung und Vermeidung“).
- **Strategien** beschreiben Handlungsmöglichkeiten innerhalb der Handlungsfelder (Beispiel Straßenverkehr: „Veränderung des Modal Split im Personenverkehr“).
- **Maßnahmen** zeigen konkrete Ansatzpunkte zur Umsetzung der Strategien auf (Beispiel Straßenverkehr: Förderung von Fahrrad-Verleihsystemen).

Die weiterführenden Betrachtungen zur Analyse von entsprechenden Handlungsfeldern, Strategien und Maßnahmen werden in den folgenden Kapiteln getrennt für die Sektoren Verkehr, Energie/Industrie und Kleinf Feuerungsanlagen durchgeführt.

Wie Bild 3.1 zeigt, werden ca. 26 % der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW vom Straßenverkehr verursacht, der Sektor Energie/Industrie trägt mit ca. 53 % bei.

Ein Schwerpunkt der Betrachtungen in Bezug auf NO<sub>x</sub>-Minderungen liegt daher aufgrund seiner dominanten Bedeutung beim Straßenverkehr. Darüber hinaus spielt auch der Teilsektor Binnenschiffsverkehr im Vergleich zu den weiteren Teilsektoren im Verkehrsbereich eine wichtige Rolle. Die Analyse zu den NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzialen dieser beiden Sektoren findet sich in Kap. 5.

Die zum Bereich „Sonstiger Verkehr“ zusammengefassten Quellengruppen aus unterschiedlichen Aktivitäten haben zusammen einen Anteil von 4 %. Da jede einzelne Quelle (Flugverkehr, Schienenverkehr, Offroad-Verkehr wie z.B. Land- und Forstwirtschaft, etc.) nur sehr gering beiträgt, wurden dazu keine detaillierten Analysen zu NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzialen durchgeführt.

Dagegen stellt der Sektor Energie/Industrie aufgrund der hohen NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW einen weiteren sehr bedeutenden Bereich zur Analyse von NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzialen dar (vgl. Kap. 6). Insbesondere der Energiesektor hat in NRW einen vergleichsweise hohen Anteil an den NO<sub>x</sub>-Emissionen.

Der Anteil der NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen liegt in NRW bei 6 %. Da diese aber gerade im innerörtlichen Gebieten freigesetzt werden, können diese dort eine größere Relevanz erhalten. Daher wurde auch für diesen Sektor eine Analyse von NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzialen durchgeführt (vgl. Kap. 7).

In den folgenden Kapiteln werden für die folgenden Handlungsfelder geeignete Strategien und Maßnahmen zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW analysiert und bewertet:

- Quellengruppe Verkehr:
  - Verkehr Handlungsfeld 1: Fahrzeuge, Antriebe, Kraftstoffe und Flottenmodernisierung
  - Verkehr Handlungsfeld 2: Verkehrsverlagerung, Verkehrsvermeidung
  - Verkehr Handlungsfeld 3: Verkehrslenkung; Verkehrsverflüssigung
  - Verkehr Handlungsfeld 4: Binnenschiffsverkehr
- Quellengruppe Energieversorgung und Industrie
  - Energie/Industrie Handlungsfeld 1: Energiesektor
  - Energie/Industrie Handlungsfeld 2: Industrie
- Quellengruppe Kleinf Feuerungsanlagen
  - Kleinf Feuerungsanlagen Handlungsfeld 1: Anlagen
  - Kleinf Feuerungsanlagen Handlungsfeld 2: Kombination Anlagen / Betreiber / Gebäude

Es werden, soweit möglich, auch quantitative Abschätzungen zu NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzialen durchgeführt. Dabei ist grundsätzlich zu beachten, dass Maßnahmen zur Minderung von Kraftstoffverbrauch bzw. Brennstoffeinsatz und CO<sub>2</sub>-Emissionen nicht unbedingt, zumindest nicht in gleichem Maße, zu einer NO<sub>x</sub>-Reduktion führen /UBA 2014a/.

Auch ist es wichtig zu beachten, dass die für die in den folgenden Kapiteln beschriebenen Strategien und Maßnahmen ermittelten NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale nicht immer additiv zu verstehen sind, da die Strategien zum Teil konkurrierend auf das gleiche Minderungspotenzial abzielen.

## 5 Potenzialanalyse Verkehr

Im folgenden Kapitel werden die Potenziale zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen im Sektor Verkehr analysiert. Dazu werden zunächst die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Verkehrs im Jahr 2012 bzw. 2013 nach dem Emissionskataster NRW, differenziert nach Subsektoren, betrachtet. Die Emissionen des Straßenverkehrs, der deutlich den größten Beitrag leistet, werden weiter nach Fahrzeugarten und Straßenklassen differenziert und als Trendprognose für die Jahre 2020 und 2025 fortgeschrieben.

Im Anschluss daran werden Handlungsfelder, Strategien und Maßnahmen zur Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen vorgestellt. Für die Jahre 2020 und 2025 wird für jede Strategie die Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen bestimmt (Maximalabschätzung), die bei Umsetzung der entsprechenden Maßnahmen erreicht werden kann. Angegeben wird jeweils die Änderung gegenüber der Trendprognose.

### 5.1 Emissionen Verkehr NRW 2012/2013

Für die Verkehrsträger Straße, Schiff, Schiene, Flug und Offroad liegen beim LANUV NRW aktuelle Emissionskataster für das Bezugsjahr 2012 bzw. 2013 vor. Insgesamt wurden jährlich vom Verkehrssektor 114 kt NO<sub>x</sub>-Emissionen freigesetzt. Die Aufteilung auf die Verkehrsträger ist in Bild 5.1 dargestellt. Der Straßenverkehr hat mit Abstand den größten Anteil (72 %) und stellt damit die wichtigste Emissionsquelle im Bereich Verkehr dar. Der Binnenschiffsverkehr ist mit einem Anteil von 17 % die zweitwichtigste Emissionsquelle. Der Schienen- und Flugverkehr tragen jeweils 2 % zu den NO<sub>x</sub>-Verkehrsemissionen bei (wobei zu beachten ist, dass für den Schienenverkehr hier nur die Direktmissionen aus Dieselmotorbetrieb ausgegeben werden), der sonstige Verkehr (mobile Maschinen/Geräte) trägt 7 % bei.

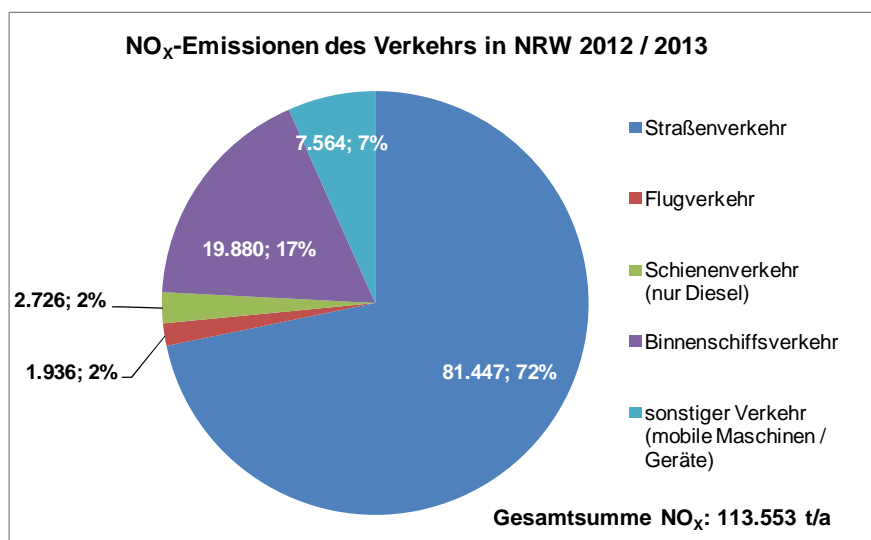


Bild 5.1: NO<sub>x</sub>-Emissionen (t/a; %) im Verkehrssektor NRW 2012/2013

Im Hinblick auf die Ermittlung von NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzialen im Verkehr wird demnach das Hauptaugenmerk auf den Straßenverkehr und die Binnenschifffahrt gelegt, da hier die größten Minderungspotenziale zu erwarten sind.

## **5.2 Emissionen des Straßenverkehrs**

Im folgenden Abschnitt werden die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs genauer betrachtet. Dazu wird zunächst kurz auf die Entstehungsmechanismen dieser Emissionen (Abschnitt 5.2.1) sowie auf vorhandene Minderungsmaßnahmen am Fahrzeug (Abschnitt 5.2.1.2) eingegangen. In Abschnitt 5.2.2 folgt eine detaillierte Analyse der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in NRW im Jahr 2013 und in der Trendprognose für die Jahre 2020 und 2025.

### **5.2.1 Grundlagen zu NO<sub>x</sub>-Abgasemissionen**

#### **5.2.1.1 Entstehung von NO<sub>x</sub>-Abgasemissionen**

In Kraftfahrzeugen werden überwiegend flüssige fossile Brennstoffe als Energieträger verwendet, die aus einem Gemisch von unterschiedlichen Kohlenwasserstoffverbindungen bestehen. Auch bei den zunehmend sowohl als Reinstoffe als auch als Beimischung verwendeten flüssigen Biokraftstoffen, wie RME (Biodiesel) oder Bio-Ethanol und aus fossilen Quellen oder aus Biomasse gewonnenem Methan, handelt es sich um Kohlenwasserstoffverbindungen.

Unter den idealen Bedingungen einer vollständigen Verbrennung würden im Abgas nur die Reaktionsprodukte Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und Wasser (H<sub>2</sub>O) sowie die Inertgase der Luft, im Wesentlichen also Stickstoff (N<sub>2</sub>), auftreten. Bei realen Verbrennungsprozessen werden jedoch zahlreiche weitere Stoffe gebildet, weil die Verbrennung nie ganz vollständig ist und Nebenreaktionen, insbesondere die Oxidation des Stickstoffs der Luft zu Stickstoffoxiden, ablaufen.

Durch den Einsatz von Abgasnachbehandlungssystemen wird die Emission zahlreicher Stoffe minimiert, gleichzeitig können aber auch in geringem Maß neue Schadstoffe wie NH<sub>3</sub> oder N<sub>2</sub>O gebildet oder das Verhältnis von NO zu NO<sub>2</sub> im Abgas in Richtung NO<sub>2</sub> verschoben werden.

Aufgrund der unterschiedlichen Kraftstoffeigenschaften und Verbrennungsbedingungen sowie der Unterschiede in der Abgasnachbehandlung unterscheiden sich die Abgasemissionen von Otto- und Dieselmotoren. Charakteristisch für Ottomotoren sind im unbehandelten Abgas hohe Emissionen von CO, Kohlenwasserstoffen, Benzol und NO<sub>x</sub>. Dieselmotoren weisen insbesondere hohe Emissionen von Partikeln und NO<sub>x</sub> auf.

### 5.2.1.2 Emissionsminderungstechnologien

Emissionsminderungstechnologien haben in den letzten Jahrzehnten zu einer kontinuierlichen Reduzierung der Abgasemissionen geführt /VDI 2003/. Der Einsatz dieser Technologien als Standard in der Fahrzeugflotte geht vor allem auf die Verschärfung rechtlicher Emissionsgrenzwerte zurück. Die Emissionsminderung kann sowohl durch innermotorische Maßnahmen erfolgen, bei denen die Bildung von Schadstoffen bereits im Motor selbst reduziert wird, als auch durch eine Abgasnachbehandlung, durch die Schadstoffe in unschädliche Stoffe umgewandelt werden. Um die aktuellen und kommenden Emissionsgrenzwerte einhalten zu können, ist in der Regel eine Kombination innermotorischer Maßnahmen mit verschiedenen Abgasnachbehandlungssystemen notwendig. Die eingesetzten Technologien zur Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen werden im Folgenden aufgelistet:

#### **Geregelter Drei-Wege-Katalysator**

An einem geregelten Drei-Wege-Katalysator werden in einer Redoxreaktion CO und HC zu CO<sub>2</sub> oxidiert und NO<sub>x</sub> dabei zu inertem N<sub>2</sub> reduziert. Um die Reduktion von NO<sub>x</sub> zu gewährleisten, darf im Abgas kein Luftüberschuss vorhanden sein. Diese Voraussetzung ist im Abgas von Ottomotoren erreichbar, nicht aber bei Dieselmotoren, die stets mit Luftüberschuss betrieben werden müssen. In Ottofahrzeugen kann mit dem Einsatz des geregelten Drei-Wege-Katalysators die Konzentration von CO, HC und NO<sub>x</sub> um mehr als 90 % reduziert werden. Seit Inkrafttreten des Abgasstandards Euro 1 im Jahr 1993 wird der Katalysator serienmäßig in Otto-Pkw eingesetzt.

#### **Diesel-Oxidationskatalysator**

In Dieselmotoren, die mit Luftüberschuss betrieben werden, können Oxidationskatalysatoren zur Reduktion von HC und CO eingesetzt werden. In diesen Katalysatoren wird das NO<sub>2</sub>/NO-Verhältnis im Abgas in Richtung NO<sub>2</sub> verschoben. Im unbehandelten Abgas liegt der Anteil von NO<sub>2</sub> am NO<sub>x</sub> bei ca. 5 %, nach dem Oxidationskatalysator deutlich höher (bis zu 40 %). Ab ca. Euro 3 sind Dieselmotoren mit Oxidationskatalysatoren ausgerüstet.

#### **NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysator**

Dieselmotoren und auch moderne sparsame Magermix-Ottomotoren arbeiten mit einem Sauerstoffüberschuss zur Erhöhung des Motorwirkungsgrades, daher können dort die herkömmlichen (Drei-Wege-)Katalysatoren, die neben HC und CO auch NO<sub>x</sub> mindern, nicht eingesetzt werden. Diese Motoren können mit NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysatoren zur NO<sub>x</sub>-Minderung ausgerüstet werden. In solchen NO<sub>x</sub>-Speicher-katalysatoren werden die Stickstoffoxide kontinuierlich auf einer Speicher-oberfläche angelagert und damit aus dem Abgasstrom

entfernt. Durch das regelmäßige kurzzeitige „Anfetten“, d.h. Einstellung von Luftmangel, laufen diese Reaktionen in der entgegengesetzten Richtung ab, wodurch NO<sub>x</sub> wieder in den Abgasstrom abgegeben und durch die in der fetten Atmosphäre ausreichend vorhandenen Komponenten (HC, CO) weiter reduziert wird.

### **Partikelfilter**

Partikelfilter dienen der Reduktion der Feinstaubemissionen, haben jedoch auch Auswirkungen auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen. Damit der Filter im Laufe der Zeit nicht verstopft, wodurch der Gegendruck unzulässig erhöht und somit der Motorenwirkungsgrad herabgesetzt würde, muss der Filter regelmäßig regeneriert werden. Dafür muss der eingelagerte Ruß abgebrannt und die anfallende Asche in bestimmten Wartungsintervallen maschinell entfernt werden.

Die Selbstzündungstemperatur des Dieselrußes wird im normalen Betrieb üblicherweise nicht erreicht. Sie kann dadurch herabgesetzt werden, dass im Abgas vorhandenes NO durch einen Oxidationskatalysator teilweise zu NO<sub>2</sub> umgewandelt wird, das wiederum den vorhandenen Ruß oxidiert /Toshev 2014/. Wird dabei NO<sub>2</sub> im Überschuss gebildet, treten im Abgas von Fahrzeugen mit Partikelfilter höhere NO<sub>2</sub>/NO-Verhältnisse auf. Diese Problematik ist beschränkt auf nachgerüstete Fahrzeuge, die im Ausgangszustand keinen Oxidationskatalysator hatten.

Bei Diesel-Pkw ab Abgasstandard Euro 3 wird durch eine Partikelfilternachrüstung in der Regel der NO<sub>2</sub>-Ausstoß um bis zu 30 % gesenkt, weil bereits ohne Partikelfilter ein Oxidationskatalysator mit hoher NO<sub>2</sub>-Bildung vorhanden ist und dieses NO<sub>2</sub> durch den Partikelfilter reduziert wird.

### **Selektive katalytische Reduktion (SCR)**

Die selektive katalytische Reduktion (SCR) dient der Reduktion von NO<sub>x</sub>. Bei der SCR reagieren Stickstoffoxide mit Ammoniak oberhalb von Abgastemperaturen von etwa 200°C an einem Katalysator zu Stickstoff und Wasser. Der Ammoniak wird in Fahrzeugen in Form einer wässrigen Harnstofflösung ((NH<sub>2</sub>)<sub>2</sub>CO) in den Katalysator dosiert. Dort zerfällt der Harnstoff unter Verbrauch von Wasser in Ammoniak und CO<sub>2</sub>. Der Verbrauch an Harnstoff-Wasser-Lösung beträgt, abhängig von der Rohemission des Motors, etwa 2 % bis 8 % der Menge des eingesetzten Dieselmotorkraftstoffs. Es muss deshalb ein entsprechendes Tankvolumen mitgeführt werden.

Der Anteil von NO<sub>2</sub> an den NO<sub>x</sub>-Emissionen liegt hinter dem SCR-System bei ca. 7 %.

Die SCR-Technologie hat das Potenzial, Stickstoffoxidemissionen um etwa 90 % zu reduzieren, allerdings muss dafür die Abgastemperatur dauerhaft hoch genug sein. Dies wird nur bei höheren Motorlasten, z. B. im Fernverkehr, erreicht. Gerade im Stadtverkehr ist die

Stickstoffoxidminderung wegen niedrigerer Abgastemperaturen oft sehr viel niedriger und liegt zwischen 0 % und 70 %.

Damit SCR-Systeme auch bei niedrigeren Abgastemperaturen wirksam sind, können bestimmte Katalysator-Materialien eingesetzt werden /Toshev 2014/. Da unterhalb von ca. 150°C der eingespritzte Harnstoff nicht mehr zu Ammoniak aufbereitet werden kann, müssen im Stadtverkehr zusätzlich motorseitige Maßnahmen getroffen werden (Verhinderung eines Auskühlens des Abgassystems im Leerlauf, „Aufheizen“ des Abgases z. B. durch Späteinspritzung oder Ansaugluftdrosselung) /Rexeis 2016/. Da ab 2017 für die Zulassung von Fahrzeugen die Einhaltung von Emissionsgrenzwerten nicht mehr nur auf dem Rollenprüfstand, sondern auch im realen Straßenverkehr nachgewiesen werden muss (siehe Abschnitt 5.2.1.4), ist mit der Einführung solcher Technologien Ende dieses Jahrzehnts zu rechnen.

Eingesetzt werden SCR-Systeme bei schweren Nutzfahrzeugen vereinzelt ab dem Abgasstandard Euro IV, ein breiterer Einsatz erfolgte mit den schärferen NO<sub>x</sub>-Grenzwerten der Abgasnorm Euro V. Bei Pkw kommt diese aufwändigere Abgasnachbehandlung ab dem Abgasstandard Euro 6 vermehrt zum Einsatz, da sonst insbesondere bei höheren Motorisierungen die NO<sub>x</sub>-Grenzwerte nicht erreicht werden können.

### **Abgasrückführung (AGR)**

Bei der Abgasrückführung handelt es sich nicht um eine Abgasnachbehandlung, sondern um ein Verfahren der innermotorischen Emissionsminderung. Dabei werden abgekühlte Motorenabgase in den Brennraum des Motors zurückgeführt. Dies hat zwei Effekte: Zum Einen sinkt dadurch die bei der Verbrennung vorhandene Menge an Sauerstoff. Zum Anderen führt die im Vergleich zur Außenluft höhere Wärmekapazität von Abgas bei gleichbleibender Wärmefreisetzung zu niedrigeren Verbrennungstemperaturen. Beides vermindert die Bildung von Stickstoffoxiden /Toshev 2014/.

Nachteil der Abgasrückführung ist die vermehrte Bildung von Partikeln, die zur Einhaltung von Partikelgrenzwerten durch einen Partikelfilter reduziert werden müssen. Bei hoher Motorlast hat die Abgasrückführung bei Dieselmotoren zudem den Nachteil eines erhöhten Kraftstoffverbrauchs.

Mit der Abgasrückführung lassen sich zwischen 20 % und 50 % der Stickstoffoxidemissionen vermeiden. Für höhere Minderungen, wie sie besonders zur Einhaltung des Abgasstandards Euro 6 erforderlich sind, kann die Abgasrückführung mit SCR-Systemen kombiniert werden. Vorteil der AGR ist die zuverlässige Funktion auch bei niedrigen Abgastemperaturen, wie sie häufig im innerstädtischen Verkehr auftreten.

### 5.2.1.3 NO- und NO<sub>2</sub>-Abgasemissionsfaktoren nach HBEFA3.2

Die Emissionsfaktorendatenbank HBEFA (Handbuch für Emissionsfaktoren) wurde zunächst im Auftrag der Umweltbehörden Deutschlands, der Schweiz und später Österreich entwickelt und 1995 erstmalig veröffentlicht. Seit Juli 2014 liegt die derzeit aktuellste Version HBEFA 3.2 /INFRAS 2014/ vor, diese enthält auch Daten zu Schweden, Norwegen und Frankreich.

Das HBEFA enthält Emissionsfaktoren (spezifische Fahrzeugemissionen als Masse pro gefahrene Strecke) für Auspuffemissionen im warmen Betrieb, und außerdem Kaltstartzuschläge und Verdampfungsemissionen.

Die Emissionsfaktoren des HBEFA3.2 basieren auf Messungen, teilweise im Labor, teilweise im realen Straßenverkehr. Sie werden mittels Berechnungen mit dem Emissionsmodell PHEM (Passenger Car and Heavy Duty Emission Model) an der TU Graz für verschiedene Verkehrssituationen (Kombinationen aus Ortslage, Straßentyp, Verkehrsqualität) erstellt. Sie gelten jeweils für einen Straßenabschnitt, auf dem Betriebszustände wie Konstantfahrt, Beschleunigung, Verzögerung und Stand in unterschiedlichen Häufigkeiten vorkommen. Sie geben damit die mittleren Emissionen wieder, die von Fahrzeugen im realen Straßenverkehr in dieser Verkehrssituation emittiert werden.

Typische Emissionsfaktoren nach HBEFA3.2 für NO- und NO<sub>2</sub> in g/(Fzg\*km) von Pkw, differenziert nach Euronormstufen, zeigt Bild 5.2 für eine typische Innerortsverkehrssituation (innerörtliche Hauptverkehrsstraße mit Tempolimit 50 km/h und dichtem Verkehr). Eine analoge Darstellung für die schweren Nutzfahrzeuge zeigt Bild 5.3. Für durchschnittliche Verkehrssituationen auf Außerortsstraßen und Autobahnen ergeben sich ähnliche Verhältnisse bezüglich der verschiedenen Euronormstufen zueinander.

Es sind in Bild 5.2 und Bild 5.3 (oben) jeweils die NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren, differenziert nach den NO<sub>2</sub>- und NO-Anteilen, dargestellt. Unter den Emissionfaktoren sind die daraus resultierenden NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnisse dargestellt. Durch die eingesetzten Abgasnachbehandlungssysteme (Oxidationskatalysator, Partikelfilter) steigen die NO<sub>2</sub>-Direktemissionen und entsprechend die NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnisse bei Diesel-Pkw ab Euro 3 deutlich an.

Otto-Motoren sind ab Euro 1 mit Drei-Wege-Katalysatoren ausgerüstet und ab Euro 3 sind die Emissionen der Otto-Pkw mit deutlich unter 100 mg/(Fzg\*km) auf einem sehr niedrigen Niveau.

Pkw-Dieselmotoren sind ab Euro 3 überwiegend mit Oxidationskatalysatoren und teilweise auch mit Partikelfiltern (DPF) ausgerüstet. Ab Euro 5 sind bei den Diesel-Pkw zur Einhaltung der Abgasgrenzwerte ein Partikelfilter und weitere Maßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung erforderlich.

Die in Bild 5.2 dargestellten Emissionsfaktoren pro Euronormstufe berücksichtigen eine aus den realen Zulassungszahlen abgeleitete Mischung der verschiedenen möglichen Abgasnachbehandlungssysteme zur NO<sub>x</sub>-Minderung. Für die Diesel-Pkw sind bis Euro 5 im realen



Verkehr kaum Reduktionen der NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren zu erkennen. Erst ab Euro 6 wird für die Diesel-Pkw eine signifikante NO<sub>x</sub>-Minderung erwartet. Erste Euro 6 Pkw sind ab 2015 im Bestand vorhanden.

Zum Zeitpunkt des Erscheinens des HBEFA 3.2 (2014) stand bereits fest, dass das Verfahren, die Einhaltung von Grenzwerten durch Abfahren eines festgelegten Fahrzyklus auf dem Rollenprüfstand zu testen, geändert werden würde. Als Alternativen wurden damals Messungen im realen Straßenverkehr oder das Abfahren von per Zufallsgenerator erzeugten Zyklen am Prüfstand diskutiert. Inzwischen ist entschieden, dass für die Zulassung von Fahrzeugen ab 2017 die Einhaltung von Emissionsgrenzwerten auch im realen Straßenverkehr nachgewiesen werden muss (siehe Abschnitt 5.2.1.4 Real-Emissionen). Im HBEFA 3.2 werden die nach dem neuen Verfahren zugelassenen Fahrzeugschichten als Euro 6c bezeichnet. Wie Bild 5.2 zu entnehmen ist, wird bei Diesel-Pkw gegenüber Euro 6 eine Reduktion um knapp die Hälfte erwartet.

Der Anteil des NO<sub>2</sub> an den NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren liegt bei den Otto-Pkw bei allen Euronormstufen bei ca. 5 %. Bei den Diesel-Pkw liegt der der NO<sub>2</sub>-Anteil überall deutlich höher: Er steigt ab Euro 3 auf über 30 % an, erreicht bei Euro 4 mit 48 % ein Maximum und fällt bis Euro 6 auf 30 % ab.

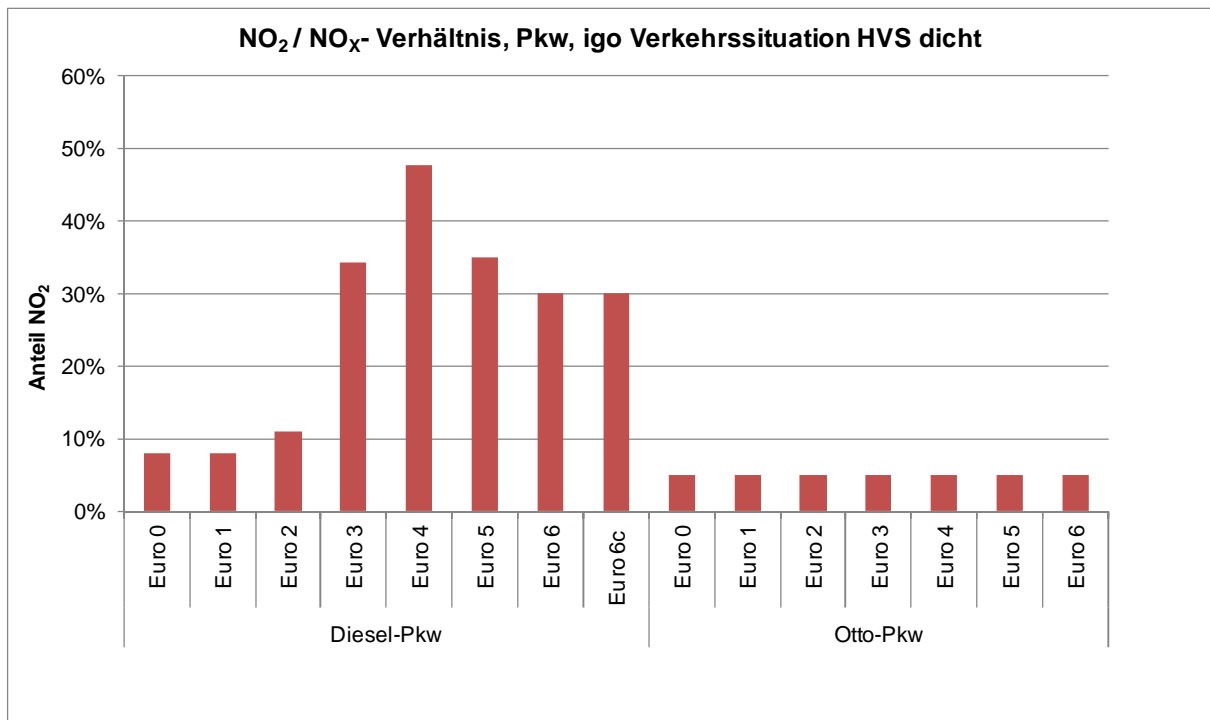
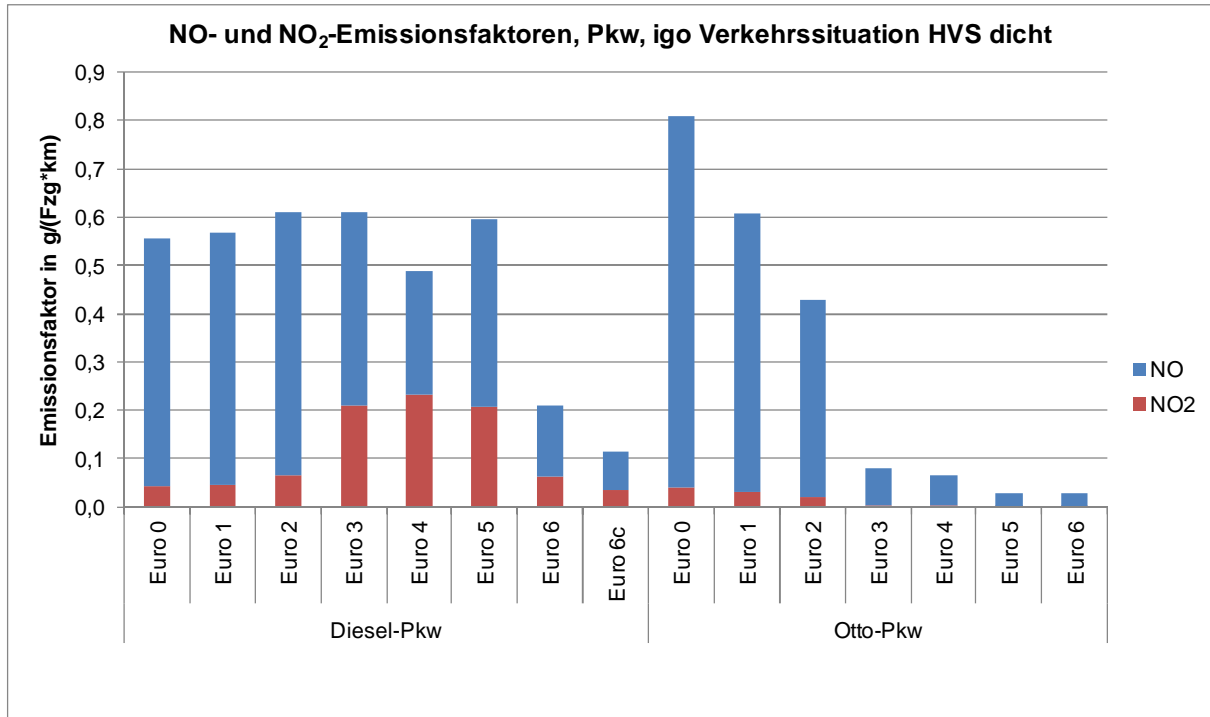


Bild 5.2: NO- und NO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für Pkw in g/(Fzg\*km), differenziert nach Euronormstufen, nach HBEFA3.2 /INFRAS 2014/ für durchschnittliches Fahrverhalten auf Innerortsstraßen (igo), Bezugsjahr 2015 (oben); daraus resultierendes NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis (unten)

Für die schweren Nutzfahrzeuge zeigt sich ein ähnliches Bild (vgl. Bild 5.3), bis Euro V haben sich die NO<sub>x</sub>-Abgasemissionen im realen Verkehr kaum reduziert. Erst durch Einführung der Euro VI-Norm (seit 2013) haben sich deutliche Reduktionen ergeben.

Im Vergleich zu den mittleren NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren der Pkw liegen die Werte für die schweren Nutzfahrzeuge bis Euro V um etwa einen Faktor 10 höher. Bei Euro VI liegen die Werte der schweren Nutzfahrzeuge nur noch geringfügig über denen der Pkw.

Bis Euro V liegt das NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis bei den Emissionen der schweren Nutzfahrzeuge zwischen 7 % und 10 % und damit deutlich unter dem Verhältnis bei den Diesel-Pkw. Ab Euro VI steigt das NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis jedoch auf 28 % an und erreicht damit fast den Wert bei den Diesel-Pkw.

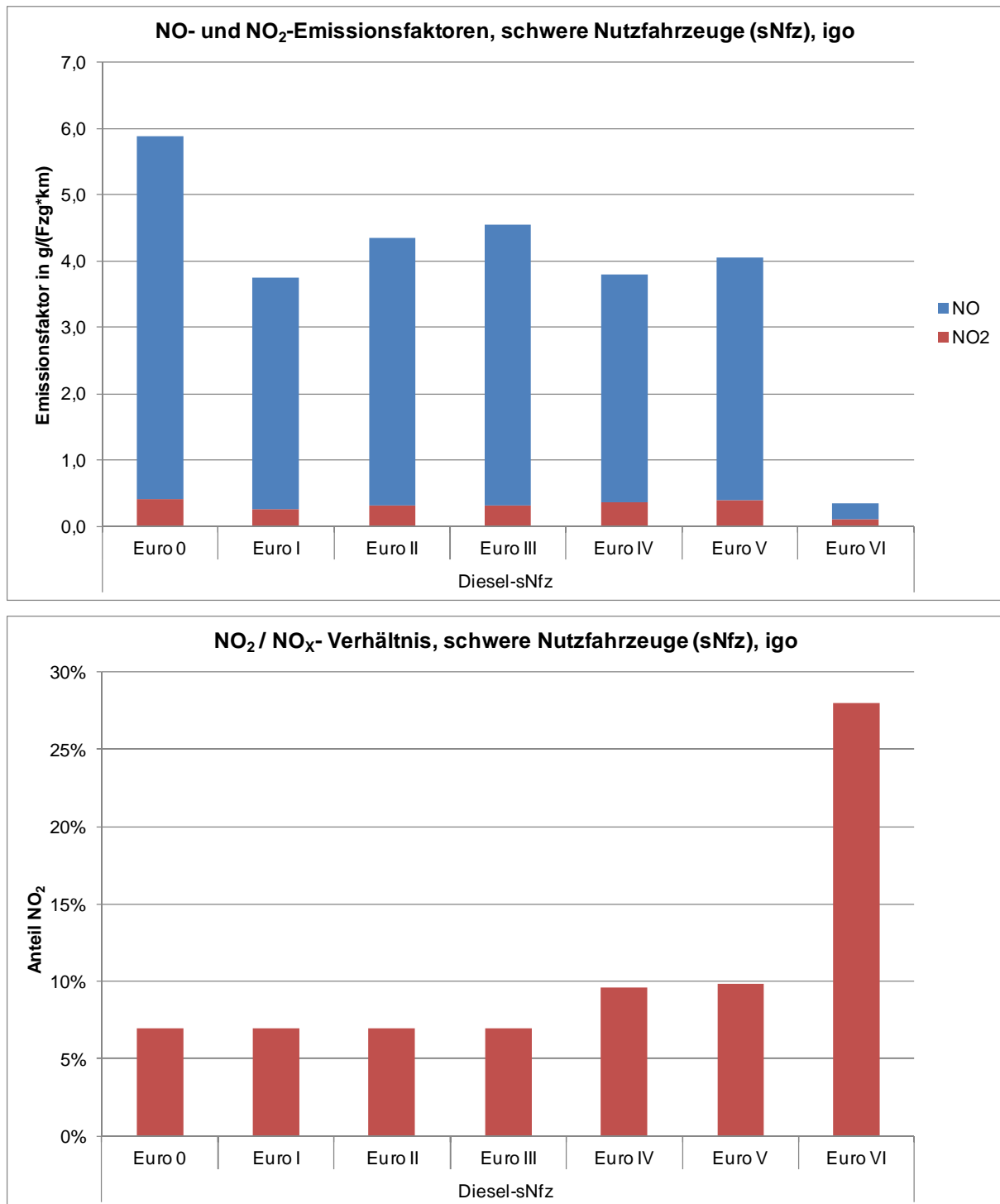


Bild 5.3: NO- und NO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für schwere Nutzfahrzeuge >3,5 t zul. GG (sNfz) in g/(Fzg\*km), differenziert nach Euronormstufen, nach HBEFA3.2 /INFRAS 2014/ für durchschnittliches Fahrverhalten auf Innerortsstraßen (igo), Bezugsjahr 2015

### 5.2.1.4 Emissionsgrenzwerte und Emissionsverhalten im realen Fahrbetrieb

Wie in Bild 5.2 zu sehen, sind die im realen Straßenverkehr freigesetzten NO<sub>x</sub>-Emissionen der Diesel-Pkw bis Euro 5 im Vergleich zu Euro 0 kaum gesunken, obwohl die neueren Grenzwertstufen jeweils mit einer Verschärfung des NO<sub>x</sub>-Abgasgrenzwertes verbunden waren. Dies zeigt auch die Gegenüberstellung der Emissionsfaktoren für die Verkehrssituationen „fließend“, „dicht“, „gesättigt“ und „stop&go“ auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen mit einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 50 km/h zu den Abgasgrenzwerten in Bild 5.4.

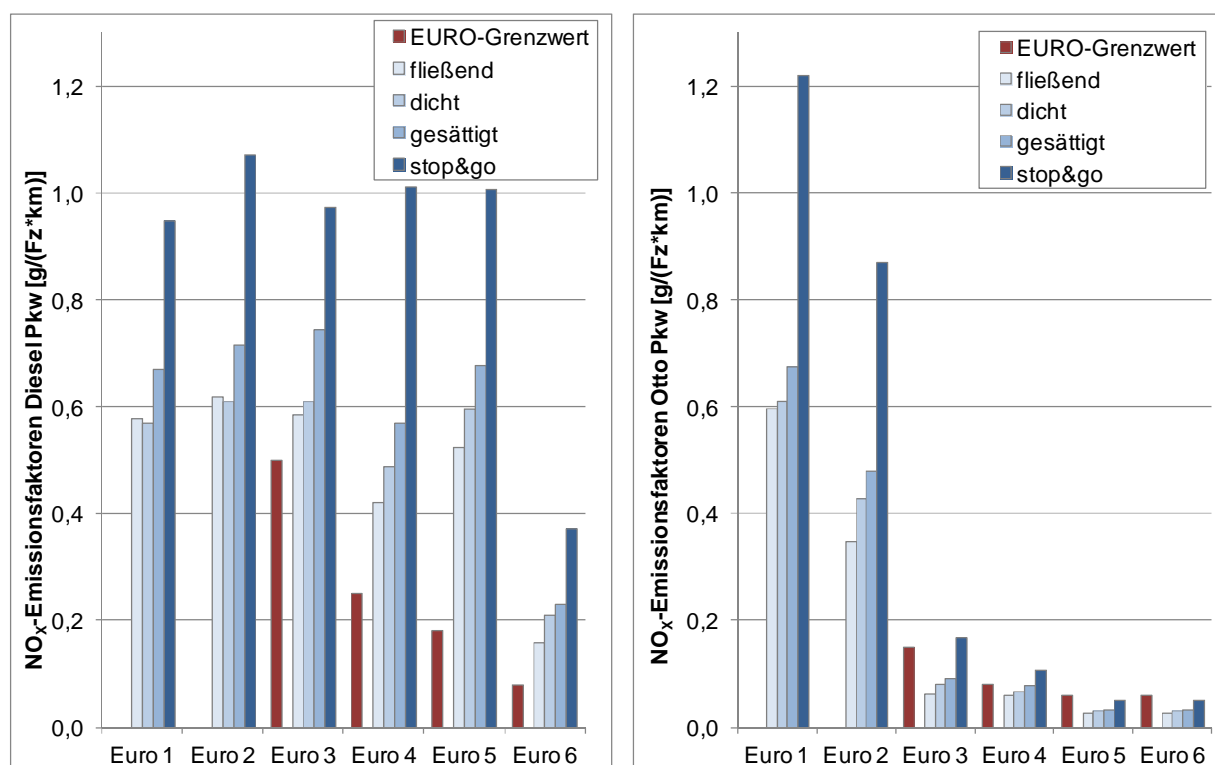


Bild 5.4: Gegenüberstellung der Abgasgrenzwerte nach Euronormstufen zu den NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren für Pkw nach HBEFA3.2 /INFRAS 2014/ für verschiedene Verkehrssituationen auf innerörtlichen Hauptverkehrsstraßen (Bezugsjahr: 2015)

Die Emissionsfaktoren, die in HBEFA3.2 enthalten sind, sind durch Messungen an Fahrzeugen für typische Fahrzyklen (sogenannte Verkehrssituationen), die das reale Fahrverhalten im Straßenverkehr abbilden, abgeleitet worden.

Während die NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren der Otto-Pkw auch im realen Verkehr analog zu den Grenzwerten mit zunehmender Euronorm-Stufe gesunken sind, zeigt sich für die Diesel-Pkw, dass trotz sinkender Abgasgrenzwerte die NO<sub>x</sub>-Emissionen im realen Verkehr nicht reduziert wurden. Für Euro 5 Diesel-Pkw liegen die realen Emissionen demnach um ca. einen Faktor 4 über dem entsprechenden Abgasgrenzwert. Die Ursache für diese Diskrepanz liegt darin

begründet, dass für die Typprüfung ein bestimmter Prüfzyklus (NEDC) am Rollenprüfstand zu durchfahren ist, der die realen Emissionsverhältnisse nicht ausreichend repräsentiert.

Die Emissionsfaktoren in HBEFA3.2 geben das im realen Straßenverkehr vorhandene Emissionsniveau wieder, das deutlich über den entsprechenden NO<sub>x</sub>-Grenzwerten liegt. Diese Emissionsfaktoren werden für die Berechnung der Emissionen des Straßenverkehrs angewendet (vgl. Kap. 5.2.2).

Im HBEFA3.2 werden auch für Euro 6 Emissionsfaktoren angegeben, die aber aufgrund noch fehlender Fahrzeuge zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der Version 3.2 (2014) nur auf wenigen Messungen von Euro 6 Pkw beruhen. Daher wurde damals unter Berücksichtigung der Erfahrungen mit Euro 5 und den bereits vorliegenden Messdaten für Euro 6 eine Abschätzung für die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Euro 6 Pkw im realen Verkehr vorgenommen. Dabei wurde auch berücksichtigt, dass für die Euro 6 Pkw ab 2017 eine Veränderung des Typprüfungsverfahrens festgelegt wird. Das neue Verfahren soll das reale Emissionsverhalten der Fahrzeuge im Verkehr besser abbilden (RDE, real driving emissions).

Zur Berücksichtigung der Unwägbarkeiten unter realen Bedingungen im Vergleich zum streng reproduzierbaren Zyklus am Prüfstand werden so genannte Konformitätsfaktoren (CF) eingeführt. Diese geben an, wieviel höher die Realemissionen im Vergleich zum Grenzwert sein dürfen. Das Technische Ausschuss Motorfahrzeuge (Technical Committee on Motor Vehicles, TCMV) der EU-Kommission hat am 28.10.2015 folgenden Werten zugestimmt /TCMV 2015/:

- Schritt 1: CF=2,1 ab September 2017/2019 (Typprüfungen/alle Erstzulassungen)
- Schritt 2: CF=1,5 ab Januar 2020/2021 (Typprüfungen/alle Erstzulassungen)

Das Europaparlament hat in einer Abstimmung am 03.02.2016 auf ein Veto verzichtet, eine Annahme durch den Europarat steht zum Stand Februar 2016 noch aus.

Zur Überprüfung der Einhaltung dieser Vorgaben bei der Typprüfung werden die Emissionen mit mobilen Messgeräten während der Fahrt im realen Verkehr gemessen. Die schärferen Anforderungen bei der Typprüfung werden zu deutlich niedrigeren Emissionen führen als bei den aktuellen Euro 6-Pkw, die nach der noch gültigen bisherigen Typprüfung zugelassen wurden. Im HBEFA3.2 wurde eine entsprechende Euro 6 RDE-Emissionsstufe, für die Pkw, die ab 2017 neu zugelassen werden, schon berücksichtigt (Euro 6c).

Aktuell hat sich gezeigt, dass Fahrzeuge, d.h. vor allem die Funktionsweise der Abgasnachbehandlungsanlagen, zur Einhaltung der Grenzwerte nach dem momentan noch gültigen Typprüfungsverfahren teilweise im Hinblick auf das Prüfverfahren optimiert und sogar manipuliert wurden.

Es ist aus heutiger Sicht davon auszugehen, dass die Emissionsfaktoren in HBEFA3.2 bis Euro 5 das mittlere Emissionsverhalten der Pkw gut wiedergeben. Für Euro 6 Diesel-Pkw kann eine endgültige Aussage dazu noch nicht abgegeben werden. Aktuelle Messungen

geben Hinweise darauf, dass das Niveau für Euro 6 Diesel-Pkw in HBEFA3.2 möglicherweise zu optimistisch angesetzt wurde. Für die weitere Verschärfung (Euro 6c RDE) weist das HBEFA aus heutiger Sicht eher realistische NO<sub>x</sub>-Emissionen von Diesel-Pkw aus.

Auch nach Einschätzung von /ERMES 2015/ kann man aber weiterhin davon ausgehen, dass mit den Emissionsfaktoren aus HBEFA3.2 realistische Emissionsberechnungen durchgeführt werden können.

Für sNfz wurde mit der Einführung Euro VI (seit 2013) ein verbessertes Prüfverfahren verpflichtend, das dazu führte, dass auch die realen NO<sub>x</sub>-Emissionen bei der Grenzwertverschärfung auf Euro VI im Vergleich zu Euro V deutlich gesunken sind.

### **5.2.2 Emissionen des Straßenverkehrs in NRW im Jahr 2013 und Trendprognose**

Die Emissionen des Straßenverkehrs für 2013 und die Trendprognosen für 2015 und 2020 wurden dem Emissionskataster Straßenverkehr NRW entnommen /AVISO 2014/.

Die Prognose für das Jahr 2025 wurde analog zum Vorgehen nach /AVISO 2014/ zusätzlich (konform zu VDI Richtlinie 3782, Blatt 7) ermittelt. Die Schicht-Emissionsfaktoren 2025 sind dem Handbuch Emissionsfaktoren in der Version 3.2 (HBEFA3.2, /HBEFA 2014/) entnommen. Die Flottenzusammensetzung für 2025 wurde auf Basis der Flotte für 2020 /AVISO 2014/ entsprechend der Flottenentwicklung nach HBEFA3.2 fortgeschrieben. Analog wurden die Fahrleistungen in NRW entsprechend der Verkehrsprognose 2030 des Bundes für NRW /BMVI 2014/ bis 2025 fortgeschrieben.

Die Zusammensetzung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs für das Jahr 2013 zeigt Bild 5.5, dort sind die Emissionen, differenziert nach den Fahrzeugarten Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (INfz), schwere Nutzfahrzeuge ohne Busse (sNoB) und Busse (Bus), für die Teilbereiche Autobahnen, sonstige Außerortsstraßen und Innerortsstraßen dargestellt.

Demnach sind die Autobahnen und der Innerortsverkehr mit insgesamt 80 % die Hauptquellen für die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus dem Kfz-Verkehr. Während auf den Autobahnen der schwere Güterverkehr (sNoB, schwere Nutzfahrzeuge >3,5 t zul. GG, ohne Busse) fast die Hälfte emittiert, sind es im Innerortsbereich nur 21 %. Dagegen haben die Pkw an den NO<sub>x</sub>-Emissionen im Innerortsbereich (igo) mit 55 % den höchsten Anteil und auch die Busse tragen mit 16 % zu einem nennenswerten Anteil bei.

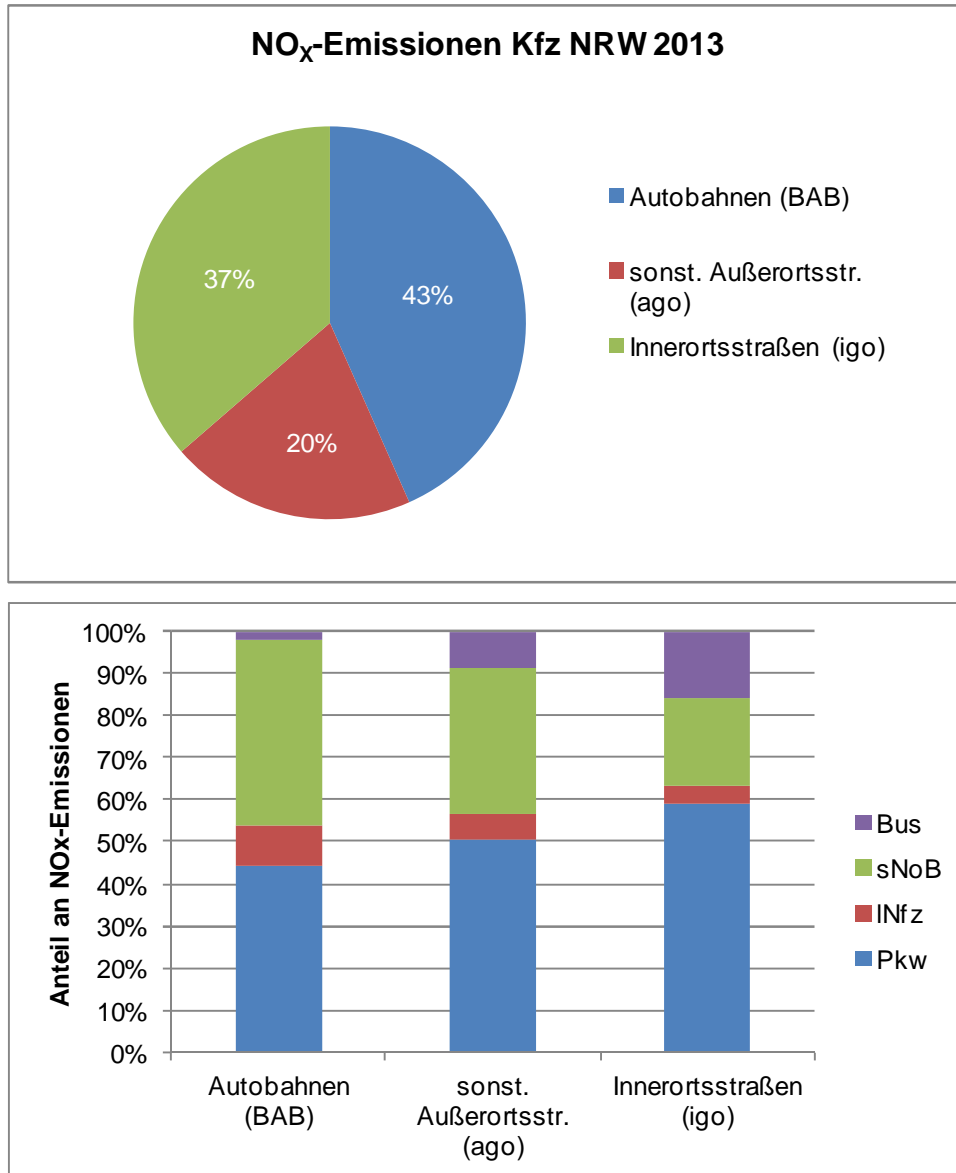


Bild 5.5: NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs NRW (Bezugsjahr 2013)

Die Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs von 2007 bis 2013 ist in Bild 5.6 und Bild 5.7 dargestellt, ergänzt um die Trendprognose 2015 bis 2025. Deutlich zeigt sich, dass die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs seit 2007 gesunken sind und auch zukünftig eine weitere deutliche Reduktion erwartet wird. Dies entspricht der Trendprognose, die die kontinuierliche Veränderung der Bestands- und Flottenzusammensetzung hin zu höheren Anteilen von Fahrzeugen, die die aktuellen strengeren Euronormstufen einhalten, berücksichtigt. Auch sind in der Trendprognose die in den letzten Jahren eingerichteten Umweltzonen, in die nur Fahrzeuge mit entsprechenden Plaketten einfahren dürfen, berücksichtigt.

Bei den schweren Nutzfahrzeugen (sNoB) zeigt sich, dass deren NO<sub>x</sub>-Emissionen kontinuierlich über die Jahre hin abnehmen. Die ersten Euro VI Fahrzeuge sind 2013 in der Flotte vorhanden, deren Anteil steigt dann stetig an und führt zu den weiteren deutlichen Emis-



sionsreduktionen bis 2025, da die spezifischen Emissionen der Euro VI Nutzfahrzeuge deutlich geringer sind als die der älteren (vgl. Bild 5.3).

Bei der Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Pkw ist auffallend, dass diese von 2010 bis 2015 nahezu stagnieren. Ursache hierfür ist die in Kap. 5.2.1.4 beschriebene Diskrepanz zwischen Absenkung von Abgasgrenzwerten und Entwicklung der Real-Emissionen für Diesel-Pkw. Erst nach 2015 nimmt der Anteil der Euro 6 Pkw im Bestand deutlich zu, daher werden für die zukünftige Entwicklung bis 2025 auch deutliche Reduktionen der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Pkw prognostiziert. Diese Reduktionen ergeben sich überwiegend aus der Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Diesel-Pkw, da die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Otto-Pkw bereits ab Euro 3 auf einem sehr niedrigen Niveau liegen (vgl. Bild 5.2 und Bild 5.4). Die Trendprognose basiert auf der erwarteten Entwicklung der Real-Emissionen.

In Bild 5.6 (unten) sind die Anteile der Fahrzeuggruppen an den NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs dargestellt (von 2007 bis 2013 und Trendprognose 2015 bis 2025). Es ist deutlich zu erkennen, dass der relative Anteil der Pkw an den NO<sub>x</sub>-Emissionen zwischen 2007 und 2013 zugenommen hat und in der Prognose bis 2025 weiter zunehmen wird, während der Anteil der sNoB abgenommen hat.

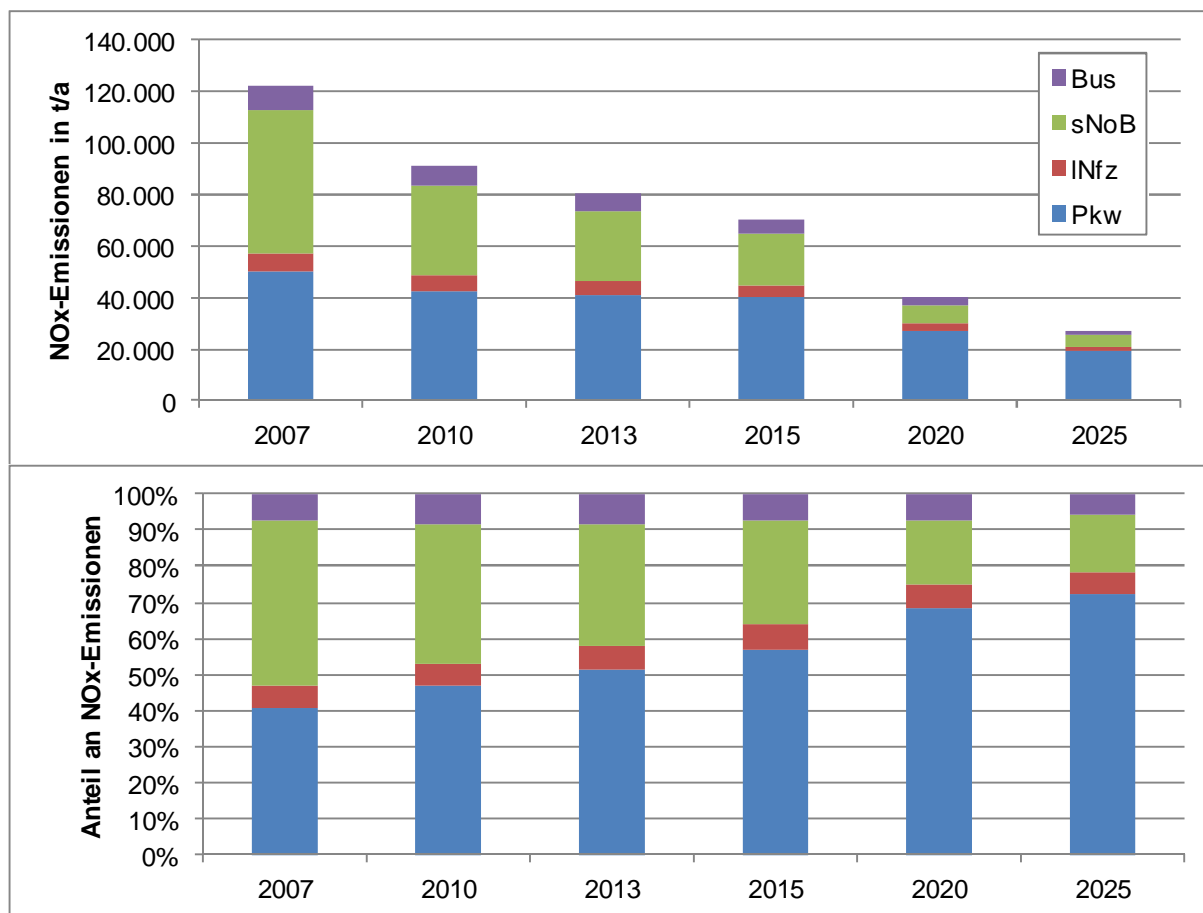


Bild 5.6: Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs NRW 2007 bis 2013 und Trendprognose 2015 bis 2025

Die Trendprognose berücksichtigt auch die erwartete Entwicklung der Verkehrsleistungen. Für die Autobahnen werden zukünftig weiterhin Zunahmen der Fahrleistungen prognostiziert, während für die innerörtlichen Bereiche, insbesondere in den Ballungsräumen und Großstädten, eher von einer Stagnation der Fahrleistungen ausgegangen wird.

In Bild 5.7 (oben) ist die Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen weiter differenziert dargestellt nach Fahrzeugarten auf Autobahnen (BAB), sonstigen Außerortsstraßen (AGO) und auf Innerortsstraßen (IGO). In Bild 5.7 (Mitte) ist die Entwicklung der Anteile der Fahrzeuggruppen auf BAB, AGO und IGO an den Emissionen dargestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass der relative Anteil der Pkw an den NO<sub>x</sub>-Emissionen überall zwischen 2007 und 2013 zugenommen hat und in der Prognose bis 2025 weiter zunehmen wird, während der Anteil der sNoB abgenommen hat.

Innerorts sind auch die Busse eine nicht zu vernachlässigende NO<sub>x</sub>-Quelle. Im Vergleich zu den restlichen schweren Nutzfahrzeugen (sNoB) steigt ihr Anteil an den Emissionen in der Trendprognose bis 2025 an.

Unten in Bild 5.7 ist die Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen in den Jahren 2010 und 2013 gegenüber dem Jahr 2007 dargestellt und ebenso die prognostizierte Minderung für die Jahre 2020 und 2025 (Trendentwicklung). Bis zum Jahr 2025 werden danach Reduktionen zwischen 55 % (Pkw auf BAB) und 93 % (sNoB auf BAB) erwartet. Die prognostizierte Reduktion der Gesamtemissionen gegenüber 2007 liegt bei 78 %.

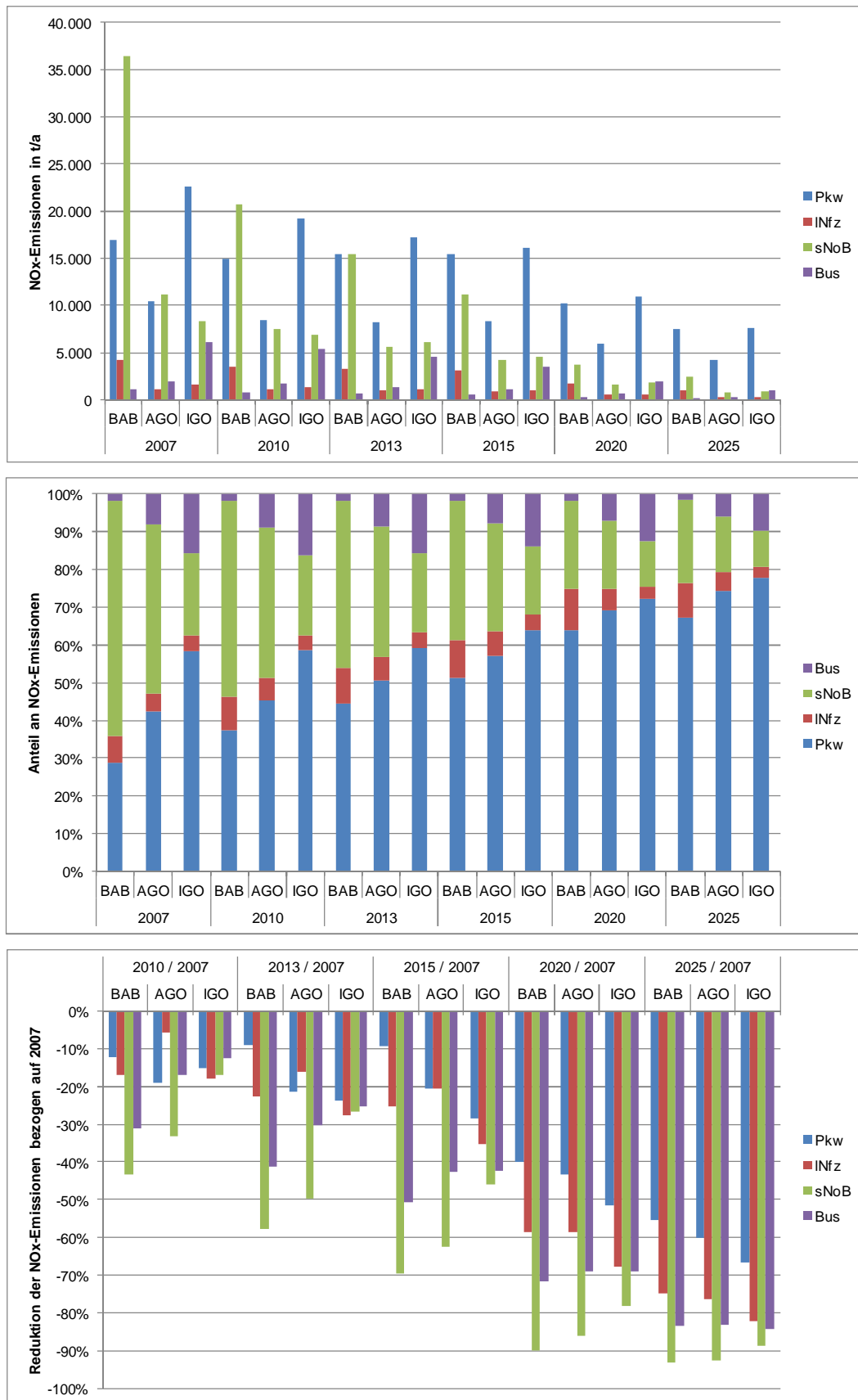


Bild 5.7: Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Kfz-Verkehrs NRW 2007 bis 2013 und Trendprognose 2015 bis 2025, differenziert nach BAB, AGO und IGO

Wie in Bild 5.7 (Mitte) dargestellt, wird bereits 2015 mehr als die Hälfte der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in NRW von den Pkw verursacht, dieser Anteil wird zukünftig noch ansteigen, für 2025 wird ein Anteil von ca. 70 % prognostiziert. Daher werden im Folgenden die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Pkw nochmals, differenzierter nach Kraftstoffart (Otto, Diesel, sonstige) und Euronormstufen, analysiert.

In Bild 5.8 sind zunächst die Anteile der Fahrzeugarten an den Fahrleistungen auf den Straßen in NRW auf BAB sowie AGO und IGO für 2013 und in der Trendprognose für 2020 und 2025 dargestellt. Die Pkw wurden dabei nach Kraftstoffart (Otto, Diesel, sonstige) sowie nach Fahrzeugkonzepten (Euronorm) differenziert, die INfz nach Kraftstoffart, die schweren Nutzfahrzeuge nach Lkw, LzSz (Last- und Sattelzug) sowie nach Bussen. Außerdem sind die motorisierten Zweiräder (Krad) einzeln aufgeführt.

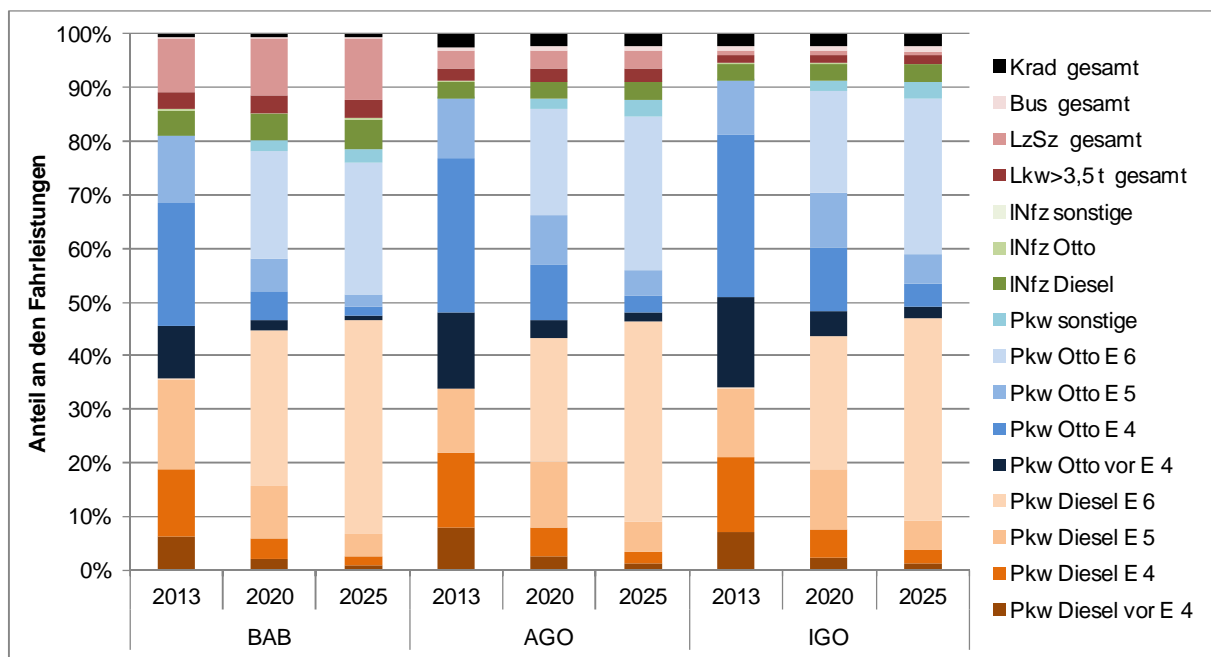


Bild 5.8: Anteile der Fahrzeugarten an den Fahrleistungen auf BAB sowie AGO und IGO für 2013 und Trendprognose für 2020 und 2025

Die Anteile der Fahrzeugarten an den Fahrleistungen ändern sich in der Prognose für 2020 und 2025 kaum gegenüber 2013. Anders sieht es bei den Emissionsstandards aus. Im Jahr 2013 hatten bei den Otto-Pkw Fahrzeuge mit Euronormstufe 4 den höchsten Anteil an der Fahrleistung, bei den Diesel-Pkw Fahrzeuge mit Euro 5. Die Fahrleistung verschiebt sich in der Prognose massiv zu Fahrzeugen mit Euronormstufe 6. Sonstige Kraftstoffe (Gas- oder Elektrofahrzeuge) sind 2013 in der Flotte vernachlässigbar, in der Trendprognose 2025 tragen sie zwischen 3 % und 4 % zur Pkw-Fahrleistung bei.

Für die drei Jahre (2013, 2020 und 2025) sind in den folgenden Darstellungen die Fahrleistungen und NO<sub>x</sub>-Emissionen in dem gleichen Differenzierungsgrad nochmals vergleichend gegenübergestellt.

In Bild 5.9 (links oben) sind die Werte der Fahrleistungen für das Jahr 2013 dargestellt. Rechts daneben werden die daraus resultierenden NO<sub>x</sub>-Emissionen gezeigt. Unten sind zum Vergleich die entsprechenden relativen Anteile dargestellt.

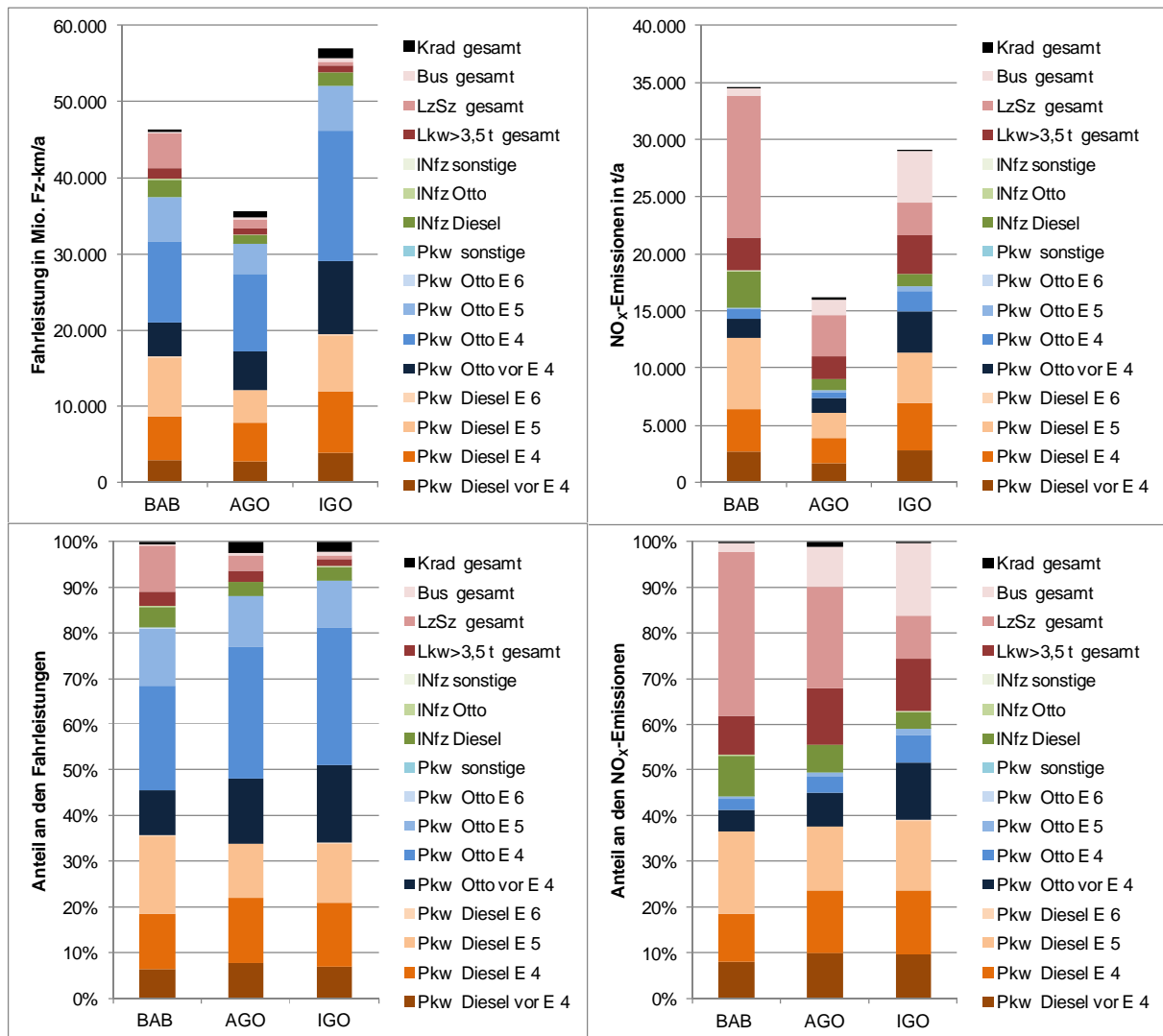


Bild 5.9: Fahrleistungen des Kfz-Verkehrs NRW 2013, differenziert nach Fahrzeugkonzepten, und daraus resultierende NO<sub>x</sub>-Emissionen

In Bild 5.9 sind folgende Punkte zu erkennen:

- Der Beitrag des Schwerververkehrs zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen liegt deutlich höher als der entsprechende Beitrag zu den Fahrleistungen. Die Ursache hierfür ist in den deutlich

höheren spezifischen NO<sub>x</sub>-Emissionen für Nutzfahrzeuge zu sehen (vgl. Bild 5.2 und Bild 5.3).

- Innerhalb geschlossener Ortschaften ist insbesondere der Beitrag der Busse zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen im Vergleich zu den Fahrleistungen hoch.
- Die Fahrleistungen sind auf den Innerortsstraßen am höchsten, die Emissionen jedoch auf den Autobahnen.
- Die Fahrleistungen auf BAB sind um ca. 30 % höher als auf Außerortsstraßen, die Emissionen jedoch mehr als doppelt so hoch.
- Auf BAB ist auch der Beitrag der Infz zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen im Vergleich zu den Fahrleistungen hoch.
- Die Diesel-Pkw tragen zur Pkw-Fahrleistung weniger als die Hälfte bei (IGO: 37%, AGO: 39%, BAB: 44%), zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen der Pkw jedoch deutlich mehr als die Hälfte (IGO: 66%, AGO: 76%, BAB: 83%).
- Der Beitrag der Otto-Pkw zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen ist überall deutlich geringer als zu den Fahrleistungen, innerorts tragen sie jedoch anteilmäßig mehr zu den Emissionen bei als außerorts und dort mehr als auf BAB. Dies liegt daran, dass das Verhältnis der mittleren Emissionsfaktoren von Otto-Pkw zu Diesel-Pkw innerorts am höchsten und auf BAB am niedrigsten ist (aber überall deutlich kleiner als Eins).

Da die größten NO<sub>x</sub>-Emissionsanteile auf die BAB und den Innerortsbereich entfallen, sollten Maßnahmen zur Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen insbesondere dort ansetzen. Außerdem wird deutlich, dass insbesondere der Anteil der Emissionen von Dieselfahrzeugen reduziert werden muss.

In Bild 5.10 und Bild 5.11 sind die Fahrleistungen und NO<sub>x</sub>-Emissionen entsprechend für die Trendprognose 2020 und 2025 dargestellt. Bezüglich der Verteilung der NO<sub>x</sub>-Emissionen auf die Bereiche BAB, AGO und IGO ergibt sich bis 2025 kein großer Unterschied im Vergleich zu 2013, die größten Emissionsanteile entfallen auf die Autobahnen (BAB) und den Innerortsbereich (IGO).

In der Prognose für 2025 sind die Emissionen, wie schon in Bild 5.6 dargestellt, aufgrund des höheren Anteils an Euro 6/VI Fahrzeugen in der Flotte deutlich geringer im Vergleich zu 2013 und auch zu 2020. Da die NO<sub>x</sub>-Emissionen für den Schwerverkehr stärker zurückgehen als für die Pkw (vgl. Bild 5.7 unten), ist der Beitrag des Schwerverkehrs zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen 2020 und 2025 etwas geringer als 2013. Aufgrund des für die Trendprognose angesetzten gleichbleibend hohen Anteils von Diesel-Pkw bei den Neuzulassungen (45 %), dem längeren Verbleib im Fahrzeugbestand und der Tatsache, dass bei den Diesel-Pkw erst ab Euro 6 eine signifikante Reduktion der spezifischen NO<sub>x</sub>-Emissionen zu erwarten sind, nimmt der Anteil der Diesel-Pkw an den NO<sub>x</sub>-Emissionen zu und liegt 2025 bei ca. 60 % der Gesamtemissionen.

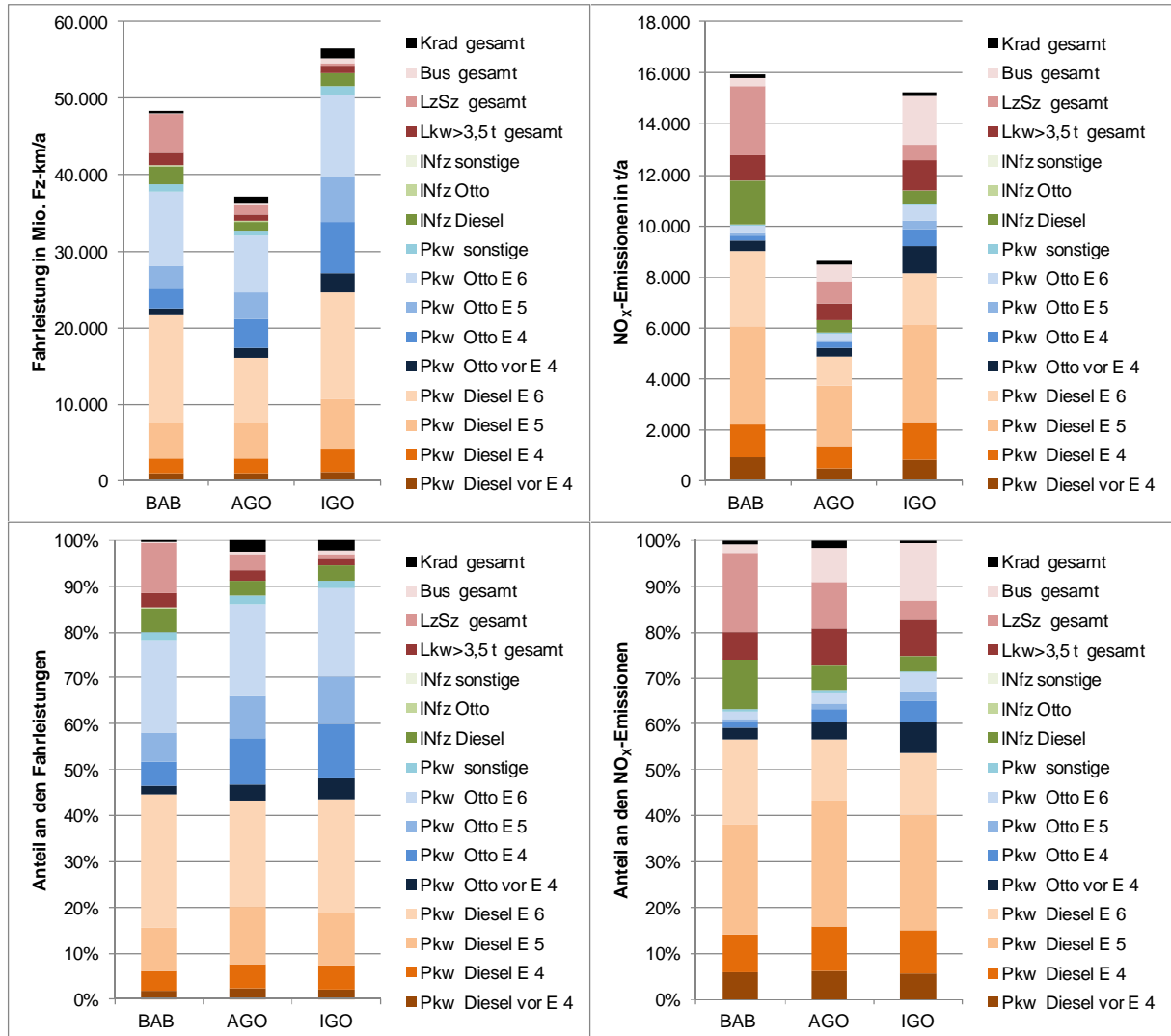


Bild 5.10: Fahrleistungen des Kfz-Verkehrs NRW 2020, differenziert nach Fahrzeugkonzepten, und daraus resultierende NO<sub>x</sub>-Emissionen

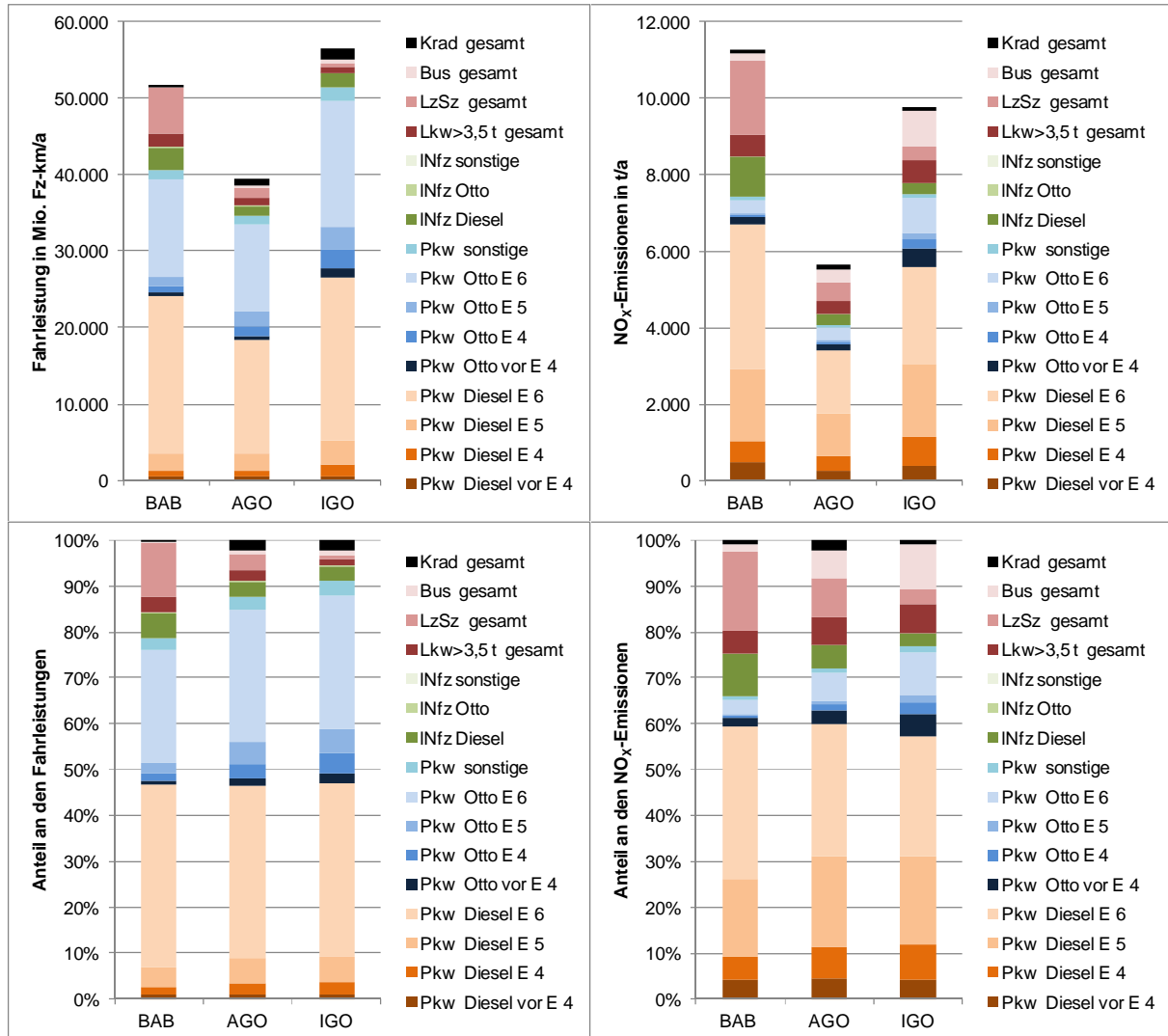


Bild 5.11: Fahrleistungen des Kfz-Verkehrs NRW 2025, differenziert nach Fahrzeugkonzepten, und daraus resultierende NO<sub>x</sub>-Emissionen



## 5.3 Handlungsfelder Straßenverkehr

Für den Straßenverkehr werden im Wesentlichen drei Handlungsfelder für die Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW identifiziert. In Bild 5.12 sind sie grafisch dargestellt und kurz beschrieben.



Bild 5.12: Handlungsfelder zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Quellengruppe Verkehr

Nachstehend werden die Handlungsfelder, die jeweiligen Strategien und Maßnahmen für den Straßenverkehr näher beschrieben. Der Fokus liegt dabei auf einer NRW-weiten Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen. Maßnahmen, die lokal Emissionen reduzieren, in Summe aber emissionserhöhend wirken, werden nicht betrachtet.

### 5.3.1 Handlungsfeld 1: Fahrzeuge, Antriebe, Kraftstoffe und Flottenmodernisierung

Dieses Handlungsfeld betrifft die Reduktion von NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs durch technische Maßnahmen am Fahrzeug. Dazu zählen z.B. der vermehrte Einsatz von Elektromotoren, die Verbesserung der aerodynamischen Eigenschaften insbesondere von schweren Nutzfahrzeugen sowie Abgasnachbehandlungssysteme und Katalysatoren.

Da als strategische Zeiträume die Entwicklungen bis 2020 bzw. 2025 betrachtet werden sollen, geht es nicht um die Erforschung, Entwicklung und Markteinführung neuer Technologien, wie z.B. das „autonome Fahren“, dessen großtechnologische Marktgängigkeit nicht vor 2030 erwartet wird, sondern um Strategien, die Fahrzeugflotte auf den Straßen von NRW

schneller mit verfügbaren Minderungstechnologien zu durchdringen als es der Flottenentwicklung im Trend entspricht. Die diesbezüglichen Strategien sind in Bild 5.13 grafisch dargestellt und werden im Folgenden vorgestellt.

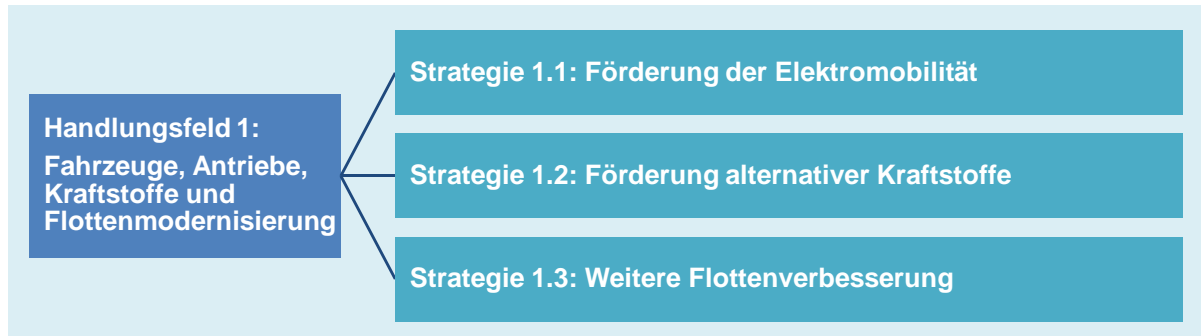


Bild 5.13: Minderungsstrategien im Handlungsfeld „Fahrzeuge, Antriebe, Kraftstoffe und Flottenmodernisierung“

### 5.3.1.1 Strategie 1.1: Förderung der Elektromobilität

Elektrisch betriebene Fahrzeuge setzen keine Abgas-Emissionen frei. Wird der Strom zum Betrieb aus zusätzlichen erneuerbaren Energien gewonnen, fallen auch sonst keine weiteren Emissionen an, andernfalls gibt es Emissionen im Bereich Energieversorgung.

Strategie 1.1 zielt auf eine verstärkte Förderung der Elektromobilität, um die gesteckten Ziele in Bezug auf die Fahrzeuganzahl für 2020 und die Folgejahre zu erreichen.

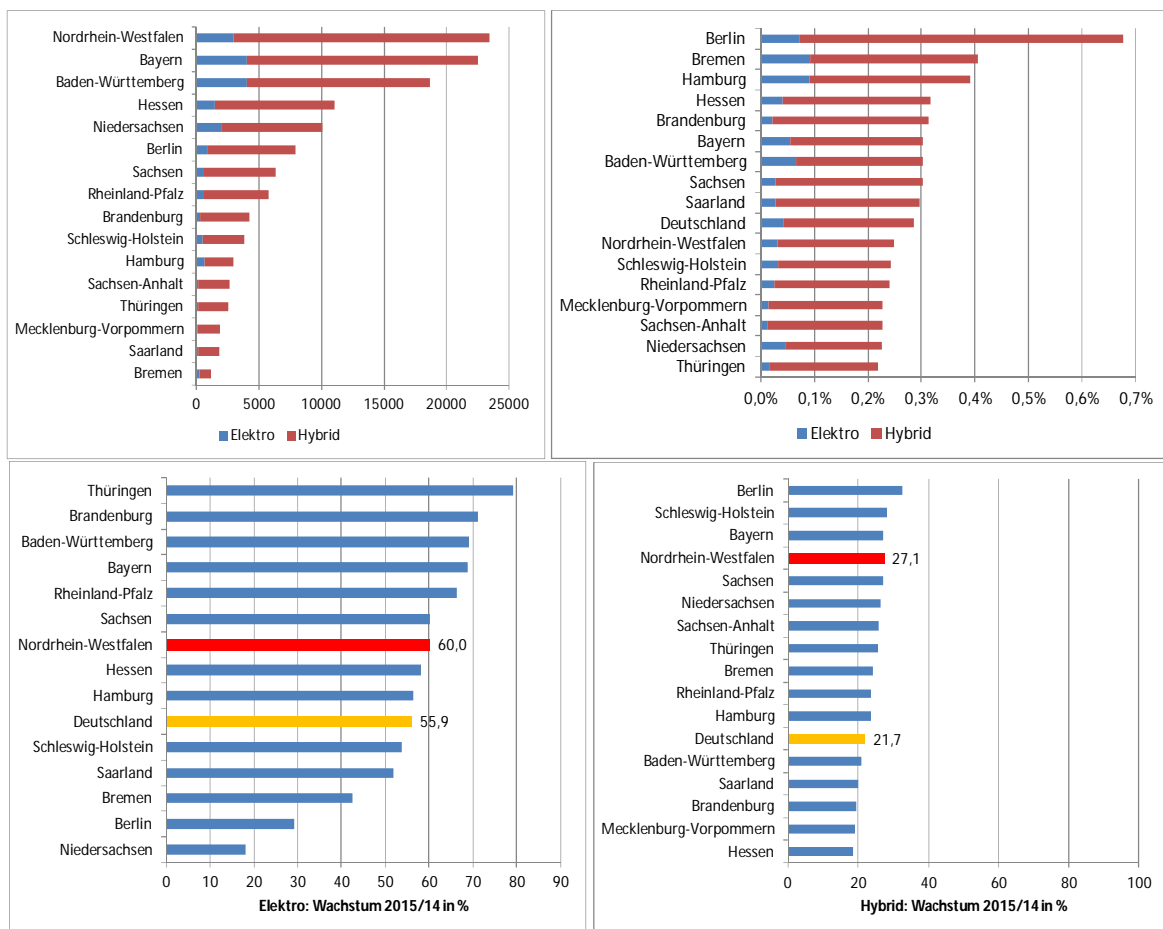
#### Masterplan Elektromobilität NRW

Im Jahr 2009 hat die Landesregierung NRW den Masterplan Elektromobilität mit entsprechenden Handlungsempfehlungen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit sowie zur beschleunigten Einführung innovativer Technologien verabschiedet. Elektromobilität ist in der laufenden Legislaturperiode fester Bestandteil des in 2012 geschlossenen Koalitionsvertrags. Das definierte Ziel des Landes ist bundesweiter Vorreiter für Elektromobilität zu werden. Zwischenzeitlich wurden viele Forschungs- und Demonstrationsvorhaben in NRW initiiert und gefördert. Die erreichten Meilensteine sowie die weiteren Handlungsfelder sind im aktuellen Masterplan 2014 be- und fortgeschrieben /MPENRW 2015/.

Die erklärten E-Mobilitätsziele der Bundesregierung bis zum Jahr 2020 sind eine Million Elektroautos und 150.000 Ladestationen auf deutschen Straßen. NRW hat 250.000 Elektroautos, also 25 % der bundesweiten Marke, als Ziel ausgegeben. Bezüglich der Planung der Ladeinfrastruktur werden im Masterplan 2014 keine konkreten Zahlen genannt.

**Ist-Situation und Markthochlauf**

Die in Bild 5.14 dargestellte Situation bei den Elektrofahrzeugen (Hybride und EV) für 2015 zeigt insgesamt noch sehr geringe Anteile am Pkw-Bestand mit kräftigen Wachstumsraten zwischen 2014 und 2015, insbesondere bei den reinen Elektro-Pkw. Zwar hat NRW den höchsten absoluten Bestand an Elektrofahrzeugen, insbesondere bei den Hybriden, jedoch ist der relative Bestandsanteil mit 0,25 % nur Bundesdurchschnitt. Dafür war das letztjährige Wachstum sowohl bei den reinen Elektro-Pkw als auch bei den Hybriden überdurchschnittlich. Dennoch steht aufgrund der vergangenen Entwicklungen die Zielerreichung sowohl bundesweit als auch in NRW in Frage. Dies gilt in gleicher Weise auch für die öffentliche Ladeinfrastruktur. Hier waren bundesweit in 2013 nur 4.386 öffentlich zugängliche Ladestationen vorhanden, davon 1.051 (ca. 24 %) in NRW.



*Bild 5.14: Bestand an Elektrofahrzeugen in Deutschland und in NRW zum 01.01.2015 sowie Wachstumsraten, bezogen auf das Vorjahr /KBA 2015a/*

Am 01.01.2015 waren in Deutschland 107.754 Hybridfahrzeuge und 18.948 reine Elektrofahrzeuge im Pkw-Bestand, in NRW 20.472 bzw. 2.976. Dies bedeutet eine derzeitige Zielerreichung von 12,6 % bundesweit und 9,4 % für NRW (gemessen am Masterplan Elektromobilität NRW).

Aufgrund der hohen Unsicherheiten bezüglich der weiteren Entwicklung in Bezug auf die alltagstaugliche Verfügbarkeit insbesondere rein elektrisch betriebener Fahrzeuge und der Ladeinfrastruktur, der Entwicklung der Kraftstoff- und Batteriepreise sowie der Einführung politischer Förderinstrumente fallen die Prognosen verschiedener Institute deutlich unterschiedlich aus.

Das Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI hat in diesem Zusammenhang entsprechende Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge für Deutschland entwickelt /ISI 2013/. Insgesamt wurden 3 Szenarien betrachtet, wobei das „mittlere Szenario“ (mit Infrastrukturkosten, beschränkter Verfügbarkeit und Mehrpreisbereitschaft) aus Gutachtersicht das wahrscheinlichste ist. Mit den günstigen Randbedingungen eines „Pro-EV-Szenarios“ in Bezug auf Rohöl-, Strom- und Batteriepreise ließen sich die Ziele für 2020 noch erreichen. So geht ISI im mittleren Szenario von ca. 550.000 E-Fahrzeugen mit einem Hybridanteil von 75 % aus. Im Pro-EV-Szenario würde der Bestand auf 1.150.000 Fahrzeuge anwachsen. Bei einem angestrebten NRW-Anteil von 25 % an der bundesweiten Flotte würde das im mittleren Szenario 137.500 bzw. 287.500 E-Pkw bedeuten. Damit wäre die Zielmarke zu 55 % bzw. zu 115 % erfüllt.

Um die Zielmarke erreichen zu können, sind weitere Maßnahmen zu ergreifen. Im Folgenden werden drei entsprechende Maßnahmen zur Förderung der Elektromobilität vorgestellt, sie sind in Bild 5.15 aufgelistet.

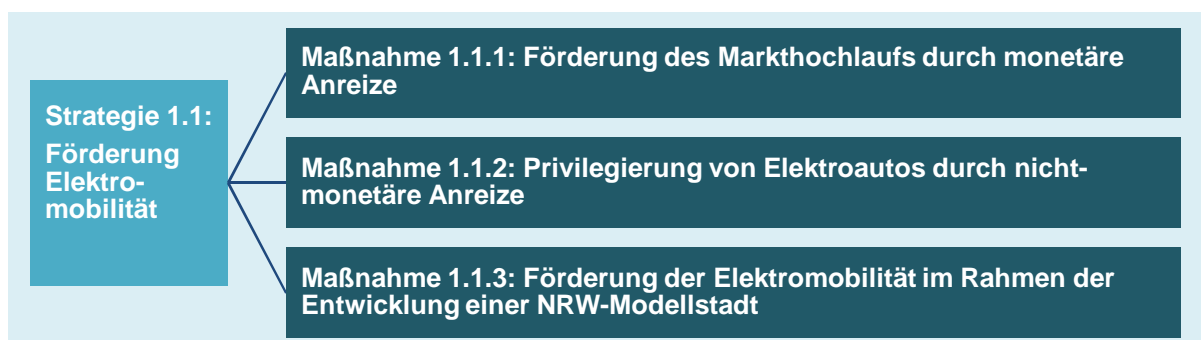


Bild 5.15: Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Förderung Elektromobilität“

### **Maßnahme 1.1.1: Förderung des Markthochlaufs durch monetäre Anreize**

Der aktuelle Masterplan Elektromobilität für NRW gibt einen Überblick über die bereits gewährten monetären Anreize und die aus öffentlicher Sicht möglichen weiteren monetären Anreizsysteme. Diese sind im nachfolgenden Bild 5.16 zusammengefasst.

Bei den bestehenden Anreizsystemen sind Steuerbegünstigungen und zinslose bzw. zinsvergünstigte Darlehen der KfW-Bank bzw. der NRW.Bank zu nennen. Bei den aus öffentlicher Sicht möglichen Anreizsystemen sind es vor allem Kaufprämien, weitere Steuerbegünstigungen und kostenfreie Ladestationen.

<p><b>Überblick der in Deutschland gewährten monetären Anreize</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Steuerbegünstigung: Befreiung von der Kfz-Steuer für 10 Jahre</li> <li>• Anpassung des Gesetzes bei der Besteuerung von Dienstfahrzeugen (Abzug der Kosten des Batteriesystems für die Ein-Prozent-Methode)</li> <li>• Finanzielle Unterstützung der Forschung &amp; Entwicklung (&gt; 1 Mrd. Euro)</li> <li>• Spezifische Förderprogramme von Unternehmen, z.B. der Energieversorgungsunternehmen in NRW</li> <li>• KfW-Programme mit z.B. zinslosen Krediten für Privatkunden</li> <li>• NRW.Bank.Elektromobilität: zinsgünstigen Darlehen für mittelständische und kommunale Unternehmen und freiberuflich Tätige für E-Fahrzeuge, Infrastruktur &amp; Forschungsprojekte</li> </ul>
<p><b>Mögliche monetäre Anreizsysteme aus öffentlicher Sicht</b></p>	<p><b>Direkte Anreize</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Kaufprämien, z.B. Zulassungs-, Luxus- und Mehrwertsteuersätze</li> <li>• Steuerbegünstigungen, z.B. Kfz-Steuer, Autobahnmaut oder City-Maut</li> <li>• Anschaffung emissionsfreier Fahrzeugen für den öffentlichen Sektor, z.B. kommunaler Einsatz</li> </ul> <p><b>Infrastruktur</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• fördernde Infrastrukturmaßnahmen, z.B. kostenfreie Ladestationen</li> </ul> <p><b>Forschung &amp; Entwicklung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• finanzielle Unterstützung für die F &amp; E zu emissionsfreien Fahrzeugen</li> </ul>

Quelle: ika / fka, AutoCluster.NRW, toroleo

*Bild 5.16: Überblick über bestehende und mögliche Anreizsysteme in Bezug auf die Anschaffung von Elektrofahrzeugen /MPENRW 2015/*

In Deutschland werden auch in der Politik zunehmend Kaufprämien diskutiert, die in anderen europäischen Ländern wie z.B. Frankreich, Großbritannien, den Niederlanden oder Norwegen bei der Anschaffung eines Elektrofahrzeugs bereits in unterschiedlichem Maße gewährt werden.

In Bild 5.17 ist für verschiedene Länder der Marktanteil von Elektroautos und Hybridfahrzeugen in den Jahren 2012 und 2013 in Abhängigkeit vom Kaufanreiz (Anteil Prämie an Basispreis) für Beispielfahrzeuge (BEV: Renault Zoe, PHEV: Volvo V60) dargestellt /ICCT 2014/.

Es ist ein deutlicher Einfluss des Kaufanreizes auf den Marktanteil zu erkennen: In den Niederlanden konnte durch einen Zuschuss von über 70 % zum Kaufpreis der Erwerb von Hybridfahrzeugen und in Norwegen durch einen Zuschuss von über 50 % zum Kaufpreis beim Erwerb von Elektrofahrzeugen der jeweilige Marktanteil auf Spitzenwerte von fast 5 % bzw. fast 6 % bei den Neuzulassungen gesteigert werden.

Die Entscheidung zum Kauf eines Elektroautos hängt jedoch nicht nur von Prämien ab, andere Einflüsse, wie z.B. fehlende Wahrnehmung von E-Fahrzeugen im Verkehr, mangelnde Entwicklung der Ladeinfrastruktur, (derzeit noch) begrenzte Reichweite, ..., können gegenläufig wirken: Auch in Großbritannien sind die Zuschüsse beim Kauf eines Elektro- oder Hybridfahrzeugs mit ca. 50 % vergleichsweise hoch, der jeweilige Marktanteil mit unter 0,2 % jedoch gering.

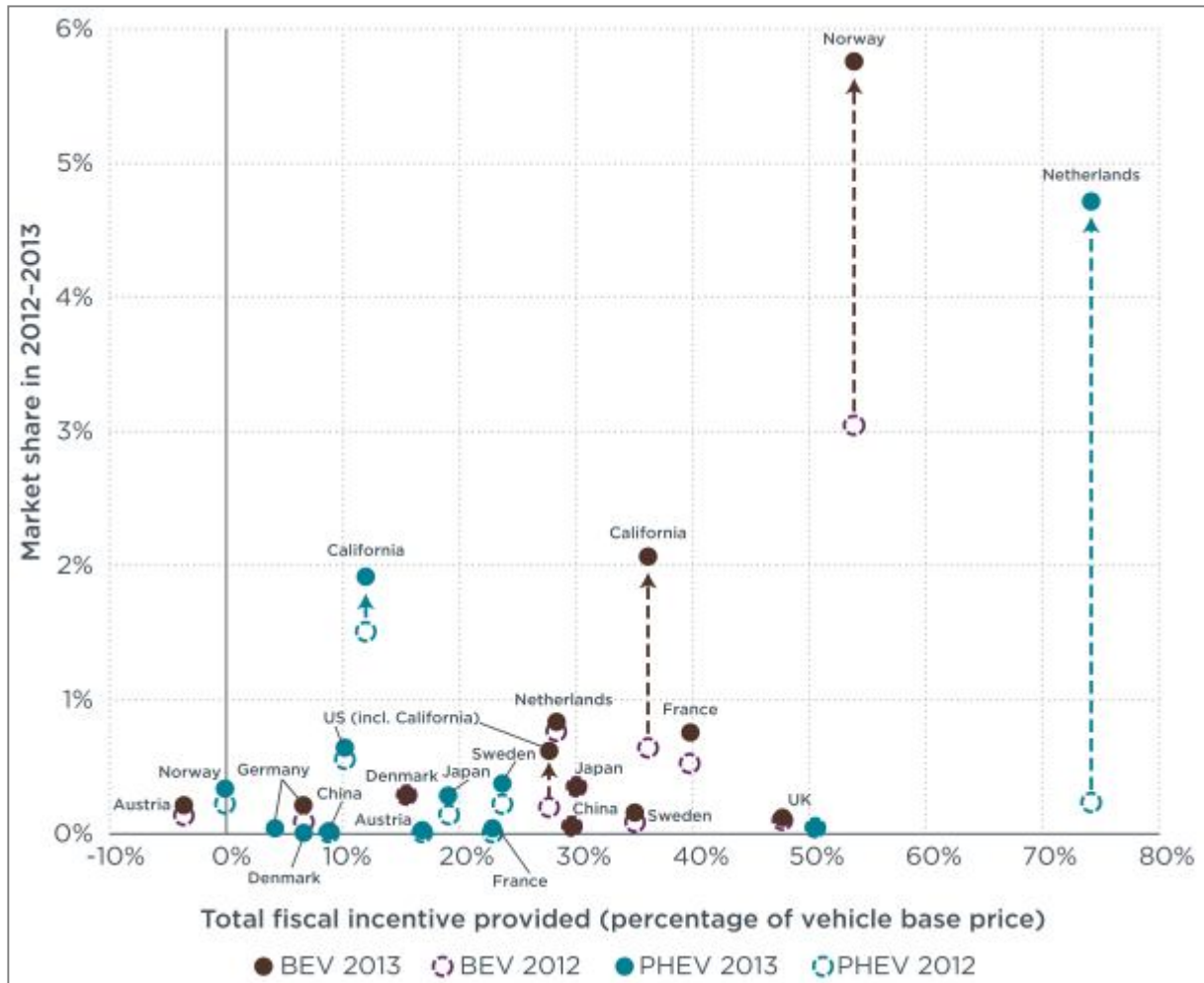


Bild 5.17: Marktanteil 2012 und 2013 von Elektroautos (BEV, battery electric vehicle; Beispielfahrzeug Renault Zoe) und Hybridfahrzeugen (PHEV, plug-in hybrid electric vehicle; Beispielfahrzeug Volvo V60) in Abhängigkeit vom Kaufanreiz (Anteil Prämie an Basispreis) für verschiedene Länder, Quelle: /ICCT 2014/

Wenn der Kauf eines Elektrofahrzeugs allgemein gefördert wird, dann ersetzen diese Fahrzeuge ältere Fahrzeuge, da statt eines neuen Fahrzeugs mit Verbrennungsmotor (Euro 6) dann ein Elektrofahrzeug gekauft wird.

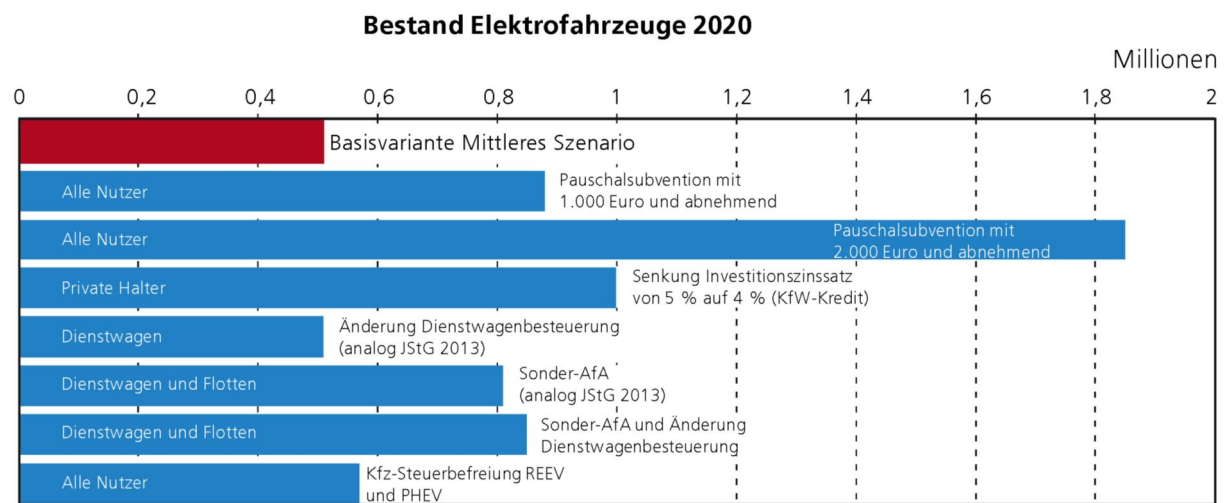
In Frankreich gibt es seit April 2015 eine auf das bereits bestehende Bonus-Malus-System<sup>13</sup> aufgestockte Prämie in Höhe von 10.000 Euro beim Kauf von reinen Elektrofahrzeugen, wenn diese ein altes (d.h. vor 2001 zugelassenes) Dieselfahrzeug ersetzen /Managermagazin 2014/. Für Hybridfahrzeuge und Euro 6 Fahrzeuge liegen die Prämien deutlich niedriger. Es handelt sich dabei also um eine Kombination aus Prämie für das Elektrofahrzeug und Abwrackprämie für das alte Dieselfahrzeug. Die in der Flotte durch Elektro-

<sup>13</sup> Beim Neuwagenkauf erhalten die Käufer einen Bonus (Verringerung des Kaufpreises) bis zu 150 €, wenn die Fahrzeuge unter 90 g CO<sub>2</sub>/km bleiben oder einen Malus (Erhöhung des Kaufpreises) von 150-8.000 €, in Klassen gestaffelt, für Fahrzeuge mit mehr als 130 g CO<sub>2</sub>/km, der höchste Malus von 8.000 € wird ab 201 g CO<sub>2</sub>/km fällig.



autos ersetzten Fahrzeuge entsprechen hinsichtlich der Verteilung ihrer Euronormstufen dann nicht mehr der Verteilung der Fahrzeuge, die ohne die Prämie ersetzt würden, sondern es werden gezielt alte Diesel aus dem Verkehr gezogen. Dies führt zu zusätzlichen Einsparungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen.

Das Fraunhofer-Institut ISI hat in seiner Studie zum Markthochlauf auch den Einfluss von entsprechenden Politikmaßnahmen von Kaufprämien bis hin zu Steuervergünstigungen simuliert. Das Ergebnis ist nachstehend in Bild 5.18 zusammengestellt /ISI 2013/.



*Bild 5.18: Auswirkungen von Politikmaßnahmen auf den Markthochlauf von Elektrofahrzeugen in Deutschland bis 2020 /ISI 2013/*

Mit einer Pauschalsubvention von anfänglich 2.000 € könnte man demnach erhebliche Anreize entfalten und mit einer Senkung des KfW-Investitionszinssatzes um 1 %-Punkt für private Nutzer bereits die bundesdeutsche Zielmarke von 1 Mio. E-Fahrzeugen in 2020 erreichen.

In diesem Zusammenhang sei auf den Bundesratsbeschluss 167/15 vom 10.07.2015 verwiesen, der zur Förderung der Verbreitung von Elektrofahrzeugen u.a. auch Kaufzuschüsse für Privatpersonen in Höhe von 5.000 € bei reinen Elektrofahrzeugen und von 2.500 € für Plug-In-Hybridfahrzeuge mit weniger als 50 g CO<sub>2</sub>/km oder einer elektrischen Reichweite von mindestens 40 km fordert.

**Maßnahme 1.1.2: Privilegierung von Elektroautos durch nicht-monetäre Anreize**

Desweiteren können neben Kaufprämien und Steuervergünstigungen Privilegien für Elektroautos gegenüber anderen Fahrzeugen die Kaufentscheidung positiv beeinflussen. Dabei empfinden die potentiellen Nutzer von E-Fahrzeugen die nicht-monetären Anreize ebenso wichtig wie die monetären.

Im sogenannten Elektromobilitätsgesetz I, das in Deutschland im ersten Quartal 2015 mit befristeter Geltung bis 30.06.2030 in Kraft getreten ist, wird den Städten und Gemeinden das Recht eingeräumt, folgende Privilegien für Elektrofahrzeuge und Plug-in-Hybride festzulegen:

- Reservierung kostenloser Parkplätze
- Freigabe von Busspuren für die Nutzung durch Elektroautos
- Aufhebung von Zufahrtsverboten

Die entsprechenden Privilegien müssen von den Städten und Kommunen beschlossen werden. Dabei stößt die Mitbenutzung von Busspuren, die in Norwegen bereits erfolgreich praktiziert wird, bei den hiesigen Kommunen derzeit noch auf Widerstand.

In den USA ist es Elektroautos auch gestattet, sogenannte HOV (High Occupancy Vehicle) Spuren zu benutzen, auf denen sonst zur Förderung von Fahrgemeinschaften nur Fahrzeuge mit mindestens zwei, manchmal mindestens drei Insassen fahren dürfen /FHWA 2010/. Z.Zt. wird in Baden-Württemberg eine Machbarkeitsstudie für sog. „Umweltstreifen“ in Stuttgart hinsichtlich der technischen und rechtlichen Machbarkeit durchgeführt.

Nachstehendes Bild 5.19 aus dem Masterplan Elektromobilität 2014 für NRW fasst Möglichkeiten nicht-monetärer Anreizsysteme nochmal zusammen.

**Rahmenbedingungen für emissionsfreie Fahrzeuge (Infrastruktur/Nutzerorientierung)**

**Ladestationen**

- Installation von (Schnell-)Ladestationen, z.B. auch Induktionsschleifen
- Installation von Wasserstofftankstellen

**Parkmöglichkeiten für emissionsfreie Fahrzeuge (EF)**

- (kostenfreie) dedizierte Parkmöglichkeiten für EF in Parkhäusern, Garagen, Abstellplätzen usw.
- (kostenfreie) spezielle Parkplätze mit Ladestationen für EF

**Stauvermeidung**

- Exklusive Fahrstreifen für EF
- Mitbenutzung von Busfahrstreifen

**Sonstige**

- kostenreduzierter/-freier Erprobungszeitraum
- Aufhebung von Zufahrtsverboten für Elektrofahrzeuge
- intelligente Netzintegration von Elektrofahrzeugen



**Nicht-monetäre Anreize werden von potenziellen Kunden für emissionsfreie Fahrzeuge als ebenso wichtig empfunden wie monetäre Anreize.**

Quelle: ika / fka, AutoCluster.NRW, McKinsey, Marriott, Journalisten Akademie

*Bild 5.19: Nicht-monetäre Anreizsysteme zur Förderung des Markthochlaufs von Elektrofahrzeugen /MPENRW 2015/*



In einem geplanten Elektromobilitätsgesetz II sollen unter anderem bau-, miet- und eigentumsrechtliche Vorschriften angepasst werden, um einen schnellen und einfacheren Aufbau von Ladeeinrichtungen zu ermöglichen.

Wie im Umsetzungsplan des Masterplans für NRW beschrieben, sind die Elektromobilitätsgesetze landesspezifisch umzusetzen.

### **Maßnahme 1.1.3: Förderung des Einsatzes der Elektromobilität im öffentlichen Nahverkehr (Elektrobusse/Taxis) und im Wirtschaftsverkehr im Rahmen der Entwicklung einer Modellstadt „Elektromobilität“**

Der ÖPNV ist überwiegend in städtischer oder kommunaler Hand. Hier können die Städte und Kommunen gezielt die Anschaffung von Elektrobussen fördern. Wenn dadurch alte Dieselflotten ersetzt werden, ist die Minderung von NO<sub>x</sub> und Feinstaub besonders hoch. Gleiches gilt für die Fahrzeugflotte des Landes NRW: Im Masterplan Elektromobilität ist das Ziel festgeschrieben, über öffentliche Beschaffung einen Flottenanteil von 10 % Elektrofahrzeugen an der Landesflotte zu erreichen<sup>14</sup>. Dieses Ziel könnte auch für die kommunalen Busflotten im ÖPNV ausgegeben werden, wobei auch die weiteren alternativen Antriebe in die Zielerfüllung einbezogen werden sollen. Die derzeitige Linienbusfahrleistung innerorts in NRW liegt bei etwa 490 Mio. km/a, meist dieselbetrieben.

Auch Taxis eignen sich aufgrund ihrer meist dieselbetriebenen hohen spezifischen Jahresfahrleistung, ihres überwiegend innerstädtischen Einsatzes und ihrer Multiplikationswirkung für den Einsatz von Elektromobilität. In NRW liegt der Fahrleistungsanteil der Taxen und Mietwagen schätzungsweise bei knapp 1 Mrd. km/a und hat damit einen Anteil von etwa 2 % an der innerörtlichen Pkw-Fahrleistung in NRW in 2013.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Schaufenster Elektromobilität“ wird in Stuttgart daher das Projekt GuEST (Gemeinschaftsprojekt „Nutzungsuntersuchungen von Elektrotaxis in Stuttgart“<sup>15</sup>) durchgeführt. Seit 2014 fahren fünf reine Elektrotaxis (BEV) durch Stuttgart. Als Zwischenbilanz wurden positiv das gute Fahrverhalten und negativ die im Winter kurze Reichweite von ca. 80 bis 90 km (statt der angegebenen 200 km) hervorgehoben. Aufgrund der hohen spezifischen Jahresfahrleistung sind die Hybride bei diesen Einsatzmustern deutlich im Nachteil, da der elektrische Fahranteil mit zunehmender Fahrleistung stark absinkt /ISI 2013/.

Mit den aktuellen Förderinstrumenten NRW.Bank.Elektromobilität und der neuen Förderrichtlinie Elektromobilität des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur BMVI vom Juni 2015 sind auch für die hier angesprochenen Verkehrsbetriebe und Taxi- und Mietwagenunternehmen die entsprechenden Förderbedingungen gegeben. Auf Landes-

<sup>14</sup> [http://www.elektromobilitaet.nrw.de/editor/user\\_upload/Umsetzungsplan.PNG](http://www.elektromobilitaet.nrw.de/editor/user_upload/Umsetzungsplan.PNG)

<sup>15</sup> <http://www.livinglab-bwe.de/projekt/guest/>

ebene sollte über Spitzengespräche mit den entsprechenden Landesverbänden auf die neue Förderlandschaft aufmerksam gemacht werden.

Im Logistikbereich, der seit Jahren vom Wirtschaftswachstum und vom steigenden Welthandel profitiert, ist insbesondere beim innerstädtischen Straßentransport (City-Logistik) der Einsatz von Elektrofahrzeugen sinnvoll. Als Pilotprojekt hat die Deutsche Post DHL in Bonn und der näheren Umgebung die Fahrzeuge vollständig auf Elektrobetrieb umgestellt. Es bietet sich an, die Förderung zur Anschaffung von Elektrofahrzeugen auf Liefer- und Postdienste auszuweiten.

Im Wirtschaftsverkehr wird auch u.a. der Einsatz von Oberleitungs-Hybrid-Lkw diskutiert. Hierzu gibt es z.B. in den USA und Schweden bereits Teststrecken, auch in Deutschland gibt es eine 2 km lange Teststrecke auf einer Autobahn nördlich von Berlin<sup>16</sup>. Als Maßnahme könnte das Land NRW eine Machbarkeitsstudie und einen Feldversuch, z.B. in Solingen, wo bereits Oberleitungsbusse im Einsatz sind, initiieren.

Es bietet sich an, für den gesamten Bereich der Elektromobilität eine Modellstadt als Schaufenster zu entwickeln, in der alle Facetten der privaten und öffentlichen Mobilitätsbedürfnisse betrachtet werden und einer Lösung zugeführt werden. Es können auch zwei Modellstädte sein, die einerseits den Personenverkehr und andererseits den Güterverkehr behandeln. Denkbar ist Aachen als Forschungs- und Wissenschaftsstadt, die sich intensiv mit der marktreifen Entwicklung von Elektromobilitätslösungen beschäftigt, und die oben bereits erwähnte Stadt Solingen, die bereits über eine geeignete Infrastruktur für Teilsegmente verfügt. Hier bietet sich eine enge Kooperation an.

### **Minderungspotenzial der Strategie 1.1: Förderung der Elektromobilität**

Die Basis zur Abschätzung der NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale für die Maßnahmen der Strategie „Förderung der Elektromobilität“, wie auch für alle weiteren Strategien und Maßnahmen Straßenverkehr, stellen die NO<sub>x</sub>-Emissionen Straßenverkehr NRW dar, die in Kap. 4.2.2 erläutert werden. Die Emissionen liegen für die Teilbereiche Autobahn, sonstiger Außerortsbereich und Innerortsbereich differenziert nach Fahrzeugarten und Emissionskonzepten (Euronormen) vor.

Für die Strategie „Förderung der Elektromobilität“ ist es nicht möglich, Potenzialabschätzungen getrennt für einzelne Maßnahmen durchzuführen: Wie das Beispiel Großbritannien zeigt (s. Bild 5.17) sind monetäre Maßnahmen allein nicht wirksam, wenn das Umfeld nicht stimmt, also z.B. die benötigte Infrastruktur nicht vorhanden ist.

Es wird für die Potenzialabschätzung unterstellt, dass bei Umsetzung der Maßnahmen zu monetären Ansätzen (1.1.1) und Privilegierung (1.1.2) die Zielvereinbarung aus dem Masterplan Elektromobilität NRW erreicht werden kann. Zusätzlich wird das Minderungs-

<sup>16</sup> <https://www.bundesregierung.de/Content/DE/Artikel/2015/08/2015-08-11-brummi.html>

potenzial für eine „Modellstadt Elektromobilität“ mit ambitionierteren Annahmen zum Einsatz von Elektromobilität bei Bussen, Taxis und City-Logistik abgeschätzt.

Die Potenzialabschätzung wurde unter folgenden Randbedingungen durchgeführt:

- In der Trendentwicklung für den Straßenverkehr ist ein geringer Anteil von Elektrofahrzeugen berücksichtigt. Für Hybrid-Fahrzeuge wurde dabei angenommen, dass diese sich emissionsseitig nicht von den entsprechenden rein konventionellen Fahrzeugen unterscheiden.
- Es wurde davon ausgegangen, dass die Zielvereinbarung von 250.000 Elektrofahrzeugen in 2020 (Masterplan Elektromobilität NRW) und 750.000 (abgeleitet aus den weiteren Entwicklungszielen der Bundesregierung bis 2030) in 2025 erreicht wird.
- Es wurde angenommen, dass der Anteil der Elektrofahrzeuge in der Flotte insgesamt genauso hoch sein wird wie im Bestand<sup>17</sup>. Aufgrund der noch begrenzten Reichweite von Elektrofahrzeugen wurde der Anteil an der Fahrleistung dabei im Verhältnis 1 : ½ : ¼ auf die Fahrleistungen IGO, AGO und BAB aufgeteilt.
- Elektrofahrzeuge wurden bei Pkw, INfz und Krafträdern berücksichtigt.
- Für die Busse wird ein Anteil von 5 % Elektrobussen im Innerortsbereich für 2020 und 10 % für 2025 angenommen.
- Es wird angenommen, dass sich die zukünftigen Neuzulassungen auf Euro 6 und Elektrofahrzeuge verteilen, so dass der angesetzte Anteil an Elektrofahrzeugen in 2020 bzw. 2025 erreicht wird.

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen wurden für die Jahre 2020 und 2025 die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW ermittelt und die Wirkung im Vergleich zur Trendentwicklung ausgewiesen.

Es wurden dabei zwei Varianten unterschieden, zum einen die Maximalabschätzung, bei der angenommen wurde, dass alle neuen Elektrofahrzeuge rein elektrisch betrieben werden. In der zweiten Variante wurde unterstellt, dass von den neuen Elektrofahrzeugen 25 % BEV-Fahrzeuge und die restlichen Hybride sein werden. Für die Hybrid-Fahrzeuge wurde angenommen, dass sie sich emissionsseitig nicht von den rein konventionellen unterscheiden.

Für die „Modellstadt Elektromobilität“ wurde im Innerortsbereich zusätzlich angesetzt:

- 2020:
  - 50 % der Fahrleistung der Busse und Taxis elektrisch
  - 25 % der Fahrleistung der INfz elektrisch
- 2025:
  - 100 % der Fahrleistung der Busse und Taxis elektrisch

---

<sup>17</sup> Die Flottenverteilung wird auch als dynamischer Bestand bezeichnet und gibt die Anteile der Fahrzeugschichten an der Fahrleistung an. Der (statische) Bestand bezieht sich auf die beim KBA gemeldeten Fahrzeuge. Die Fahrleistungen von neuen Fahrzeugen sind i.d.R. etwas höher als von älteren Fahrzeugen, die Fahrleistungen von Diesel-Fahrzeugen i.d.R. etwas höher als von Otto-Fahrzeugen, daher gibt es Abweichungen zwischen Flottenverteilung und Bestand. Zu den Fahrleistungen von Elektrofahrzeugen liegen jedoch noch keine belastbaren Informationen vor, so dass ihr Anteil an der Flotte gleich dem am Bestand angesetzt wird.

- 50 % der Fahrleistung der INfz elektrisch

Die Abschätzung für die Modellstadt stellt eine Maximalabschätzung dar und wurde daher nur für die Variante 1 (100 % BEV ohne Hybridfahrzeuge) durchgeführt.

#### Maßnahmen 1.1.1 und 1.1.2

Für die Variante 1 (100 % BEV) ergibt sich im Jahr 2020 eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in NRW gesamt von 343 t/a (0,9 %) und im Jahr 2025 von 1.051 t/a (3,9 %). Innerhalb geschlossener Ortschaften sind die Minderungen mit 1,4 % (2020) und 6,6 % (2025) aufgrund der höher angesetzten elektrischen Anteile an den Fahrleistungen entsprechend höher.

Für die Variante 2 (25 % BEV / 75 % Hybrid) liegt das NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial für NRW gesamt in 2020 bei 95 t/a (0,2 %) und in 2025 bei 282 t/a (1,1 %). Innerhalb geschlossener Ortschaften ergeben sich hier Minderungen von 0,4 % (2020) bzw. 1,9 % (2025).

#### Maßnahme 1.1.3

Mit den in einer Modellstadt Elektromobilität zusätzlich angesetzten elektrischen Fahrleistungen von Bussen, Taxis und INfz können in Variante 1 (100 % BEV) im Jahr innerstädtisch Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs von 2,8 % (2020) bzw. 18,0 % (2025) erzielt werden. Wenn diese Anteile in allen Städten in NRW erreicht werden, ergeben sich für NRW gesamt damit Reduktionen von 515 t (1,4 %) im Jahr 2020 bzw. von 2.160 t (8,1 %) im Jahr 2025.

Die für die Modellstadt geschätzten Minderungen sind deutlich höher als die für Maßnahmen 1.1.1 und 1.1.2 geschätzten Minderungen. Den größten Anteil an den zusätzlichen Minderungen (57 % in 2020 bzw. 84 % in 2025) haben die zusätzlich angesetzten Elektrobusse.

<b>V 1.1 Strategie: Förderung der Elektromobilität</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Bund, NRW, Automobilindustrie, Energieversorger, Verbände		in NRW ansässige Käufer, die planen, ein neues Kfz zu erwerben (Kaufzuschuss); Verkehrsunternehmen; Städte, die sich um eine Förderung als "Modellstadt Elektromobilität" bewerben können	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Förderung des Markthochlaufs durch monetäre Anreize (z.B. Pauschalsubvention von anfänglich 2.000 € pro Fahrzeug durch die NRW.Bank), flankiert durch eine Privilegierung von Elektrofahrzeugen hinsichtlich Parken und der Nutzung von Busspuren/Umweltspuren; Entwicklung einer oder zwei "Modellstädte Elektromobilität", in denen beispielhaft die Umstellung des ÖPNV auf Elektromobilität (Elektro- oder Hybridbusse, Stadtbahnen), der Einsatz von E-Taxis, der Ausbau der Infrastruktur für Oberleitungs-Hybrid-Lkw und öffentliche Ladestationen demonstriert werden			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung:</b> Der Kauf eines Elektrofahrzeugs wird i.d.R. die Alternative zum Kauf eines Neuwagens sein. In der Flotte werden daher im Rahmen der natürlichen Flottenentwicklung Elektrofahrzeuge statt Euro-6-Fahrzeuge eingemischt. Wenn der erforderliche Strom aus zusätzlichen erneuerbaren Energien gewonnen wird, entfallen die Emissionen der ersetzten Fahrzeuge, andernfalls fallen höhere Emissionen im Sektor Energieversorgung an.			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012/2013 (Basisfall)	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	79.989	39.754	26.675
Maßnahme	1.1.1: Förderung des Markthochlaufs durch monetäre Anreize		
Maßnahme	1.1.2: Privilegierung von Elektroautos durch nicht-monetäre Anreize		
Variante 1: Zielvereinbarung erreicht, 100% BEV			
Minderung ggü. Trend [t]		343	1.051
Minderung ggü. Trend (Anteil, NRW)		0,9%	3,9%
Minderung ggü. Trend (Anteil, IGO)		1,4%	6,6%
Variante 2: Zielvereinbarung erreicht, 25% BEV (Battery Electric Vehicle), Rest: Hybride			
Minderung ggü. Trend [t]		95	282
Minderung ggü. Trend (Anteil, NRW)		0,2%	1,1%
Minderung ggü. Trend (Anteil, IGO)		0,4%	1,9%
Maßnahme	1.1.3: Förderung der Elektromobilität im Rahmen der Entwicklung einer NRW-Modellstadt		
Variante 1: Zielvereinbarung erreicht, 100% BEV (Annahme: ambitionierteres Ziel in allen Städten in NRW erreicht)			
Minderung ggü. Trend [t]		551	2.160
Minderung ggü. Trend (Anteil, NRW)		1,4%	8,1%
Minderung ggü. Trend (Anteil, IGO)		2,8%	18,0%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	Für die Kaufprämien von 2.000 € / Kfz sowie für Zuschüsse beim Ausbau der Infrastruktur müssen entsprechende Mittel bei der NRW.Bank zur Verfügung gestellt werden.		
Wirkung auf PM10:	Minderung durch Wegfall der motorbedingten Partikelemissionen; Emissionen aus Aufwirbelung und Abrieb bleiben unverändert.		
Wirkung auf Klima:	Wenn der erforderliche Strom aus zusätzlichen erneuerbaren Energien gewonnen wird, CO <sub>2</sub> -Einsparung.		
Wirkung auf Lärm	Lärminderung, da Elektromotor deutlich leiser		
Technologische Aspekte:	Technologie verfügbar, Entwicklungen insbesondere hinsichtlich der Batterien erwartet		
Rechtliche Aspekte:	Förderung durch das Land bedarf keiner Gesetzesänderung, Privilegierung aufgrund des Elektromobilitätsgesetzes möglich.		
Ökonomische Aspekte:	Förderung bei der Technologieentwicklung; Investitionen werden vorgezogen; Steueraufkommenseffekte; Reduktion der externen Kosten der Luftverschmutzung		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	Förderung der Elektromobilität zielt zum Teil auf das gleiche Minderungspotenzial wie Förderung von alternativen Antrieben/Kraftstoffen		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	Finanzielle Mittel müssen zur Verfügung gestellt werden.		

Bild 5.20: Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Förderung der Elektromobilität“

### 5.3.1.2 Strategie 1.2: Förderung alternativer Kraftstoffe

Neben der Elektromobilität gibt es eine Reihe weiterer alternativer Antriebsformen, deren Förderung unter Umweltgesichtspunkten diskutiert wird:

- Wasserstoff,
- CNG (compressed natural gas),
- LNG (liquefied natural gas),
- Autogas (LPG, liquefied petroleum gas),
- GTL (gas to liquid),
- synthetische Kraftstoffe auf Basis von Biomasse.

#### Wasserstoff

Unter den genannten alternativen Kraftstoffen/Antrieben ist aus Sicht der Luftreinhaltung der Wasserstoff besonders interessant. Wasserstoffautos sind mit Brennstoffzellen ausgerüstet, als Abgas entsteht nur Wasser. Für die NO<sub>x</sub>-Emissionen ist hier, wie bei den Elektroautos, zu berücksichtigen, wie der benötigte Wasserstoff erzeugt wird. Für die Elektrolyse von Wasser ist Strom erforderlich. Wird dieser aus zusätzlichen erneuerbaren Energien gewonnen, entstehen keine NO<sub>x</sub>-Emissionen, andernfalls erhöhen sich die Emissionen aus dem Bereich Energieversorgung entsprechend.

#### Erdgas/Autogas

Erdgasautos können entweder mit komprimiertem (CNG, compressed natural gas) oder verflüssigtem (LNG, liquefied natural gas) Erdgas fahren. Erdgas besteht im Wesentlichen aus Methan. Autogas (LPG, liquefied petroleum gas) fällt im Gegensatz zu Erdgas bei der Benzinherstellung an und ist ein Gemisch aus Propan und Butan. Für Erdgas wie auch für Autogas gilt /ERDGAS 2007/:

- Es fallen praktisch keine Partikelemissionen an.
- Der Ausstoß von Stickstoffoxiden ist im Vergleich zum Dieselfahrzeug (Euro 3) rund 90 % niedriger, jedoch zum Ottofahrzeug vergleichbar.

#### GTL

Als GTL (Gas to Liquid) wird ein aus Erdgas gewonnener synthetischer Dieselmotorkraftstoff bezeichnet. Dieser kann in herkömmlichen Dieselmotoren eingesetzt werden, verbrennt jedoch sauberer als Diesel. Bei einem Fahrzeugtest der Berliner Verkehrsbetriebe /Shell 2014/ wurde eine Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen gegenüber herkömmlichem Diesel um 6 % gefunden.

## Biokraftstoffe

Synthetische Kraftstoffe auf Basis von Biomasse führen zu einer Senkung der fossilen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen werden beim Einsatz von Biodiesel gegenüber herkömmlichem Diesel jedoch sogar leicht erhöht /Hoekman, Robbins 2012/. Zu den Schadstoffemissionen sogenannter Biokraftstoffe der zweiten Generation gibt es bisher wenige veröffentlichte Untersuchungen. Grundsätzlich ist bei synthetischen Kraftstoffen eine Optimierung im Hinblick auf reduzierte Abgasemissionen möglich, da die Kraftstoffqualität bei der Herstellung an die geforderten Randbedingungen angepasst werden kann (sogenannte maßgeschneiderte Kraftstoffe).

GTL und Biokraftstoffe sind dabei eher kritisch zu sehen, wenn sie nicht aus erneuerbaren Energiepfaden gewonnen werden.

Die Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Förderung alternativer Kraftstoffe und Antriebe“ sind mit denen zur Förderung von Elektromobilität vergleichbar und sind Bild 5.21 dargestellt. Bei der Entwicklung der Strategien ist zu beachten, dass die Förderung der Elektromobilität und die Förderung alternativer Kraftstoffe auf das gleiche Einsparpotenzial zielen. Daher sollte im Rahmen der Entwicklung einer Gesamtkraftstoffstrategie darauf geachtet werden, dass die alternativen Antriebsformen nicht miteinander konkurrieren, sondern sich möglichst ergänzen, um das größtmögliche Potenzial auszuschöpfen.

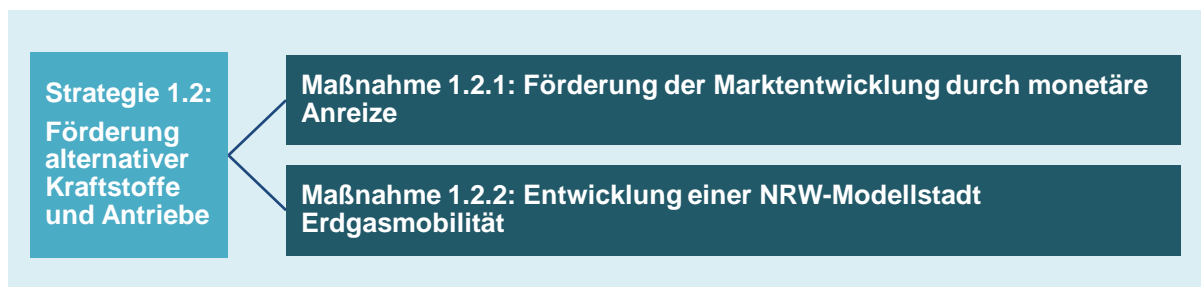


Bild 5.21: Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Förderung alternativer Kraftstoffe und Antriebe“

## Entwicklung des Marktes für Gasfahrzeuge

Neben dem Wasserstoff wird insbesondere dem Gasantrieb, vor allem dem Erdgas, im Rahmen der Entwicklung der nationalen Kraftstoffstrategie eine wichtige Rolle zugedacht, zumal wenn das Erdgas aus erneuerbaren Energiepfaden entsteht. In diesem Zusammenhang wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse im Folgenden kurz zusammengefasst werden.

Derzeit liegt der LPG-Anteil bei den Pkw bundesweit bei 1,1 % (NRW 1,7 %) und der Erdgas-Anteil bei 0,2 %, sowohl bundes- als auch NRW-weit. Bei den leichten Nutzfahrzeugen ergeben sich entsprechende Anteile für den Bundesdurchschnitt von 0,7 % (LPG)

und 0,9 % (CNG), für die schweren Nutzfahrzeuge von 0,1 % bzw. 0,2 %. Nur bei den Bussen ist bereits ein spürbarer Anteil von 2,1 % CNG im Bestand.

Aufbauend auf diesen Werten geht das Institut für Kraftfahrwesen der RWTH (ika) in seiner Studie davon aus, dass, je nach Szenario<sup>18</sup>, die gasbetriebenen Pkw in 2025 etwa 4 % - 6 % am Bestand ausmachen können. Bei den leichten Nutzfahrzeugen könnten dann 1 % - 4 % im Bestand sein /ika 2014/.

In einer weiteren Studie zum Einsatz von LNG in schweren Nutzfahrzeugen im Rahmen der nationalen Kraftstoffstrategie gehen die Gutachter je nach Szenario 2030 von einem fahrleistungsbezogenen LNG-Anteil von 3 % - 5 % bei Lkw >7,5 t zGG von 5 % - 20 % bei Sattelzügen aus. Von den LNG-Anteilen entfallen dabei jeweils 50 % auf Dual-Fuel-Antriebe<sup>19</sup>, die wiederum 50 % - 60 % Dieselkraftstoff ersetzen /DLR 2014/.

### **Maßnahme 1.2.1: Förderung der Marktentwicklung durch monetäre Anreize**

In der Regel bieten städtische Energieversorgungsunternehmen neben der Strom- auch die Gasversorgung an. Finanzielle Anreize könnten wie bei der Elektromobilität auch bei der Erdgasmobilität für Vertragskunden gewährt werden.

Des Weiteren hat die von der Deutschen Energie Agentur koordinierte „Initiative Erdgasmobilität“ Maßnahmen und Empfehlungen zur Marktentwicklung von Erdgasfahrzeugen formuliert /dena 2015/. U.a. wird empfohlen,

- die zunächst bis 2018 befristeten Energiesteuerermäßigung für Erdgas als Kraftstoff bis 2025 zu verlängern,
- die KfW-Förderung für Erdgastankstellen weiter zu entwickeln,
- den Neu- bzw. Ausbau von Erdgastankstellen öffentlich zu fördern sowie
- direkte Kaufanreize für Pkw mit alternativen Antrieben nur technologieoffen zu gestalten.

Darüber hinaus ist zu erwarten, dass das derzeit außer Kraft gesetzte Förderprogramm zur Anschaffung emissionsarmer schwerer Nutzfahrzeuge dann wieder aufgenommen wird, wenn am Markt verfügbare Konzepte für Gasfahrzeuge die EURO VI Norm übererfüllen.

Neben der Unterstützung der beschriebenen Forderungen sollte das Land NRW prüfen, inwieweit entsprechende Förderprogramme auch durch die NRW.Bank flankiert werden können.

---

<sup>18</sup> Konservativ, Trend, Progressiv; die Szenarien simulieren die Kaufentscheidung der Kundengruppen anhand der Pfade der Entwicklung von Kraftstoffkosten und Herstellkosten.

<sup>19</sup> Bei den verfügbaren Dual-Fuel-Antrieben gibt es derzeit noch keine verfügbare Technik, um den EURO VI Standard einhalten zu können. Bei ausreichendem Marktanteil wird diese aber entwickelt werden.



### **Maßnahme 1.2.2: Entwicklung einer Modellstadt Erdgasmobilität**

Wie bereits bei der Elektromobilität beschrieben bietet sich auch bei der Erdgasmobilität die Entwicklung einer entsprechenden Modellstadt als Schaufenster für Erdgasmobilität an. Ein Beispiel hierfür kann die Stadt Augsburg sein.

Eine entsprechende Modellstadt kann im Rahmen eines landesweiten Wettbewerbs ermittelt werden. Das Land unterstützt dann den weiteren Entwicklungsprozess.

### **Minderungspotenzial der Strategie 1.2: Förderung alternativer Kraftstoffe**

Für die Maßnahmen der Strategie „Förderung alternativer Kraftstoffe“ wurde eine Abschätzung des NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzials aufgrund der Förderung von Gasfahrzeugen durchgeführt. Wie oben erläutert, gibt es Prognosen für den Anteil der Gasfahrzeuge am Bestand in NRW, die für Pkw maximal bei 6 % und für die INfz bei maximal 4 % in 2025 liegen. Für die Nutzfahrzeuge wird ein maximaler Anteil von 5 % in 2030 prognostiziert.

Für die Strategie Förderung alternativer Kraftstoffe ist es nicht möglich, Potenzialabschätzungen für die einzelnen Maßnahmen durchzuführen, da keine Informationen dazu vorliegen, welchen Wirkung die einzelnen Maßnahmen erzielen können. Es wird für die Potenzialabschätzung unterstellt, dass die oben aufgeführten maximalen Anteile von Gasfahrzeugen am Bestand NRW bei der Umsetzung aller Maßnahmen der Strategie erreicht werden.

Ausgehend von diesen Angaben zum Anteil von Gasfahrzeugen im zukünftigen Bestand wurden unter folgenden weiteren Randbedingungen die NO<sub>x</sub>-Emissionen für den Straßenverkehr NRW ermittelt:

- In der Trendentwicklung für den Straßenverkehr sind bereits Gasfahrzeuge berücksichtigt, in 2020 ist ein Anteil von 3,3 % bei den Pkw und von 0,1 % bei den INfz vorhanden.
- Für die Berechnung des Minderungspotenzials für die verstärkte Förderung von Gasfahrzeugen wurde angenommen, dass in 2020 der Anteil Gasfahrzeuge der Pkw bei 4 %, der INfz bei 1 % und der schweren Nutzfahrzeuge und Busse bei 2 % liegt. Für 2025 wurde angenommen, dass die entsprechenden Anteile bei 6 %, 4 % bzw. 3 % liegen.
- Es wurde angenommen, dass der Anteil der Gasfahrzeuge in der Flotte genauso hoch sein wird wie im Bestand.
- Bezüglich des Emissionsverhaltens wurde angesetzt, dass die zukünftig neu zugelassenen Gasfahrzeuge NO<sub>x</sub>-Emissionen eines modernen (Euro 6) Otto-Fahrzeuges bei den Pkw und INfz und eines entsprechenden Dieselfahrzeuges bei den sNfz aufweisen. D.h. bezüglich des NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzials ergibt sich für die Nutzfahrzeuge kein Effekt. Es ist aber im Sinne einer Erhöhung der Nachfrage und damit

notwendiger verbesserter Gas-Tankstellen-Infrastruktur sinnvoll, Gasfahrzeuge insgesamt zu fördern.

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen wurden für die Jahre 2020 und 2025 die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW ermittelt und die Wirkung im Vergleich zur Trendentwicklung berechnet.

Für 2020 ergibt sich eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW von 215 t/a (0,5 %), für 2025 von 313 t/a (1,2 %).

<b>V 1.2 Strategie: Förderung alternativer Kraftstoffe und Antriebe</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Bund, NRW, Automobilindustrie, Energieversorger, Verbände		in NRW ansässige Käufer, die planen, ein neues Kfz zu erwerben (Kaufzuschuss); Städte, die sich um eine Förderung als "Modellstadt Erdgasmobilität" bewerben können	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Förderung des Markthochlaufs durch monetäre Anreize durch die NRW.Bank, flankiert durch eine Privilegierung von Wasserstoff- bzw. Erdgasautos hinsichtlich Parken und der Nutzung von Busspuren/Umweltspuren; Entwicklung einer "Modellstadt Erdgasmobilität", in der beispielhaft die Umstellung des ÖPNV, der Einsatz von Erdgastaxis, der Ausbau der Infrastruktur demonstriert wird			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung:</b> Der Kauf eines Erdgas- oder Wasserstoffautos wird i.d.R. die Alternative zum Kauf eines Neuwagens sein. In der Flotte werden daher im Rahmen der natürlichen Flottenentwicklung Elektrofahrzeuge statt Euro-6-Fahrzeuge eingemischt. Erdgasfahrzeuge emittieren deutlich weniger NO <sub>x</sub> als Diesel, jedoch vergleichbar viel wie Otto-Fahrzeuge. Wasserstoffautos emittieren kein NO <sub>x</sub> . Wenn der Wasserstoff mittels zusätzlicher erneuerbarer Energien gewonnen wird, entfallen die Emissionen der ersetzten Fahrzeuge, andernfalls fallen höhere Emissionen im Sektor Energieversorgung an.			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012/2013 (Basisfall)	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	79.989	39.754	26.675
Maßnahme	1.2.1: Förderung des Markthochlaufs durch monetäre Anreize		
Maßnahme	1.2.2: Entwicklung einer NRW Modellstadt Erdgasmobilität		
Minderung ggü. Trend [t]		215	313
Minderung ggü. Trend (Anteil)		0,5%	1,2%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	Für die Kaufprämien von 2.000 €/ Kfz sowie für Zuschüsse beim Ausbau der Infrastruktur müssen entsprechende Mittel bei der NRW.Bank zur Verfügung gestellt werden.		
Wirkung auf PM10:	Minderung durch Wegfall der motorbedingten Partikelemissionen; Emissionen aus Aufwirbelung und Abrieb bleiben unverändert.		
Wirkung auf Klima:	Wenn das erforderliche Methan/der erforderliche Wasserstoff aus zusätzlichen erneuerbaren Energien gewonnen wird, CO <sub>2</sub> -Einsparung.		
Wirkung auf Lärm	Lärminderung, da Gasmotor leiser		
Technologische Aspekte:	Technologie verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	Förderung durch das Land bedarf keiner Gesetzesänderung		
Ökonomische Aspekte:	Förderung bei der Technologieentwicklung; Investitionen werden vorgezogen; Steueraufkommenseffekte; Reduktion der externen Kosten der Luftverschmutzung		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	Förderung von alternativen Antrieben/Kraftstoffen zielt zum Teil auf das gleiche Minderungspotenzial wie Förderung der Elektromobilität		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	Finanzielle Mittel müssen zur Verfügung gestellt werden.		

Bild 5.22: Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Förderung alternativer Kraftstoffe“

### 5.3.1.3 Strategie 1.3: Weitere Flottenänderung

Im Rahmen dieser Strategie werden Maßnahmen betrachtet, mit denen die Fahrzeugflotte auf den Straßen von NRW hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens schneller mit verfügbarer Technik erneuert werden kann als dies der natürlichen Flottenentwicklung entspricht. Die hier betrachteten Maßnahmen sind technologieneutral, d.h. es spielt keine Rolle, ob die Flottenverbesserung durch eine Erhöhung des Anteils der Elektro-/Erdgasmobilität oder durch eine Erhöhung des Anteils von Fahrzeugen mit höherer Abgasnorm (Euro 6) erreicht wird. Die Maßnahmen, die hier in erster Linie auf eine beschleunigte Einführung von Euro 6 Fahrzeugen zielen, sind in Bild 5.23 dargestellt.

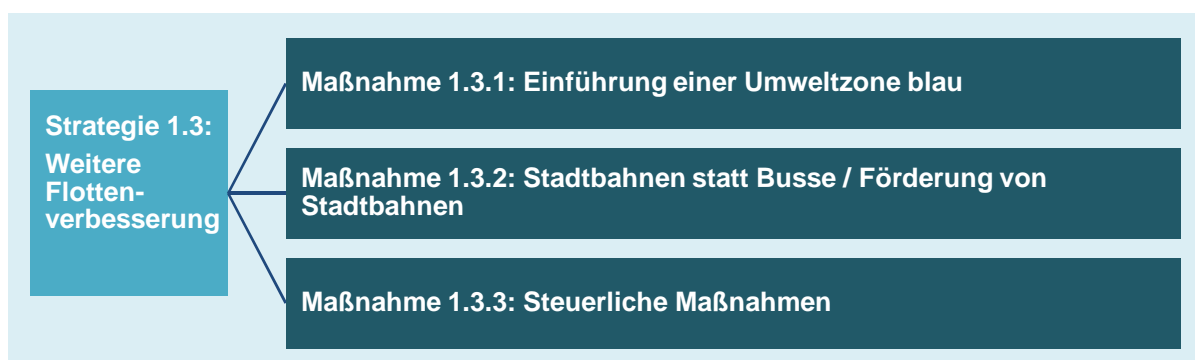


Bild 5.23: Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „weitere Flottenverbesserung“

#### Maßnahme 1.3.1: Einführung einer Umweltzone blau

Seit Januar 2015 sind die meisten Umweltzonen in NRW als „grüne Umweltzone“ realisiert. Mit zunehmendem Anteil von Euro 6 Fahrzeugen an der Fahrzeugflotte kann eine Weiterentwicklung zur „Umweltzone blau“ die Stickstoffoxidemissionen weiter senken. Die Kriterien für eine solche „blaue Plakette“ sind von der Bundesregierung festzulegen. Hier wird angenommen, dass an Verkehrsstationen mit Grenzwertüberschreitung, an denen bereits eine „Umweltzone grün“ besteht, diese zu einer „Umweltzone blau“ verschärft wird, indem zusätzlich Euro 4 und Euro 5 Dieselfahrzeuge sowie alle Otto-Fahrzeuge schlechter als Euro 3 aus dem Gebiet der Umweltzone ausgesperrt werden. Diesel-Fahrzeuge emittieren bis zu zehn Mal so viel NO<sub>x</sub> wie vergleichbare Benzinfahrzeuge. Zur Wirkungsabschätzung wird die Fahrleistung als konstant angesehen, die ausgesperrten Fahrzeuge werden so ersetzt, dass die Flottenzusammensetzung der für das betrachtete Jahr ohne die ausgesperrten Fahrzeugschichten entspricht.

Für den Ballungsraum Stuttgart wurde die Wirkung einer solchen „blauen Umweltzone“ (jedoch ohne die Aussperrung der Otto-Fahrzeuge schlechter als Euro 3) von /AVISO 2015/ untersucht. Auf Innerortsstraßen in Stuttgart wurde im Prognosejahr 2020 gegenüber dem Basisfall eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen von 44 % abgeschätzt.

### **Maßnahme 1.3.2: Stadtbahnen statt Busse / Förderung von Stadtbahnen**

Im weitesten Sinne ist auch die Förderung von Stadtbahnen eine Art der Flottenverbesserung und kann auch im Zusammenhang mit der Förderung von Elektromobilität gesehen werden. Anders als Busse haben Stadtbahnen keine motorbedingten Emissionen, sondern emittieren lediglich Feinstaub aus Aufwirbelung und Abrieb. Wird der Strom zum Betrieb der Stadtbahnen aus zusätzlichen erneuerbaren Energien gewonnen, fallen auch sonst keine weiteren Emissionen an, andernfalls gibt es Emissionen im Bereich Energieversorgung.

Von den NRW-Großstädten >100.000 Einwohner betreiben 17 Städte mit insgesamt 2,7 Mio. Einwohnern ihren ÖPNV nur mit Bussen. Wenn hier eine entsprechende Arbeitsteilung zwischen Stadtbahn und Bus wie bei den übrigen Großstädten mit Stadtbahn, technische und finanzielle Machbarkeit vorausgesetzt, bis 2025 umgesetzt werden könnte, würde sich die innerörtliche Linienbusfahrleistung in Gesamt-NRW um knapp 2 % vermindern lassen. Als Alternativen sollten auch Seilbahnen (Beispiele Meran, Bogota)<sup>20</sup> in Betracht kommen. Sie haben den großen Vorteil, dass sie unabhängig vom Straßennetz geführt werden, und somit zusätzlich zur Verbesserung des innerstädtischen Verkehrsablaufs beitragen.

Im Rahmen des GVFG-Bundesprogramms (Gemeindeverkehrsfinanzierungsgesetz) können kommunale Verkehrsprojekte, wie z.B. Stadtbahnen, durch den Bund gefördert werden. Die Landesregierung kann darauf hinarbeiten, dieses Programm auszuweiten, speziell unter Berücksichtigung von Aspekten der Luftreinhaltung. Daneben kann das Land die relevanten Kommunen motivieren und Machbarkeitsstudien fördern.

### **Maßnahme 1.3.3: Steuerliche Maßnahmen**

- Höhere Besteuerung für Dieselmotorkraftstoff

Derzeit ist die Besteuerung für Dieselmotorkraftstoff (47,04 ct/l bzw. 4,7 ct/kWh) deutlich geringer als für Benzin (65,45 ct/l bzw. 7,3 ct/kWh), die Kfz-Steuer für Diesel-Pkw aber höher als für Otto-Pkw. Wie die Zunahme des Anteils der Diesel-Pkw an den Neuzulassungen zeigt, scheint die höhere Kfz-Steuer bei der Kaufentscheidung jedoch keine wichtige Rolle zu spielen, entscheidend scheint eher der geringere Tankstellenpreis zu sein. Dennoch ist z.B. auch in der Schweiz, trotz nahezu gleicher Tankstellenpreise für Benzin und Diesel, der weitverbreitete Dieselboom der letzten Jahre festzustellen. Es gibt offensichtlich auch andere Kaufargumente (z. B. der geringere Verbrauch), die eher subjektiven Kriterien folgen. Daher ist eine Quantifizierung des Effektes auf die Pkw-Flotte schwierig.

Durch eine Erhöhung der Steuer auf Dieselmotorkraftstoff auf das Niveau von Ottomotorkraftstoffen, bei gleichzeitiger Absenkung der Kfz-Steuer, würde theoretisch ein Anreiz zum Kauf der Diesel-Pkw wegfallen; dennoch zeigt das Beispiel Schweiz,

<sup>20</sup> In Aachen wurden entsprechende Überlegungen im Zusammenhang mit der Campusbahn angestellt

dass dieser Ansatz nicht immer funktioniert. Hierdurch würde sich der Tankstellenpreis für Diesel spürbar erhöhen und sich positiv auf die weitere Entwicklung der Flottenzusammensetzung der Pkw in Richtung Otto- bzw. alternativ angetriebene Fahrzeuge auswirken.

Eine Erhöhung der Dieselsteuer kann auf Basis der Energiesteuerrichtlinie 2003/96/EG erfolgen. Dabei ist zu beachten, dass die Erhöhung der Dieselsteuer insbesondere die Transportkosten im schweren Nutzfahrzeugverkehr erhöht, die, so steht zu vermuten, an den Endverbraucher weiter gegeben werden.

- Dienstwagenbesteuerung

In NRW waren am 01.01.2013 10 % der insgesamt ca. 9,3 Mio. Pkw gewerblich zugelassen. Der Anteil der gewerblichen Neuzulassungen lag in 2013 bei 41 %. Nach Berechnungen von Öko-Institut und DLR-IVF ist aber eher von einem Anteil „echter“ Dienstwagen an den Neuzulassungen von 18 % auszugehen /Öko 2009/. Die Bestandszusammensetzung der Dienstwagen hebt sich doch deutlich vom übrigen Bestand ab. So liegt der Dieselanteil gemäß einer anderen Untersuchung des Öko-Instituts bei 60 % (46 % obere Mittelklasse, Oberklasse, SUV) /Öko 2011/. Im oberen Dieselsegment sind die spezifischen Jahresfahrleistungen dann auch am höchsten. Insgesamt kommt man mit den genannten Annahmen zum Dienstwagenbestand in NRW auf eine Jahresfahrleistung von etwas über 6,5 Mrd. Pkw-km/a. Diese wird natürlich nicht nur in NRW gefahren. Man kann aber davon ausgehen, dass die Fahrleistung, die außerhalb von NRW erbracht wird, von der Fahrleistung nicht in NRW zugelassener Dienstwagen in NRW kompensiert wird. Die berechnete Jahresfahrleistung der Dienstwagen liegt somit bei knapp 5 % der für 2013 im Rahmen des landesweiten Emissionskatasters Kfz-Verkehr NRW ermittelten Pkw-Fahrleistung /AVISO 2014/. Neueste Trends weisen auf einen langsamen Wandel hin zu kleineren und saubereren Dienstwagen, was einerseits dem gestiegenen ökologischen Verantwortungsbewusstsein sowie auch ökonomischen Sparzwängen geschuldet ist. Zudem nimmt die Bedeutung der Dienstwagen bei Geschäftsreisen in Zukunft zugunsten von Carsharing und Bahnangeboten immer mehr ab /DB-AG 2015/. Diese Trends sollen durch eine angepasste Dienstwagenbesteuerung gestützt und weiter forciert werden.

Die aktuelle Dienstwagenbesteuerung erlaubt den vollen Steuerabzug der Anschaffungs- und Betriebskosten auf der Betriebsseite, während der Nutzer den geldwerten Vorteil, unabhängig von der privaten Nutzung, mit monatlich 1 % des Bruttolistenpreises (zzgl. einer Entfernungspauschale von 0,03 % des Bruttolistenpreises je km) zu versteuern hat. Aufgrund der höheren Anschaffungskosten von Elektrofahrzeugen darf der Bruttolistenpreis in Abhängigkeit der Batteriekapazität bis 2023 degressiv gemindert werden.

Vorschläge für eine Steuerreform sehen vor, sowohl auf betrieblicher Seite die steuerliche Absetzbarkeit von Anschaffungs- und Betriebskosten als auch auf privater

Seit die Besteuerung des geldwerten Vorteils an der Euronorm und am CO<sub>2</sub>-Ausstoß mit einer zeitlichen Staffelung auszurichten, ohne die grundlegenden steuerlichen Ansätze des Einkommens- und Unternehmenssteuergesetzes zu verlassen /LAI 2010/ und /ffu 2013/.

Zu den beschriebenen Maßnahmen sind die entsprechenden Bundesgesetze anzupassen. Entsprechende konzertierte Länderinitiativen sollten seitens NRW forciert werden.

### **Minderungspotenzial der Strategie 1.3: Beschleunigte Flottenänderung**

Zur Abschätzung des NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzials für die Strategie „beschleunigte Flottenänderung“ wird die Wirkung

- einer weiteren Verschärfung der Umweltzonenregelung,
- einer Förderung von Stadtbahnen sowie
- einer emissionsorientierten Änderung der Dienstwagenbesteuerung

untersucht.

Die Verschärfung der Umweltzonenregelung findet dabei nur in den Gebieten in NRW statt, die heute bereits eine Umweltzone eingeführt haben. Es wurde von folgenden Randbedingungen ausgegangen:

- Nur in den Gebieten, die bereits heute eine Umweltzone haben, wurde die Verschärfung auf die sogenannte blaue Umweltzone angenommen.
- Es wurden alle Dieselfahrzeuge schlechter Euro 6 und alle Otto-Fahrzeuge schlechter Euro 3 ausgesperrt. Die Verteilung der Euro 6 Dieselfahrzeuge auf Euro 6 und Euro 6c wurde wie in der Trendentwicklung (s. Abschnitt 5.2.1.4) nach HBEFA3.2 angesetzt.
- Die Fahrleistung wurde als konstant angesehen.
- Es wurde angenommen, dass die ausgesperrten Fahrzeuge so ersetzt werden, dass die Flottenzusammensetzung sich durch Umschichtung der nicht ausgesperrten Flottenanteile ergibt.

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen wurden für die Jahre 2020 und 2025 die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW ermittelt und die Wirkung der „blauen Umweltzone“ im Vergleich zur Trendentwicklung berechnet.

Während die Wirkung der blauen Umweltzone auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen, bilanziert für die Umweltzonengebiete, vergleichsweise hoch liegt (2020: -55 %, 2025: -37 %), liegen die entsprechenden Minderungen für NRW gesamt deutlich niedriger. Für 2020 ergibt sich eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW von 2.405 t/a (6,1 %), für 2025 von 1.013 t/a (3,8 %).

Die Förderung und Umsetzung von Stadtbahnen wurde in Städten >100.000 Einwohner simuliert, die heute lediglich ein Bussystem bereitstellen. Die Abschätzung erfolgte anhand der mittleren Aufteilung der Betriebsleistungen von Bus und Stadtbahn der Städte, die bereits über ein derartiges kombiniertes Angebot verfügen. Insgesamt ergibt sich durch den System-Shift eine Reduktion der innerörtlichen Bus-Fahrleistung in NRW von 1,7 %. Bezogen auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen lässt sich für 2025 eine Minderung von 16 t/a (0,1 %) abschätzen. Für 2020 wird aufgrund der langen Planungs- und Realisierungszeiten keine Minderung angenommen.

Die Abschätzung der Wirkung einer emissionsorientierten Änderung der Dienstwagenbesteuerung erfolgte unter folgenden Randbedingungen:

- Der Anteil der Dienstwagen an der Pkw-Fahrleistung in NRW liegt bei knapp über 5 %.
- Aktuell verteilt sich die Dienstwagen-Fahrleistung zu 16 % auf Otto- und zu 84 % auf Diesel-Fahrzeuge. Es wurde angenommen, dass durch eine emissionsorientierte Änderung der Dienstwagenbesteuerung sich dieses Verhältnis dem der gesamten Pkw-Flotte angleicht.

Unter diesen Randbedingungen ergibt sich für diese Einzelmaßnahme für 2020 eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW von 463 t/a (1,2 %) und für 2025 von 281 t/a (1,1 %).

Für 2020 ergibt sich insgesamt eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW der hier betrachteten Maßnahmen von 2.868 t/a (7,2 %) und für 2025 von 1.310 t/a (4,9 %), wobei ein Stadtbahnausbau bezüglich der NO<sub>x</sub>-Minderung zu vernachlässigen ist.

<b>V 1.3 Strategie: Weitere Flottenverbesserung</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Bund, NRW, Kommunen, Verkehrsunternehmen, Verbände		Private und gewerbliche Kfz-Inhaber, öffentliche Verwaltung und Nahverkehrsunternehmen	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Schnellere Erneuerung der Fahrzeugflotte auf den Straßen von NRW hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens, als dies der "natürlichen" Flottenentwicklung entspricht. Die wichtigste Maßnahme zur Umsetzung dieser Strategie ist die Weiterentwicklung des Instruments Umweltzone ("Blaue Plakette"), flankiert werden kann sie durch die parallele Verbesserung der öffentlichen Fuhrparke (Vorbildwirkung), die auch die Einführung von Stadtbahnen einschließen kann, sowie eine Erhöhung der Dieselsteuer und emissionsorientierte Reform der Dienstwagenbesteuerung			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung:</b> Die Wirkung von grünen Umweltzonen (Aussperrung aller Fahrzeuge ohne grüne Plakette) ist nachweisbar, wird aber in Zukunft geringer, da durch die natürliche Entwicklung der Fahrzeugflotte immer weniger Fahrzeuge ausgesperrt werden. Durch Aussperrung zusätzlicher Fahrzeugkonzepte (Diesel vor Euro-6) werden zusätzliche Wirkungen erzielt.			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012/2013 (Basisfall)	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	79.989	39.754	26.675
Maßnahme	1.3.1 Einführung einer Umweltzone blau		
Minderung ggü. Trend [t]		2.405	1.013
Minderung ggü. Trend (Anteil)		6,1%	3,8%
Maßnahme	1.3.3 Steuerliche Maßnahmen		
Minderung ggü. Trend [t]		463	281
Minderung ggü. Trend (Anteil)		1,2%	1,1%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	"Blaue Umweltzone": Kosten für Kommunen: Anpassung der Beschilderung; Kosten für Fahrzeughalter: wenn nötig: Anschaffung von Ersatzfahrzeugen / Nachrüstung, Kosten für neue Plakette; flankierend: Kosten für Verbesserung der öffentlichen Fuhrparke oder für Einführung von Stadtbahnen		
Wirkung auf PM10:	Minderung der motorbedingten Partikelemissionen, da auch diese höheren Euronormstufen unterliegen; Emissionen aus Aufwirbelung und Abrieb bleiben unverändert		
Wirkung auf Klima:	gering		
Wirkung auf Lärm	gering		
Technologische Aspekte:	Technologie verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	Kriterien für "Blaue Plakette" sind von der Bundesregierung festzulegen, die 35. BImSchV (Verordnung zur Kennzeichnung der Kraftfahrzeuge mit geringem Beitrag zur Schadstoffbelastung) muss entsprechend angepasst werden, der Bund kann ebenso die Dieselsteuer erhöhen und die Dienstwagenbesteuerung anpassen		
Ökonomische Aspekte:	Investitionen werden vorgezogen; bei Stadtbahnausbau hohe Investitionen erforderlich, die im europaweiten Wettbewerb ausgeschrieben werden müssen; Steueraufkommenseffekte; Reduktion der externen Kosten der Luftverschmutzung		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	Anreize zur Verbesserung der öffentlichen Fuhrparke zielen zum Teil auf das gleiche Einsparpotenzial wie Anreize zur Förderung von Elektromobilität oder alternativen Kraftstoffen im Bereich der öffentlichen Fuhrparke		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	NRW kann mittelbar auf Bundesregierung einwirken.		

Bild 5.24: Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „weitere Flottenverbesserung“



### 5.3.2 Handlungsfeld 2: Verkehrsverlagerung, Verkehrsvermeidung

In diesem Handlungsfeld werden Strategien untersucht, die zur Verlagerung von Verkehr auf Verkehrsträger führen, die weniger NO<sub>x</sub>-Emissionen verursachen. Weiterhin wird eine Strategie zur Vermeidung von Verkehr, insbesondere im innerstädtischen Bereich, entwickelt. Die Strategien sind in Bild 5.25 dargestellt.

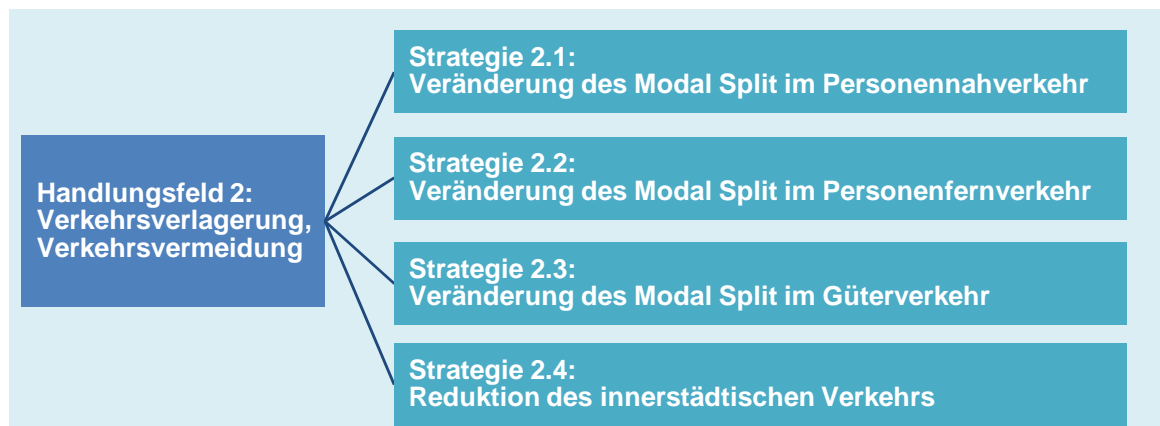


Bild 5.25: Minderungsstrategien im Handlungsfeld „Verkehrsverlagerung, Verkehrsvermeidung“

#### 5.3.2.1 Strategie 2.1: Veränderung des Modal Split im Personennahverkehr

Im Bereich der Nahmobilität geht es darum, Verlagerungen vom MIV insbesondere zum Fußverkehr und zum Radverkehr zu bewirken. Für den idealen Modal Split nach dem Aktionsplan „Förderung der Nahmobilität NRW“ /MWEBWV 2012/ sollte demnach ein Fußwegeanteil von 30 % (im Entfernungsbereich bis 3 km) und ein Radverkehrsanteil von insgesamt 25 % (20 % Fahrrad im Entfernungsbereich bis 7 km, 5 % Pedelec im Entfernungsbereich darüber) angestrebt werden, wie in Bild 5.26 dargestellt.

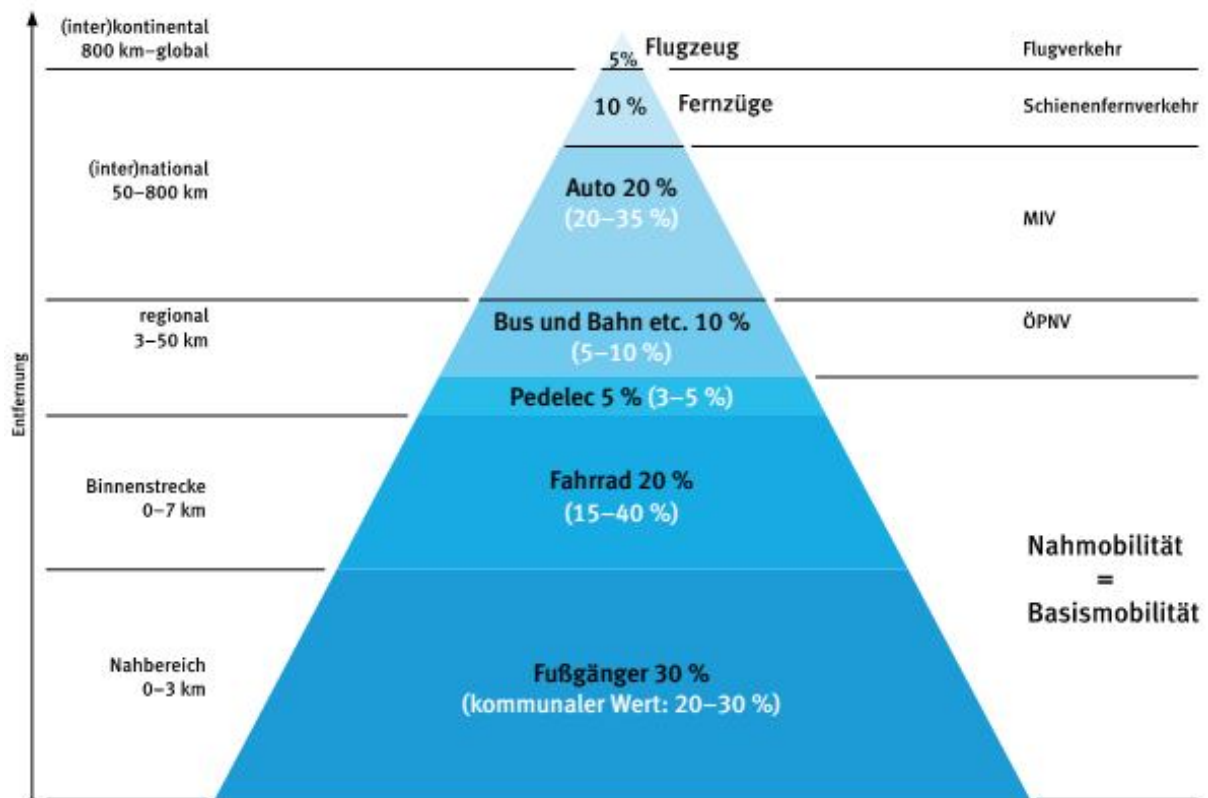


Bild 5.26: Idealer Modal Split nach dem Aktionsplan „Förderung der Nahmobilität NRW“ (wegebezogen); Bildquelle: /MWEBWV 2012/

### Ausgangssituation in NRW

Nach den neuesten Erkenntnissen der TU Dresden im Rahmen der regelmäßig durchgeführten Erhebungen zur Mobilität in Städten – SrV 2013 lassen sich nachfolgend dargestellte Befunde zum Stadtverkehr in NRW zusammenfassen /TU Dresden 2015/.

Insgesamt haben an den Erhebungen 3 Großstädte (Düsseldorf, Bochum und Neuss) sowie 13 Mittelstädte teilgenommen. Die dargestellten Ergebnisse beziehen sich jeweils auf die beiden Gruppen.

Bezogen auf die Wegehäufigkeit liegt demnach der Fußwegeanteil in Mittelstädten bei 24 %, in Großstädten bei 29 %. Der Radverkehrsanteil schwankt zwischen 10 % in Mittelstädten und 13 % in Großstädten. Der MIV-Anteil ist in Großstädten mit 44 % deutlich niedriger als in Mittelstädten mit 58 %. Dementsprechend kehrt sich das Verhältnis beim öffentlichen Verkehr um. Hier liegt der Anteil bei Großstädten im Mittel bei 14 %, in Mittelstädten bei 8 %. Verkehrsleistungsbezogen verschieben sich die Anteile deutlich hin zu den Verkehrsmitteln mit den größeren Wegeentfernungen (MIV und ÖPNV).

Die beschriebenen Ergebnisse sind in Bild 5.27 zusammengestellt.

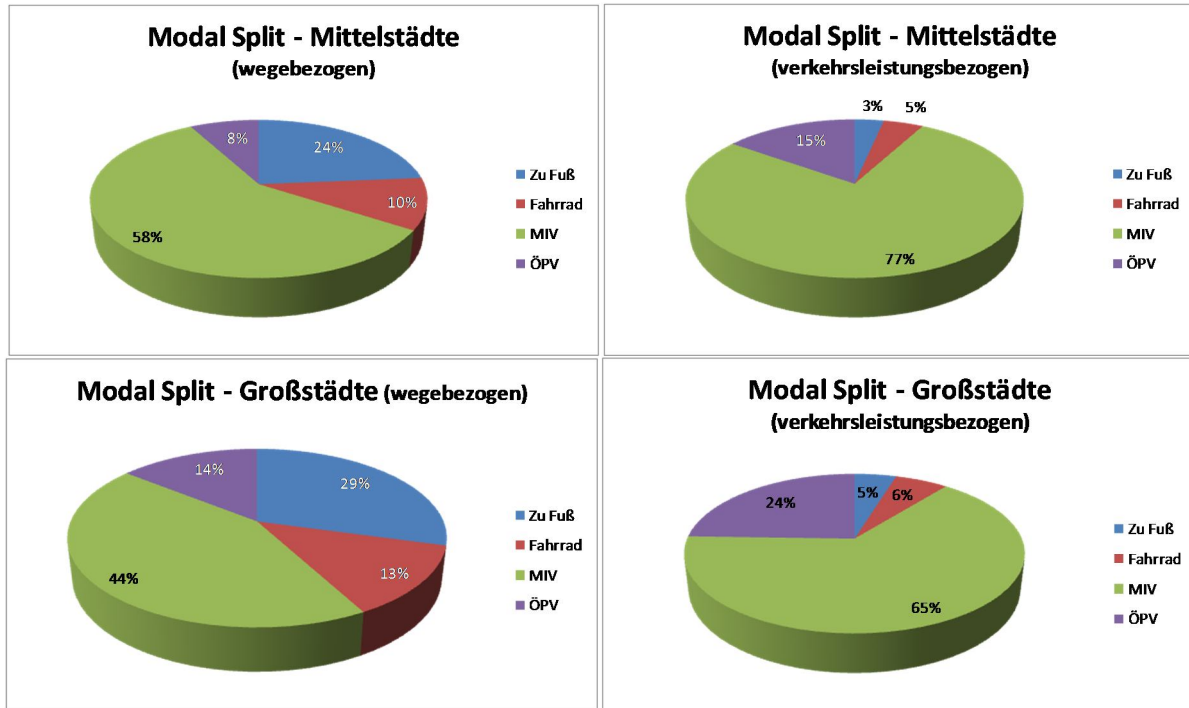


Bild 5.27: Modal Split Verteilungen (wege- und verkehrsleistungsbezogen) für Mittel- und Großstädte in NRW 2013; nach /TU Dresden 2015/

Die entsprechenden (kumulativen) Verteilungen in den einzelnen Entfernungsbereichen zeigt Bild 5.28.

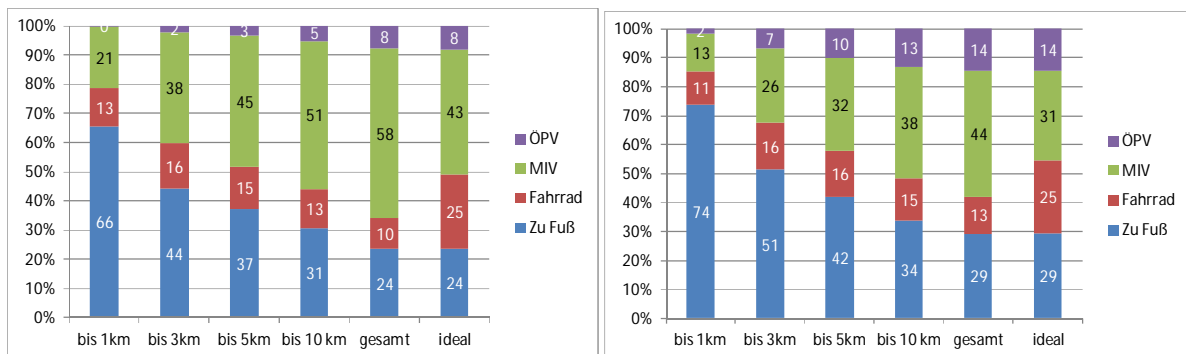


Bild 5.28: Kumulative Modal Split Verteilungen (wegebezogen) für einzelne Entfernungsbereiche für Mittelstädte (links) und Großstädte (rechts) in NRW 2013; nach /TU Dresden 2015/, sowie Vergleich der mittleren mit den Verteilungen, die sich aus der Steigerung des Radverkehrsanteils auf 25 % und entsprechender Absenkung des Anteils des MIV ergeben

Bei den Wegen bis 5 km entfallen auf den MIV in Mittelstädten 45 % und in Großstädten 32 %. Würde man den jeweiligen Radverkehrsanteil bis auf 25 % steigern, so würden die

MIV-Anteile in Mittelstädten von 58 % auf 43 %, in Großstädten von 44 % auf 31 % zurück gedrängt werden können.

Für die Abschätzung der Fahrleistungsreduktionen im MIV werden die in Bild 5.29 dargestellten mittleren modalen Wegelängen zugrundegelegt.

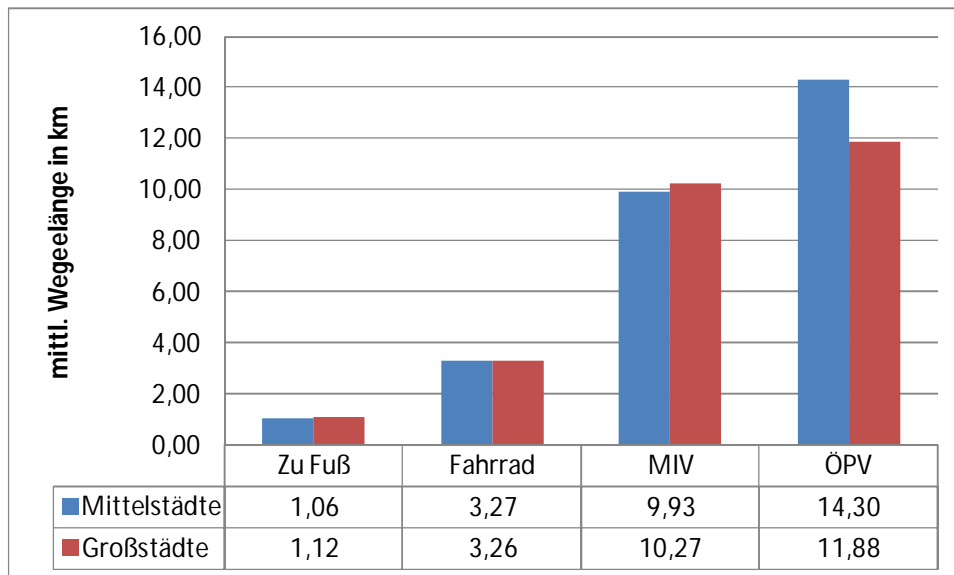


Bild 5.29: Mittlere modale Wegelängen für Mittel- und Großstädte in NRW 2013; nach /TU Dresden 2015/

Die im Rahmen dieser Strategie betrachteten Maßnahmen sind in Bild 5.30 dargestellt. Sie stellen wesentliche Elemente sowohl eines kommunalen als auch eines betrieblichen Mobilitätsmanagements dar.

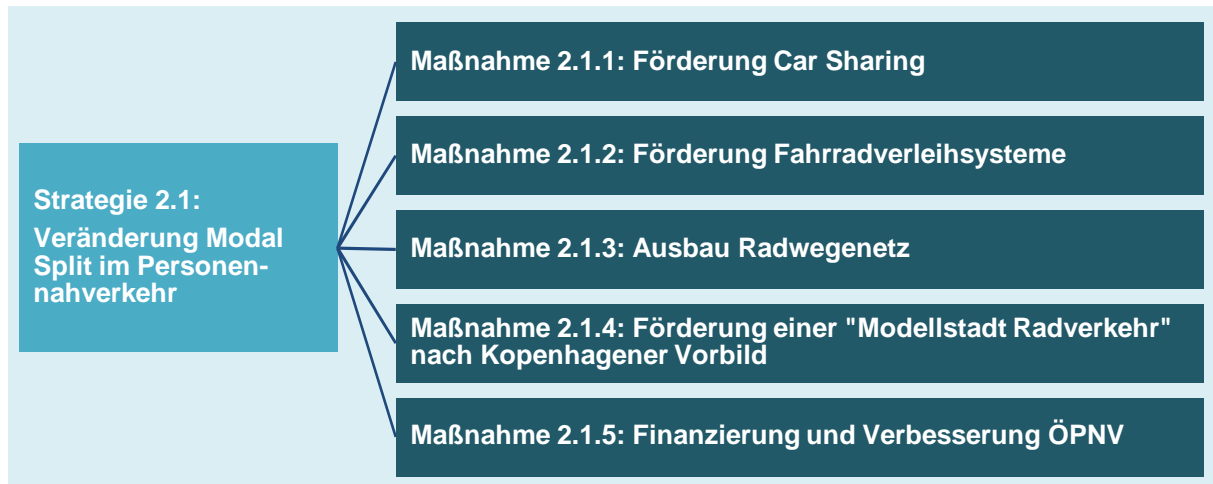


Bild 5.30: Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Veränderung Modal Split im Personennahverkehr“

Jeweils für sich genommen werden die betrachteten Maßnahmen nicht unbedingt zu einer merklichen Veränderung des Modal Split führen. Erst durch ihr Zusammenwirken wird eine deutliche Attraktivitätssteigerung des „Umweltverbunds“ erreicht. Deshalb ist hier die Maßnahme „Förderung einer ‚Modellstadt Radverkehr‘“ besonders hervorzuheben.

### Maßnahme 2.1.1: Förderung Car Sharing

Von Car Sharing Mitgliedern wird der Pkw nicht automatisch genutzt, sondern bewusst für bestimmte Wege (je nach Streckenlänge, Transport, Wetter, ...) eingesetzt. Aktuell wird Car Sharing entweder über ein stationsgebundenes System mit fußläufig gut erreichbaren Stationen oder als flexibles Car Sharing (nicht an Stationen gebunden) angeboten. Bei beiden Systemen wird die Information über die aktuellen Standorte verfügbarer Fahrzeuge sowie die Buchung über Internet und Smartphone ermöglicht.

Damit Car Sharing als Ersatz für das eigene Auto attraktiv ist, sollte es flexibel nutzbar und mit anderen Verkehrsträgern wie ÖPNV, Rad- und Fußverkehr vernetzt sein. In Hamburg, Hannover, Düsseldorf oder Köln gibt es z.B. Kooperationsmodelle mit dem ÖPNV, in Bremen und Offenburg ist es in kommunale Verkehrskonzepte integriert /FGSV 2014a/.

Laut Handbuch „Car Sharing Nordrhein-Westfalen“ /imove 2014/ ersetzt ein Car Sharing Fahrzeug 4 - 8 private Pkw. Dabei ist in Bezug auf die NO<sub>x</sub>-Minderung nicht nur der Fahrleistungsreduktionseffekt, sondern auch durch die Verlagerung auf i.d.R. kleinere Fahrzeuggrößen ein zusätzlicher Flotteneffekt möglich. Zudem zeigen die jährlichen Zuwachsraten bei Nutzern und Fahrzeugen eine deutlich exponentielle Tendenz, wie Bild 5.31 zeigt.

Von den derzeit ca. 1 Mio. Fahrberechtigten in Deutschland entfallen 380.000 (bzw. 9.000 Fahrzeuge) auf stationsgebundene und 660.000 (bzw. 6.400 Fahrzeuge) auf stationsungebundene Angebote. Damit liegt das Nutzungspotenzial stationsunabhängiger Fahrzeuge mehr als doppelt so hoch wie bei den stationsgebundenen Fahrzeugen. Der Bundes-

verband CarSharing geht in seiner aktuellen Prognose von einer Verdoppelung der Fahrberechtigten bis 2020 aus /bcs 2015/.

Als Maßnahme sollten die rechtlichen Rahmenbedingungen, z.B. in Bezug auf eine weitere Privilegierung, geschaffen werden, um die Nutzung von Car Sharing auszuweiten und optimal mit ÖPNV, Rad- und Fußverkehr zu verknüpfen. Dabei ist auch besonderes Augenmerk auf die weitere Ausweitung des Car Sharing auf gewerbliche Kunden, auf die Entwicklung anbieterunabhängiger Zahlensysteme sowie die Schaffung rechtlicher Randbedingungen für privates Car Sharing zu legen.

Die Einbeziehung von reinen Elektrofahrzeugen in Car Sharing Flotten ist derzeit aufgrund der hohen Nutzungshäufigkeit und der auch häufigeren längeren Reiseweiten noch begrenzt.

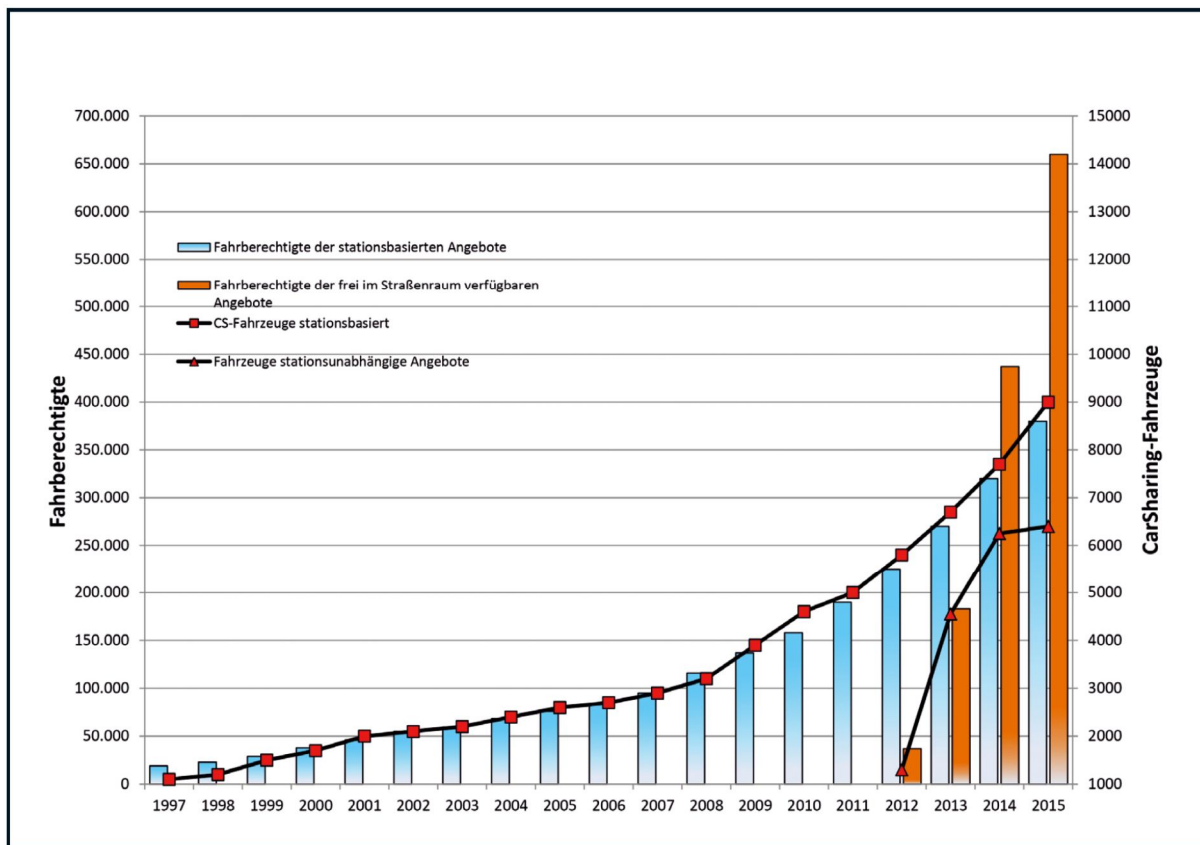


Bild 5.31: Car Sharing Wachstum in Deutschland getrennt nach stationsbasiert und stationsunabhängig /bcs 2015/

**Maßnahme 2.1.2: Förderung Fahrradverleihsysteme**

Bei Fahrradverleihsystemen stehen entweder an fest definierten Fahrradstationen oder an flexiblen Standorten (Verfügbarkeit von freien Fahrrädern kann z.B. über webbasierte Information mobil abgerufen werden) Fahrräder zur kurzfristigen Ausleihe zur Verfügung /FGSV 2014a/. Dabei können sie innerhalb des Systemgebietes an einem anderen Standort

als dem Ort der Ausleihe wieder zurückgegeben werden (One-Way-Fähigkeit). Häufig sind sie mit weiteren Dienstleistungsangeboten wie Radstationen an Bahnhöfen oder Service- und Reparaturangeboten verbunden. Es gibt auch Kooperationen mit Anbietern im ÖPNV, den entsprechenden Kommunen oder mit den Systemanbietern wie DB-Rent (Call-a-Bike) oder nextbike. Damit sind Fahrradverleihsysteme ein wichtiger Bestandteil der Vernetzung der Verkehrsträger im Umweltverbund und Teil der Zielerreichung eines idealen Radsplits von 25 % (einschl. Pedelecs).

### **Maßnahme 2.1.3: Ausbau Radwegenetz**

In vielen Kommunen gibt es zu wenige oder zu schmale Radwege / Fahrradstreifen. Hier kann der Ausbau des Radwegenetzes die Attraktivität des Radverkehrs steigern.

Die Haupttrouten für Fahrradfahrer auf größeren Distanzen können zu Radschnellwegen ausgebaut werden. Radschnellwege dienen der leistungsstarken und schnellen Abwicklung größerer Radverkehrsmengen und weisen besonders hohe Qualitätsstandards hinsichtlich Linienführung, Ausgestaltung, der Netzverknüpfung und begleitender Ausstattung auf. Die Arbeitsgemeinschaft fußgänger- und fahrradfreundlicher Städte, Gemeinden und Kreise in NRW e.V. (AGFS) hat 2015 einen Leitfaden für die Planung von Radschnellwegen herausgegeben /AGFS 2015/.

Generell ist davon auszugehen, dass weiträumige Radschnellwege den Kauf und die Nutzung von Pedelecs/E-Bikes für größere Entfernungen und unterschiedliche Fahrtzwecke weiter befördern und damit auch zu einer weiteren Zielerreichung des idealen Modal Split im mittleren Wegelängenbereich beitragen und insbesondere den Berufsverkehr und damit die Verkehrsspitzen weiter entlasten können. Der E-Bike-Verkauf hat in den letzten 5 Jahren an Dynamik zugenommen. Der Verband der Zweirad-Industrie ZIV weist für 2014 einen Verkauf von bundesweit 480.000 E-Bikes aus, wovon 95 % Pedelecs (mit bis zu 250 Watt und einer Höchstgeschwindigkeit bis 25 km/h) waren. Die Prognose des Verbandes für 2015 liegt bei 520.000, womit insgesamt seit 2009 knapp 2,5 Mio. E-Bikes verkauft worden sind. Die leistungsstärkeren E-Bikes mit Motoren über 250-500 Watt und Geschwindigkeiten bis 45 km/h gelten im Sinne der Zulassung als Kleinkrafträder und bedürfen bei der Radwegnutzung i.d.R. einer Freigabe durch ein Zusatzzeichen „E-Bikes frei“. Hier wird an einer Überarbeitung der StVO gearbeitet.

Für NRW ist derzeit der Radschnellweg RS1 geplant. Dieser ca. 100 km lange Radschnellweg soll für Berufspendler eine attraktive Verbindung zwischen den Städten Duisburg, Mülheim, Essen, Gelsenkirchen, Bochum, Dortmund und Hamm bieten. Im November 2015 wurde das Teilstück Mülheim – Essen eröffnet.

Weitere Radschnellwege in NRW sind in Aachen (30 km), Düsseldorf (31 km), Bad Oeynhausen (36 km), Köln (8 km) und Rhede (45 km) geplant. Es handelt sich dabei um die Gewinnerprojekte eines Planungswettbewerbs der Landesregierung, deren Planung von der Landesregierung gefördert wird.

Als Maßnahme zur Förderung des Radwegenetzes kann das Land die Planung weiterer Radschnellwege auch anderer Gebietskörperschaften unterstützen und auch Zuschüsse für den Bau bereitstellen. Nach den Richtlinien zur Förderung des kommunalen Straßenbaus (Förderrichtlinien kommunaler Straßenbau – FöRi-kom-Stra) können auch Radwege im Zusammenhang mit dem Aus- und Umbau verkehrswichtiger Straßen vom Land gefördert werden.

Zudem kann eine von der SPD-Landtagsfraktion ins Spiel gebrachte Kaufprämie für E-Bikes von 250 € die positive Verkaufsentwicklung weiter stützen bzw. forcieren. Da sich aber bislang auch ohne finanzielle Förderung die Verkaufszahlen sehr positiv entwickeln, wäre zu überlegen, die angedachte Förderung eher in die Entwicklung öffentlicher Ladeinfrastruktur und sicherer und überdachter Abstellanlagen zu investieren.

Die Freigabe weiterer Radwege in Verbindung mit dem Ausbau des Rad(schnell)wegenetzes und ggf. einer finanziellen Förderung für Kauf und/oder Infrastrukturausstattung kann einen wichtigen Beitrag zur Zielerreichung eines Radverkehrsanteils von 25 % leisten.

#### **Maßnahme 2.1.4: Förderung einer „Modellstadt Radverkehr“ nach Kopenhagener Vorbild**

Kopenhagen gilt als eine der fahrradfreundlichsten Städte weltweit. Dies wurde durch einen konsequenten Umbau der Infrastruktur zugunsten des Radverkehrs innerhalb von nur 10 Jahren erreicht. Es gibt ein gut ausgebautes Radwegenetz, die meisten Radwege sind breit (> 3m) angelegt und durch Borde abgetrennt, außerdem gibt es Radschnellwege für Pendler. Die Post liefert Briefe und Pakete mittels elektrischer Lastenräder aus und es gibt Fahrradtaxi. Um auch Pendler zum Radfahren zu bringen, ist der Radverkehr gut mit dem Schienenverkehr verknüpft und es gibt ein Fahrradverleihsystem. Die Signalisierung ist zugunsten des Radverkehrs optimiert und straßenseitig informieren Leuchtdioden über die Erreichung der Grünphase der nächsten Lichtsignalanlage. Bei der dänischen Fahrrad-Botschaft gibt es zahlreiche Beratungsangebote.

Als Folge pendelten bereits 2012 36 % der Einwohner Kopenhagens zur Arbeit, Schule oder Universität mit dem Rad, es ist geplant, den Anteil bis 2015 auf 50 % zu steigern /CED 2012/.

Die Anpassung der Signalisierung zugunsten des Rad- und Fußverkehrs wird auch als Einzelmaßnahme zur Förderung des Radverkehrs häufig genannt, macht sie doch diese Verkehrsarten gegenüber dem MIV attraktiver. Es ist jedoch zu beachten, dass dadurch der Verkehrsfluss des MIV zum Teil erheblich beeinträchtigt werden kann. Dies ist im Einzelfall zu prüfen. Solange der Modal Split nicht durch ein Gesamtpaket an Maßnahmen stark zugunsten des Radverkehrs verschoben wird, führen häufigere Anfahrvorgänge vor LSA zu einer Erhöhung der Emissionen des MIV.



In Kopenhagen hat insbesondere der starke Rückhalt in der Bevölkerung den Erfolg des Umbaus zur Modellstadt Radverkehr begünstigt. Als Maßnahme zur Förderung des Radverkehrs kann die Landesregierung NRW mittels eines Wettbewerbs eine geeignete Stadt in NRW ermitteln und den Umbau zu einer Modellstadt Radverkehr in NRW fördern.

### **Maßnahme 2.1.5: Finanzierung und Verbesserung ÖPNV**

Ein gut ausgebauter und an den Fernverkehr sowie den Radverkehr gut angebundener ÖPNV ist ein wichtiger Bestandteil des Umweltverbunds, auch wenn er häufig nicht kostendeckend betrieben werden kann. Angesichts knapper Kassen in den Kommunen sind diese zum Teil auf staatliche Kofinanzierung durch Bundesmittel angewiesen. Zur Förderung des ÖPNV kann die Landesregierung darauf hinarbeiten, dass diese im Rahmen des Bundesregionalisierungsgesetzes stärker als bisher bedarfsentsprechend fortgeschrieben wird.

Neben der Sicherstellung der Erhaltung des Status quo kann die Landesregierung auch finanzielle Anreize zur Förderung des weiteren Ausbaus des ÖPNV leisten. Dies betrifft u.a. die Beseitigung von Engpässen im Netz, Taktverdichtungen, den Einsatz von Doppelstockwagen oder die Einrichtung von Rufbussen im ländlichen Raum.

Das Land NRW fördert den ÖPNV und dabei insbesondere den Schienenpersonennahverkehr mit rund 1,4 bis 1,5 Milliarden Euro jährlich. Die Fördermittel wurden zu drei Pauschalen bzw. pauschalierten Zuwendungen zusammengefasst /MBWSV 2015b/:

- Die ÖPNV-Pauschale beinhaltet die ehemalige Aufgabenträgerpauschale für Kreise und kreisfreie Städte, die Fahrzeugförderung im kommunalen ÖPNV sowie ab 2011 die Ausgleichsleistungen im Ausbildungsverkehr. (seit 2008: 110 Mio. Euro/Jahr).
- Die SPNV-Pauschale fasst die Mittel zur Finanzierung des SPNV-Leistungsangebotes sowie die Aufgabenträgerpauschale SPNV (Fördervolumen rund 800 Mio. Euro/Jahr) zusammen.
- Mit der pauschalierten Investitionsförderung wird ein Teil der Zuwendungen des Landes für ÖPNV-Infrastrukturinvestitionen (mindestens 150 Mio. Euro/Jahr) finanziert.

### **Minderungspotenzial der Strategie 2.1: Veränderung des Modal Split im Personennahverkehr**

Das NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial für die Strategie „Veränderung des Modal Split im Personennahverkehr“ wurde für folgenden Einzelmaßnahmen bzw. Maßnahmenbündel ermittelt:

- Förderung Car-Sharing
- Förderung Radverkehr

Es wurde für die Berechnungen von den folgenden Randbedingungen ausgegangen:

#### Car-Sharing:

- Durch die weitere Förderung von Car-Sharing können bis 2020 182 Mio. Pkw-km/ und bis 2025 299 Mio. Pkw-km/a in NRW im Vergleich zur Trendentwicklung entfallen.

#### Radverkehr:

- Wenn die Zielvorgabe 25 % Anteil Radverkehr am Modal Split für den Innerortsbereich bis 2025 in NRW erreicht wird, dann führt dies zu einer Reduktion der innerörtliche Pkw-Fahrleistung von 2.912 Mio. Pkw-km/a in 2020 und von 5.824 Mio. Pkw-km/a in 2025 im Vergleich zur Trendentwicklung.

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen wurden für die Jahre 2020 und 2025 die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW ermittelt und die Wirkung der einzelnen Maßnahmen im Vergleich zur Trendentwicklung ausgewiesen. Im Einzelnen wurden die folgenden NO<sub>x</sub>-Minderungen berechnet:

- Förderung Car-Sharing: für 2020 40 t/a (0,1 %), für 2025 45 t/a (0,2 %)
- Förderung Radverkehr: für 2020 615 t/a (1,6 %), für 2025 850 t/a (3,2 %)

Für 2020 ergibt sich insgesamt eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW von 655 t/a (1,6 %) und für 2025 von 895 t/a (3,4 %), wobei jeweils die Wirkung der Maßnahme Förderung Radverkehr deutlich dominiert.

<b>V 2.1 Strategie: Veränderung Modal Split im Personennahverkehr</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
NRW, Kommunen, Verkehrsunternehmen, Verbände		MIV-Nutzer in NRW	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Die Attraktivität des "Umweltverbunds" (Fußverkehr, Radverkehr inkl. Pedelecs oder ÖPNV) soll durch Förderung der zugehörigen Verkehrsmodi und ihrer besseren Verknüpfung im Nahbereich und im städtischen Binnenverkehr gesteigert werden, um MIV-Nutzer zum Umstieg auf den "Umweltverbund" zu bewegen			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung:</b> Im Rad- und Fußverkehr fallen keine NO <sub>x</sub> -Emissionen an, im ÖPNV und insbesondere beim Schienennahverkehr deutlich weniger als im MIV. Car Sharing Nutzer verwenden ein Kfz nicht automatisch, sondern nur, wenn erforderlich			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012/2013 (Basisfall)	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	79.989	39.754	26.675
Maßnahme	2.1.1 Förderung Car Sharing		
Minderung ggü. Trend [t]		40	45
Minderung ggü. Trend (Anteil)		0,1%	0,2%
Maßnahme	2.1.2 Förderung Fahrradverleihsysteme		
Maßnahme	2.1.3 Ausbau Radwegenetz		
Maßnahme	2.1.4 Förderung einer „Modellstadt Radverkehr“ nach Kopenhagener Vorbild		
Minderung ggü. Trend [t]		615	850
Minderung ggü. Trend (Anteil)		1,5%	3,2%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	hohe Investitionen in Infrastruktur und Fördermittel (nicht in erster Linie dem NO <sub>x</sub> -Minderungsziel zuzurechnen)		
Wirkung auf PM10:	deutlich positiv		
Wirkung auf Klima:	deutlich positiv		
Wirkung auf Lärm	deutliche Minderung		
Technologische Aspekte:	Technologie verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	keine Gesetzesänderungen, ggf. Änderungen von Förderrichtlinien erforderlich		
Ökonomische Aspekte:	hohe Investitionen in Infrastruktur und Fördermittel; ggf. europaweite Ausschreibung; Steueraufkommenseffekte; Reduktion der externen Kosten der Luftverschmutzung		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	Verknüpfung mit Regionalverkehr schließt an Strategie 2.2 "Veränderung des Modal Split beim Personenfernverkehr" an, Förderung des Car Sharing kann mit der "Förderung der Elektromobilität" (Strategie 1.1) kombiniert werden.		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	Umstellung kann nur erfolgreich sein, wenn die Bevölkerung dafür ist (s. Fahrradstadt Kopenhagen), finanzielle Mittel müssen zur Verfügung gestellt werden		

Bild 5.32: Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Veränderung Modal Split im Personennahverkehr“

### 5.3.2.2 Strategie 2.2: Veränderung des Modal Split im Personenfernverkehr

Auch hier geht es darum, Verlagerungen vom MIV zu Verkehrsträgern zu bewirken, die weniger NO<sub>x</sub>-Emissionen verursachen. Während sich bei der Nahmobilität der Fuß- und Radverkehr sowie Busse und Stadtbahnen als Alternativen zum MIV anbieten, steht im Fernverkehr die Verlagerung in Richtung Schienenverkehr im Fokus.

Die im Rahmen dieser Strategie betrachteten Maßnahmen sind in Bild 5.33 dargestellt.

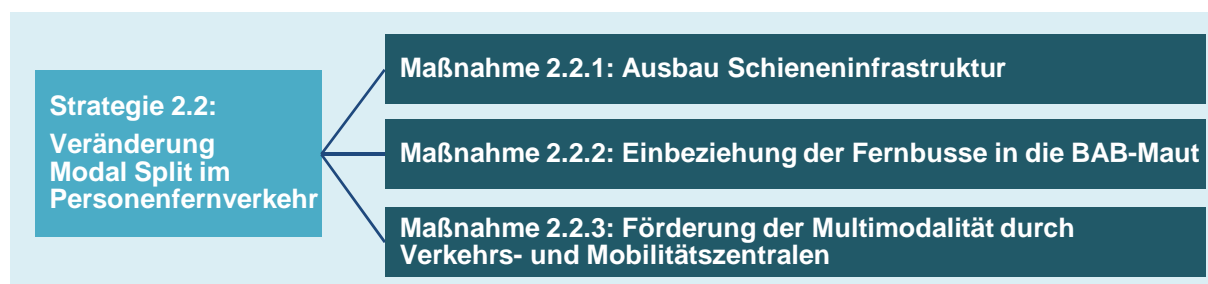


Bild 5.33: Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Veränderung Modal Split im Personenfernverkehr“

#### Maßnahme 2.2.1: Ausbau Schieneninfrastruktur

Durch den Ausbau des Schienennetzes gewinnt der Schienenverkehr an Attraktivität. Das größte geplante Ausbauprojekt in NRW ist der Rhein-Ruhr-Express (RRX). Geplant ist, auf sechs Linien die Metropolen Nordrhein-Westfalens auf einem eigenen Gleis zu verbinden. So soll eine schnelle Taktung auf hohem Pünktlichkeitsniveau erreicht werden. Auf der Kernstrecke zwischen Köln und Dortmund soll im Zielkonzept alle 15 Minuten ein RRX verkehren, zusätzlich sind „RRX-Außenäste“ nach Aachen, Koblenz, Emmerich, Münster und Minden geplant. Durch den RRX können ca. 302 Mio. Pkw-km (Fern- und Nahverkehr) durch Verlagerung von der Straße auf die Schiene jährlich eingespart werden /BVU 2006/.

Eine weitere Möglichkeit zum Ausbau des Schienennetzes ist die Reaktivierung vorhandener stillgelegter Strecken in der Fläche, wie z.B. von der Rurtalbahn auf der Strecke zwischen Heimbach und Linnich bereits realisiert wurde. Hier ist ein „Lückenschluss“ zwischen Linnich und Baal und damit ein Anschluss an die Hauptstrecke Aachen-Mönchengladbach geplant.

#### Maßnahme 2.2.2: Einbeziehung der Fernbusse in die BAB-Maut

Seit der Liberalisierung des Fernbusverkehrs in Deutschland Anfang 2013 gibt es auf den Fernstraßen eine zunehmende Verlagerung von der Schiene zum Fernbusverkehr. Im Jahr 2014 gab es durchschnittlich ca. 7.000 Fahrten pro Woche, was gegenüber dem Jahr 2013 eine Steigerung von 50 % bedeutet. Nach einer Erhebung des Bundesamts für Güterverkehr

führen 38 % der Fahrgäste der Fernbusse zuvor Pkw, 44 % zuvor Bahn, 10 % sind Neukunden und der Rest kam von sonstigen Verkehrsmitteln /BAG 2014/.

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Schiene sind deutlich geringer als die der Fernbusse. Die Einbeziehung der Fernbusse in die BAB-Maut führt zu einer höheren Kostengerechtigkeit und erhöht den Druck auf die Betreiber, höhere Fahrpreise zu nehmen. Andererseits reagiert derzeit die Bahn mit einer eigenen Angebots- und Preisoffensive. Grundsätzlich kann eine Maut für Fernbusse dem Trend von der Schiene zum Fernbus entgegenwirken. Die Busmaut würde aber nach Aussagen des Bundesverkehrsministeriums den Wettbewerb mit der Bahn nicht relevant verändern. Der Status Quo kann also nur durch die Angebots- und Preisoffensive der Bahn im besten Falle gehalten werden. Hingegen ist die Verlagerung von Pkw-Fahrten auf den Fernbus auch in Richtung NO<sub>x</sub>-Minderung zu begrüßen. Belastbare Zahlen liegen diesbezüglich derzeit laut Umweltbundesamt nicht vor. Daher kann für die Maßnahme keine belastbare Quantifizierung vorgenommen werden. Die Gesamteffekte dürften aber eher gering sein.

Das Land NRW kann dennoch diesbezüglich im Rahmen auch einer konzertierten Länderinitiative entsprechend auf die Bundesregierung einwirken.

### **Maßnahme 2.2.3: Förderung der Multimodalität durch Verkehrs- und Mobilitätszentralen**

Auch im Personenfernverkehr geht es nicht nur darum, die Relation „von Bahnhof zu Bahnhof“ gut abzudecken, sondern die Relation „von Tür zu Tür“. Dafür ist eine gute Verknüpfung von Fernverkehr, Regionalverkehr, ÖPNV, Car Sharing und Fahrradverleih erforderlich. Wenn alle erforderlichen Verkehrsmittel für die Relation „von Tür zu Tür“ einfach und flexibel via Internet oder Smartphone gebucht werden können, erhöht das ihre Attraktivität gegenüber dem MIV.

Verkehrs- und Mobilitätszentralen sind Serviceangebote für die Verkehrsteilnehmer. Sie sollen verkehrsträgerübergreifend für jeweils gewünschte Relationen die optimale Route bestimmen. Optimiert werden kann dabei hinsichtlich Reisezeit, Kosten oder auch Umweltwirkungen. Wünschenswert wäre, dass dabei nicht nur die jeweils aktuellen Staus auf Straßen oder Verspätungen bei der Bahn, sondern aufgrund von Erfahrungswerten auch die Situation zum geplanten Reisezeitpunkt (Prognose) berücksichtigt wird.

Aktuell liegt der Schwerpunkt z.B. der Verkehrszentrale NRW<sup>21</sup> darauf, den Verkehr auf den Autobahnen in NRW zu steuern. Servicezentralen einzelner Verkehrsbetriebe dienen neben der Beratung von Kunden in erster Linie dem Ticketverkauf.

Zur Förderung der Multimodalität ist der Ausbau verkehrsträgerübergreifender Mobilitätszentralen eine wichtige Maßnahme. Diese können derzeit nicht kostendeckend betrieben

---

<sup>21</sup> <http://www.strassen.nrw.de/einrichtungen/vz/index.html>

werden und sollten daher als verkehrspolitisches Instrument betrachtet und entsprechend gefördert werden.

In diesem Zusammenhang sind auch öffentliche und betriebliche Mobilitätsmanagementaktivitäten und -angebote einzubeziehen.

### **Wirkungspotenzial der Strategie 2.2: Veränderung des Modal Split im Personenfernverkehr**

Für die Strategie „Veränderung des Modal Split im Personenfernverkehr“ wurde eine Abschätzung des NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzials für den Ausbau der Schieneninfrastruktur, konkret des RRX, durchgeführt.

Ausgehend von folgenden Randbedingungen wurden die Wirkungen auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen für den Straßenverkehr NRW ermittelt:

Durch Verlagerung von Fahrleistung vom Straßenverkehr auf den Schienenverkehr aufgrund der Realisierung des RRX in NRW ergibt sich eine Reduktion der Pkw-Fahrleistung von 302 Mio. Pkw-km/a (für 2020 und 2025).

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingung wurden für die Jahre 2020 und 2025 die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW ermittelt und die Wirkung im Vergleich zur Trendentwicklung berechnet.

Für 2020 ergibt sich eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW von 66 t/a (0,2 %), für 2025 von 45 t/a (0,2 %).

<b>V 2.2 Strategie: Veränderung Modal Split im Personenfernverkehr</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Bund, NRW, Bahn, Verbände		MIV-Nutzer in NRW	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Die Attraktivität des Schienenverkehrs soll durch Förderung sowie bessere Verknüpfung mit anderen Verkehrsträgern gesteigert werden, um Verkehr von der Straße zur Schiene zu bringen. Durch Einbeziehung der Fernbusse in die BAB-Maut kann einer Verlagerung von der Schiene zum Fernbus entgegengewirkt werden.			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung:</b> Beim Schienenverkehr fallen deutlich weniger NO <sub>x</sub> -Emissionen an als im MIV.			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012/2013 (Basisfall)	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	79.989	39.754	26.675
Maßnahme	2.2.1 Ausbau Schieneninfrastruktur		
Minderung ggü. Trend [t]		66	45
Minderung ggü. Trend (Anteil)		0,2%	0,2%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	Kosten für Ausbau der Schienen-Infrastruktur und Förderung von Mobilitätszentralen (nicht in erster Linie dem NO <sub>x</sub> -Minderungsziel zuzuordnen)		
Wirkung auf PM10:	positiv		
Wirkung auf Klima:	positiv		
Wirkung auf Lärm	Minderung		
Technologische Aspekte:	Technologie verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	Für Förderung keine Gesetzesänderungen erforderlich; Anpassung des Bundesfernstraßenmautgesetzes durch den Bund		
Ökonomische Aspekte:	hohe Investitionen in Infrastruktur und Fördermittel; ggf. europaweite Ausschreibung; Gebühreneinnahme- und Steueraufkommenseffekte; Reduktion der externen Kosten der Luftverschmutzung		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	Verknüpfung Schienenverkehr mit Car Sharing und Radstationen schließt an Strategie 2.1 "Veränderung des Modal Split beim Personennahverkehr" an.		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	finanzielle Mittel müssen zur Verfügung gestellt werden		

*Bild 5.34: Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Veränderung Modal Split im Personenfernverkehr“*

### 5.3.2.3 Strategie 2.3: Veränderung des Modal Split im Güterverkehr

In dieser Strategie werden Maßnahmen betrachtet, die zu einer Verschiebung des Modal Split im Güterverkehr von der Straße insbesondere zur Schiene führen sollen. Es handelt sich dabei um den Ausbau der Schieneninfrastruktur sowie um die Optimierung der infrastrukturellen Verknüpfung und Kooperation zwischen Binnenschifffahrt und Schienengüterverkehr. Die Maßnahmen sind in Bild 5.35 dargestellt.

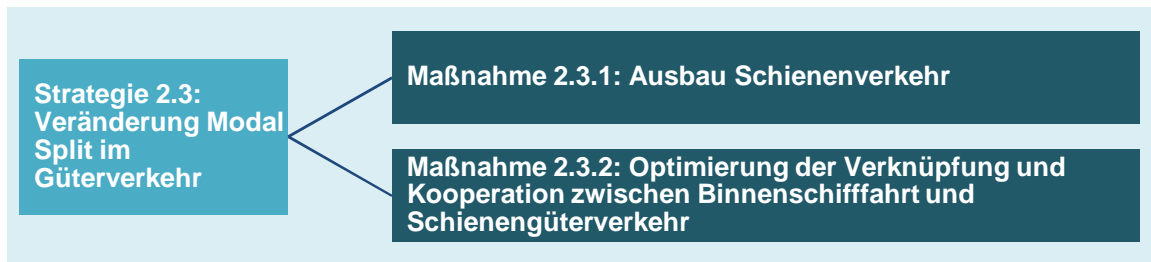


Bild 5.35: Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Veränderung Modal Split im Güterverkehr“

#### Ausgangssituation und Entwicklung

Die Verkehrsverflechtungsprognose 2030 des Bundes weist folgende Kennwerte in Bezug auf die Entwicklung des Güterverkehrs und den Modal Split für Nordrhein-Westfalen aus /ITP 2014/. Nach folgendem Bild 5.36 steigt das Güterverkehrsaufkommen (in Tonnen) von 2010 auf 2030 um knapp 13 % und die Transportleistung (in Tonnenkilometer) aufgrund einer deutlichen Erhöhung der Transportweiten bei der Schiene und dem Straßengüterverkehr um etwa 31 %. Alle Verkehrsträger profitieren mehr oder weniger von der Gesamtzunahme. Am stärksten erhöht sich das Güteraufkommen beim Binnenschiffsverkehr. Bei der Transportleistung ist es der Straßengüterverkehr, der den höchsten Zuwachs verzeichnet.

Die unterschiedlichen verkehrsträgerspezifischen Entwicklungen zeigen sich entsprechend in der modalen Verteilung von Güteraufkommen und Transportleistung, wie in Bild 5.37 dargestellt. Demnach ist der Verkehrsträger Schiene in 2010 am Versand und Empfang bezogen auf das Güteraufkommen zu 10,6 %, auf die Transportleistung bezogen zu 17,5 % beteiligt. Die Anteile sinken in 2030 auf 9,6 % bzw. 15,9 %. Der Anteil des Straßengüterverkehrs bleibt beim Aufkommen mit um die 80 % nahezu unverändert, erhöht sich aber bei der Transportleistung spürbar von 72,7 % auf 74,9 %. Der Binnenschiffsanteil steigt beim Aufkommen von 8,7 % auf 9,3 % und sinkt bei der Transportleistung von 9,7 % auf 9,2 %.



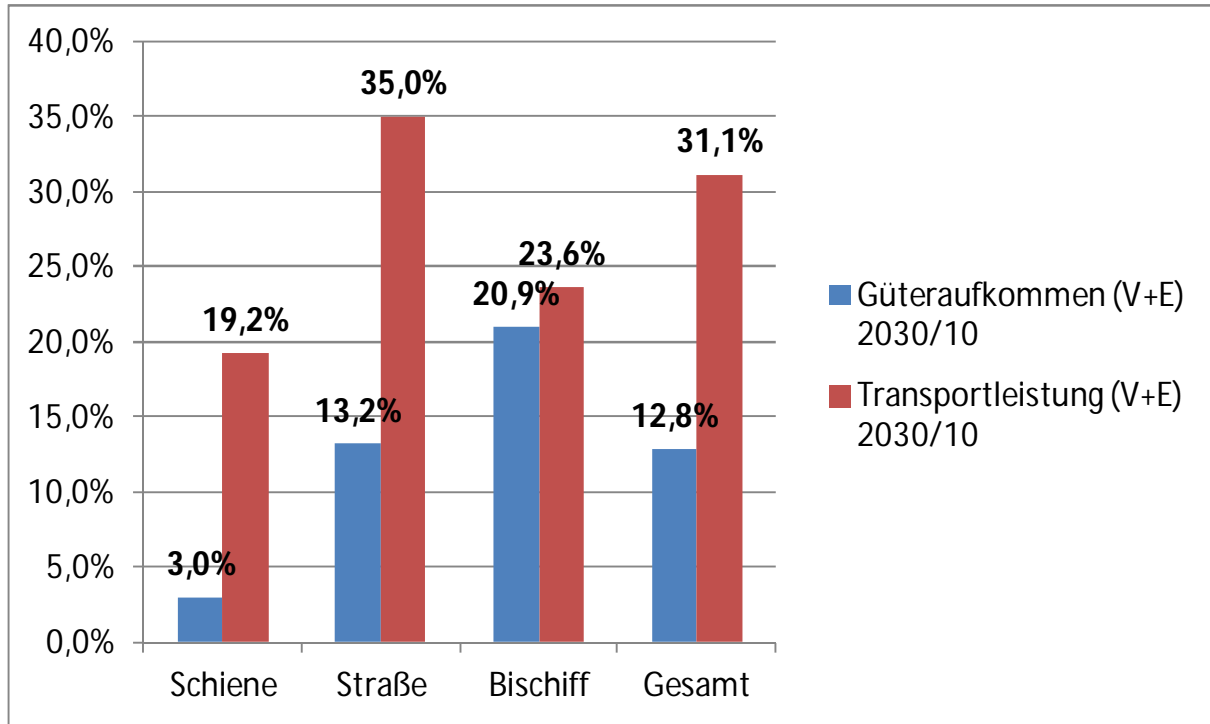


Bild 5.36: Entwicklung des Güterverkehrsaufkommens und der Transportleistung im Versand (V) und Empfang (E) zwischen 2010 und 2030 für Nordrhein-Westfalen, aufgeteilt nach Verkehrsträgern, nach /ITP 2014/

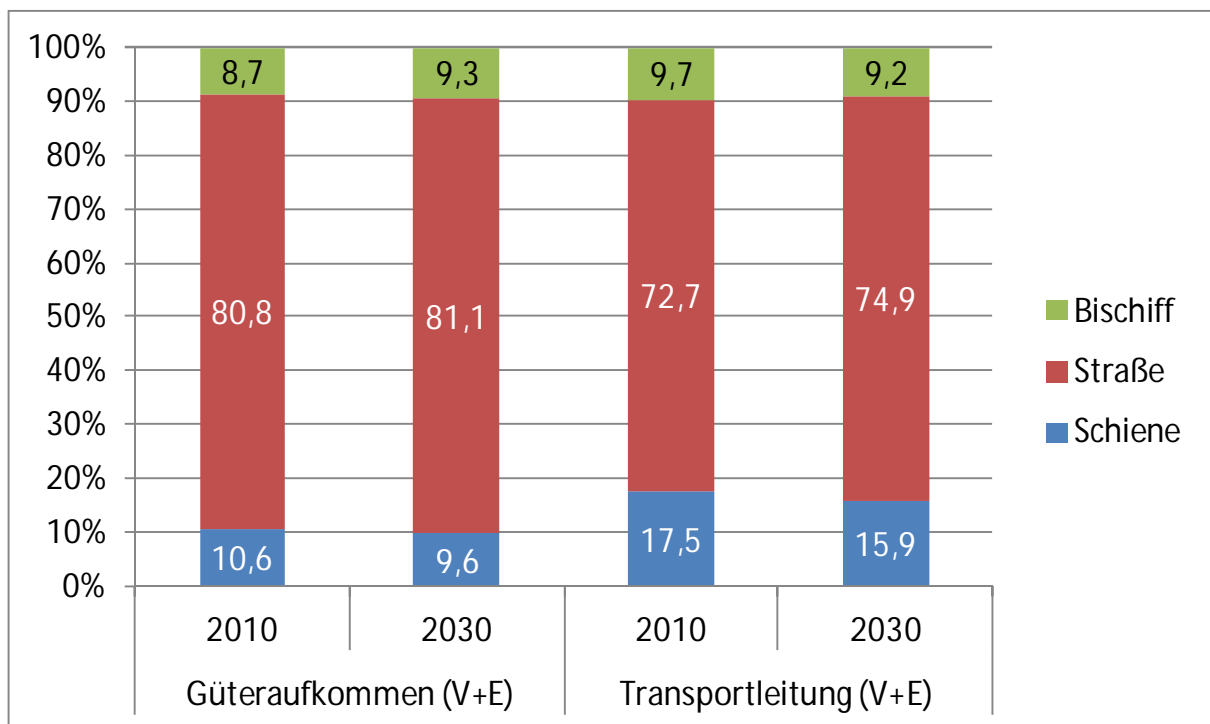


Bild 5.37: Entwicklung des güterverkehrsaufkommens- und transportleistungsbezogenen Modal Split im Versand (V) und Empfang (E) zwischen 2010 und 2030 für Nordrhein-Westfalen, aufgeteilt nach Verkehrsträgern, nach /ITP 2014/

### **Maßnahme 2.3.1: Ausbau Schieneninfrastruktur**

Auch im Schienengüterverkehr gibt es konkrete Pläne zum Netzausbau.

#### Betuwe Route

Die Betuwe Route ist eine Eisenbahnstrecke (Ausbau und Neubau) für den Güterverkehr vom Hafen Rotterdam nach Zevenaar in der Nähe der deutsch-niederländischen Grenze, sie wurde 2007 in Betrieb genommen. Es ist geplant, als Anschluss auf deutscher Seite die Strecke von Zevenaar über Emmerich am Rhein nach Oberhausen dreigleisig auszubauen. Das Planfeststellungsverfahren ist derzeit noch nicht abgeschlossen. Es ist jedoch mit einer Realisierung des Vorhabens im hier betrachteten Zeitraum des NO<sub>x</sub>-Minderungsgutachtens bis 2025 zu rechnen.

#### Eiserner Rhein

Während die Betuwe Route zur Anbindung an die niederländischen Seehäfen dient, geht es beim Eisernen Rhein um eine Verbindung nach Belgien vom Duisburger Hafen über Mönchengladbach und Roermond zum Hafen von Antwerpen. Aktuell wird ein Großteil der Strecke nicht oder nur selten befahren. Der Eiserner Rhein wird auf Vorschlag der EU-Kommission als Bestandteil der europäischen Eisenbahnverbindung Lyon/Genua – Basel – Duisburg – Rotterdam/Antwerpen im Rahmen der Transeuropäischen Verkehrsnetze prioritär eingestuft, daher wird eine Wieder-Inbetriebnahme diskutiert. Ob diese entlang der historischen Trasse oder einer Alternativroute verlaufen wird, steht aktuell noch nicht fest, unter anderem gibt es Einwände von Anwohnern und Naturschutzverbänden gegen die Reaktivierung der historischen Trasse.

Derzeit gibt es zwischen Bundes- und Landesverkehrsministerium weitere Erörterungen zu den jeweils favorisierten Trassenvarianten. Eine Realisierung bis 2025 ist aus heutiger Sicht eher unwahrscheinlich.

#### Reaktivierung vorhandener Gleisanschlüsse für Gewerbegebiete und Unternehmen

Für zahlreiche Industriegebiete sind Gleisanschlüsse vorhanden, die aktuell nicht genutzt werden. Die Reaktivierung dieser Gleisanschlüsse unterstützt eine Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene direkt am Ort der Produktion der Güter.

Die Landesregierung kann durch Zusammenführen aller beteiligten Akteure jeweils für einen Ausgleich der Interessen sorgen und Ausbauprojekte auch finanziell unterstützen.

### Optimierung der Verknüpfung und Kooperation zwischen Binnenschifffahrt und Schienengüterverkehr

Zur Bewältigung steigender Güterverkehrsmengen wird angestrebt, dass der überwiegende Teil der zurückgelegten Strecke mithilfe von Schiene und Binnenschiff zurückgelegt wird und der Vor- und Nachlauf auf der Straße so kurz wie möglich gehalten wird. Dazu ist eine optimierte Kooperation zwischen beiden Verkehrsträgern erforderlich.

Seit Februar 2008 liegt ein aktualisiertes „Konzept zur Entwicklung der Wasserstraßen und Häfen“ /MBWSV 2008/, dessen Ziel es ist, die Leistungsfähigkeit der Häfen deutlich zu steigern und ihren Marktanteil im Hinterland zu erhöhen. Mit diesem Konzept hat die Landesregierung eine umfassende Bestandsaufnahme vorgenommen, Entwicklungsperspektiven analysiert und Handlungsoptionen vorbereitet. Dabei spielt die Entwicklung der Hafenstandorte eine zentrale Rolle. Die trimodalen Umschlagplätze zwischen Schiene, Straße und Wasserstraße bieten darüber hinaus bei ausreichendem Flächenangebot beste Voraussetzungen für die Ansiedlung von Industrie und Gewerbe.

### **Minderungspotenzial der Strategie 2.3: Veränderung des Modal Split im Güterverkehr**

Es wird der Fall untersucht, dass zukünftig der transportleistungsbezogene Modal Split des Jahres 2010 (s. Bild 5.37) durch die oben beschriebenen Maßnahmen wieder hergestellt werden kann. Dies führt zu entsprechenden Erhöhungen der Transportleistungen (tkm) von Schiene und Binnenschiff und entsprechenden Verringerungen beim Straßengüterverkehr in 2020 und 2025. Die Effekte auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen wurden auf Basis transportleistungsbezogener spezifischer Emissionsfaktoren für die drei Verkehrsträger in g/tkm berechnet. Die Emissionsfaktoren wurden aus /UBA 2012/ übernommen und beinhalten hier auch die Emissionsanteile aus den Vorketten (Bereitstellung (Erzeugung, Transport) der Kraftstoffe). Für die Prognosen wurden die Annahmen aus TREMOD zur Entwicklung der Emissionsfaktoren angesetzt /ifeu 2012a/.

Die Berechnungen zeigen, dass sich durch die Verschiebung von Transportleistungsanteilen auf Schiene und Binnenschiff die NO<sub>x</sub>-Emissionen des hier betrachteten Segments „Güterverkehr“ im Saldo sogar leicht erhöhen, und zwar um 0,5 % in 2020 und 1,7 % in 2025. Lässt man die Schiene bei der Saldierung außen vor, so liegen die entsprechenden Erhöhungen bei 0,2 % bzw. 1,1 %. Die Erhöhungen sind der Tatsache geschuldet, dass die spezifischen transportleistungsbezogenen NO<sub>x</sub>-Emissionen im Binnenschiffsverkehr am höchsten sind und im Vergleich zum Straßengüterverkehr in Zukunft deutlich langsamer zurückgehen. Ein Modal Shift zum Binnenschiffsverkehr erscheint nur dann angezeigt, wenn in Zukunft die Binnenschiffsemissionen massiv zurückgefahren werden können. Zu Minderungsmaßnahmen für die Emissionen der Binnenschifffahrt siehe Kapitel 5.4.

<b>V 2.3 Strategie: Veränderung Modal Split im Güterverkehr</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Bund, NRW, Bahn, Verbände		Verlader und Transporteure	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Die Attraktivität des Schienen- und Schiffsverkehrs soll durch Förderung der Schieneninfrastruktur sowie trimodaler Umschlagplätze an Hafenstandorten zwischen Schiene, Straße und Wasserstraße gesteigert werden, um Güterverkehr von der Straße auf Schiene und Binnenschiffe zu verlagern.			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung:</b> der Schienenverkehr hat die geringsten transportleistungsbezogenen NO <sub>x</sub> -Emissionen (einschl. Vorketten), der Binnenschiffsverkehr die höchsten auf den tkm bezogen; zukünftig vermindern sich die spez. Emissionsfaktoren im Schienen- und Binnenschiffsverkehr deutlich langsamer als beim Straßengüterverkehr; daher per Saldo leichte Zunahmen im Segment Güterverkehr			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012/2013 (Basisfall)	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	79.989	39.754	26.675
Maßnahme	2.3.1 Ausbau Schieneninfrastruktur		
Maßnahme	2.3.2 Optimierung der Verknüpfung und Kooperation zwischen Binnenschifffahrt und Schienengüterverkehr		
Minderung ggü. Trend [t]		0	0
Minderung ggü. Trend (Anteil)		0,0%	0,0%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	hohe Investitionskosten für Ausbau der Schienen-Infrastruktur und Förderung trimodaler Umschlagplätze an Hafenstandorten (nicht in erster Linie dem NO <sub>x</sub> -Minderungsziel zuzuordnen)		
Wirkung auf PM10:	negativ		
Wirkung auf Klima:	positiv		
Wirkung auf Lärm	Minderung im Straßennetz		
Technologische Aspekte:	Technologie verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	Investitions- und Förderinstrumente vorhanden		
Ökonomische Aspekte:	hohe Investitionen in Infrastruktur und Fördermittel; ggf. europaweite Ausschreibung; Gebühreneinnahme- und Steueraufkommenseffekte		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	Ergänzung zur Strategie 2.2 "Veränderung des Modal Split im Personenfernverkehr"		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	finanzielle Mittel müssen zur Verfügung gestellt werden, Staatenübergreifender Interessensausgleich (Belgien, Niederlande) zwischen Bahnunternehmen, Anwohnern und Naturschützern bei der Trassenfindung erforderlich (Eiserner Rhein)		

Bild 5.38: Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Veränderung Modal Split im Güterverkehr“

### 5.3.2.4 Strategie 2.4: Reduktion des innerstädtischen Verkehrs

Während die bisher vorgestellten Strategien in diesem Handlungsfeld auf eine Veränderung des Modal Split abzielen, also auf eine Verlagerung des Verkehrs vom MIV zu emissionsärmeren Verkehrsträgern, führen die im Rahmen dieser Strategie beschriebenen Maßnahmen zu einer Reduktion des Verkehrs.

Von /AVISO 2015/ wurde die Wirkung einer Reduktion des DTV (durchschnittlicher täglicher Verkehr) von 20 % im Ballungsraum Stuttgart untersucht. Auf Innerortsstraßen in Stuttgart

führt eine solche Reduktion im Prognosejahr 2020 gegenüber dem Basisfall zu Reduktionen der NO<sub>x</sub>-Emissionen von 22 %.

Die Maßnahmen im Rahmen dieser Strategie sind in Bild 5.39 dargestellt.

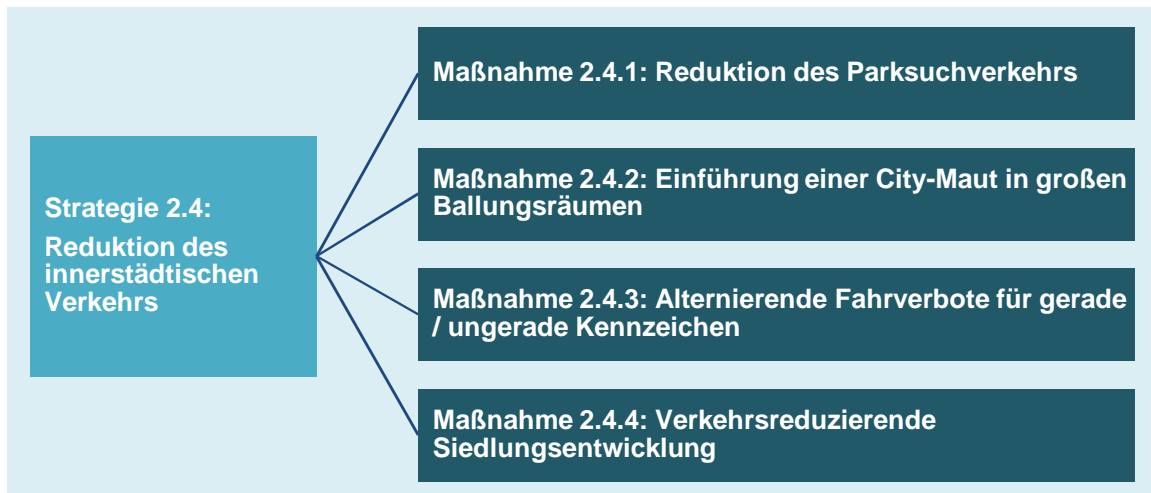


Bild 5.39: Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Reduktion des innerstädtischen Verkehrs“

### Maßnahme 2.4.1: Reduktion des Parksuchverkehrs

Nach Untersuchungen in den USA ist der Parksuchverkehr für bis zu 30 % des Verkehrs in städtischen Ballungsräumen verantwortlich /Shoup 2011/. Es ist zu erwarten, dass die Situation in deutschen Ballungsräumen ähnlich ist. Durch die Einbeziehung von Straßenrandparkplätzen in ein optimiertes Parkleitsystem/Parkraummanagement kann eine deutliche Reduktion des innerstädtischen Parksuchverkehrs erzielt werden.

Es gibt hier erste Systemangebote, die Parkplatzsuche in das Navigationssystem der Pkw zu integrieren, z.B. On-Street Parking von INRIX. Anhand von Satelliteninformationen erkennt das System die Straßen mit den besten Chancen auf einen freien Parkplatz und leitet den Fahrer dorthin. Zusätzlich werden Informationen über die Kosten von Parktickets angezeigt. Wenn kein Parkplatz zur Verfügung steht, wird der Fahrer zum nächsten Parkhaus geleitet, zu dem ebenfalls die Kosten für das Parken angezeigt werden.

Optimiert werden könnten solche Systeme, wenn der Informationsaustausch zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur (car2x) sich weiter durchsetzt. Dann könnten zusätzlich Informationen berücksichtigt werden, wie viele andere Fahrer in der Gegend einen Parkplatz suchen, und es könnten möglicherweise freie Plätze reserviert werden. Die Maßnahme sollte als Teil eines städtischen Gesamt-Parkplatzbewirtschaftungssystems verstanden werden.

Das Land NRW kann über den Deutschen Städtetag die Kommunen animieren, mit potentiellen Systemanbietern zu kooperieren, z.B. entsprechende Daten zu den Straßenrandparkplätzen und den Bewirtschaftungsrandbedingungen bereit zu stellen.

#### **Maßnahme 2.4.2: Einführung einer City-Maut in großen Ballungsräumen**

Anders als durch Umweltzonen, die nach bisherigem Erkenntnisstand eine Flottenverbesserung bei unveränderten Fahrleistungen bewirken, wird durch die Einführung einer City-Maut der Verkehr im bemauteuten Bereich reduziert. In Europa gibt es aktuell in Norwegen (Bergen, Oslo, Trondheim), Großbritannien (Durham, London), Italien (Bologna, Mailand, Rom) und Schweden (Stockholm, Göteborg) Städte mit mautpflichtigem Innenstadtbereich, außerhalb Europas gibt es z.B. in Singapur und Melbourne eine City-Maut. Die Systeme unterschieden sich hinsichtlich eingesetzter Technik, Ausdehnung, Gebührenhöhe und -spreizung, bemauteuter Zeiten und Ausnahmegenehmigungen.

Im Rahmen einer Machbarkeitsstudie für die Stadt Hamburg /IVT 2011/ wurden unterschiedliche bestehende Systeme in den vorgenannten Städten hinsichtlich ihrer Auswirkungen verglichen. Es kam zu Rückgängen zwischen 5 % (Oslo) und 45 % (Singapur), in London kam es zu einer Abnahme der Fahrleistungen von mautpflichtigen Fahrzeugen um 27 % in den Mautbereichen. Daraus folgt in diesen Bereichen eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen in vergleichbarer Größenordnung. Diesen Rückgängen standen teilweise Zunahmen der Fahrleistungen außerhalb des mautpflichtigen Bereichs, zu Zeiten ohne Mautpflicht und bei den Fahrleistungen nicht mautpflichtiger Fahrzeuge gegenüber. In den meisten Städten wurden die staubedingten Zeitverluste verringert und die Auslastung des ÖPNV erhöht.

Nach Drucksache 16/13129 des Deutschen Bundestages (Antwort auf eine kleine Anfrage der Grünen) liegt es in der Kompetenz der Länder, eine City-Maut für Kommunal- und Landesstraßen einführen. Dies führt aber sehr schnell zu der Frage, ob das auch in Bezug auf die betroffenen innerörtlichen Bundesstraßen gilt, die sich in den Großstädten in der Baulast der Städte befinden.

Das Land sollte im Rahmen eines Gutachtens, entsprechend der Studie für Hamburg, die Machbarkeit sowie die ökonomischen Folgen und rechtlichen Randbedingungen klären.

#### **Maßnahme 2.4.3: Alternierende Fahrverbote für gerade/ungerade Kennzeichen**

In Paris und auch in Athen gibt es die Regelung, dass bei Smogepisoden ein alternierendes Fahrverbot in Bezug auf die Fahrzeugkennzeichen ausgesprochen wird, je nachdem ob die Endziffer gerade oder ungerade ist. Diese Regelung wurde in erster Linie zur Reduzierung der Anzahl Tage eingeführt, an denen der Tagesgrenzwert für PM<sub>10</sub> überschritten wird.

Die Regelung (z.B. für Paris) ist bislang nur selten umgesetzt worden, da zunächst in einer ersten Stufe Empfehlungen an die Bevölkerung und in einer zweiten Stufe Geschwindigkeitsbeschränkungen ausgesprochen werden. Wenn dies keine Wirkung zeigt und eine längere Dauer der Smogepisode prognostiziert wird, sollen formal die Fahrverbote in Kraft treten. Sie müssen in Frankreich vom Polizeipräfekten angeordnet werden.

Bei NO<sub>2</sub> werden typischerweise nicht die Kurzzeitgrenzwerte, sondern die Jahresmittelwerte überschritten. Eine Auswirkung solcher temporären Fahrverbote ist jedoch auch auf den Jahresmittelwert zu erwarten. In der Machbarkeitsstudie Essener Norden wird für die Gladbecker Straße eine potentielle Minderung (hier durch ein generelles Fahrverbot für Lkw an 45 PM10-Überschreitungstagen) für den NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert in der Größenordnung von 1 µg/m<sup>3</sup> angegeben /AVISO 2012a/.

#### **Maßnahme 2.4.4: Verkehrsreduzierende Siedlungsentwicklung**

Durch die Ausrichtung der Siedlungsentwicklung hin zu einer „Stadt der kurzen Wege“ kann Verkehr vermieden werden. Wenn Wohnen, Arbeiten, Einkaufen, Kita/Schule, medizinische Versorgung, Hobby etc. nah beieinander liegen, werden Wege eher zu Fuß oder mit dem Fahrrad zurückgelegt. Dazu müssen die Innenstädte für das Wohnen attraktiver gemacht (Nachverdichtung) und Bauland im Umland der Städte verteuert werden. Gleichermaßen müssen Läden in den Innenstädten gegenüber großen Einkaufszentren „auf der grünen Wiese“ gestärkt werden.

Eine solche Siedlungsentwicklung kann langfristig zur Reduktion des Verkehrs beitragen. Entsprechende verkehrsreduzierende/-vermeidende Kriterien sollten generell in der Bauleitplanung verbindlich formuliert werden. Der § 1a des Baugesetzbuches, ergänzende Vorschriften zum Umweltschutz, impliziert bereits in Ziffer (5) durch die Ausführungen zum Klimaschutz/Klimawandel eine entsprechende Zielrichtung, jedoch scheinen die Ausführungen in Bezug auf die Verkehrsvermeidung nicht konkret genug gefasst.

#### **Minderungspotenzial der Strategie 2.4: Reduktion des innerstädtischen Verkehrs**

Für die Strategie „Reduktion des innerstädtischen Verkehrs“ wurde eine Abschätzung des NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzials für folgende Einzelmaßnahmen durchgeführt:

- Reduktion des Parksuchverkehrs,
- Einführung einer City-Maut in großen Ballungsräumen.

Es wurde für die Berechnungen von den folgenden Randbedingungen ausgegangen:

Reduktion des Parksuchverkehrs:

- Es wurde von einem Anteil von 30 % für Parksuchverkehr in städtischen Ballungsräumen an der Pkw-Fahrleistung in den betroffenen Gebieten ausgegangen.

- Am Beispiel der Stadt Aachen wurde ermittelt, wie hoch die Pkw-Fahrleistung im Innenstadt-/Kerngebiet (innerhalb des sogenannten Alleerings) ist, dem Bereich in dem der Parksuchverkehr vorrangig stattfindet. Bezogen auf die gesamte Innerorts-Pkw-Fahrleistung Aachen liegt der Anteil bei 1,8 %.
- Es wurde angenommen, dass die Verhältnisse, die sich für Aachen zeigen, auf alle Städte in NRW übertragen werden können.

Einführung einer City-Maut in großen Ballungsräumen:

- Es wurde angenommen, dass sich durch die Einführung einer City-Maut eine Reduktion der Fahrleistung in den betroffenen Gebieten von 27 % ergibt (analog zu den Erfahrungen aus London).
- Im Sinne einer Maximalabschätzung wurde davon ausgegangen, dass die reduzierte Fahrleistung komplett entfällt.
- Im Weiteren wurde davon ausgegangen, dass nur Städte mit mehr als 200.000 Einwohnern für die Einführung einer City-Maut in Frage kommen. In NRW gibt es 15 Städte auf die dies zutrifft (Stand 2015). Dort leben 35 % der Einwohner von NRW.

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen wurden für die Jahre 2020 und 2025 die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW ermittelt und die Wirkung der zwei Einzelmaßnahmen im Vergleich zur Trendentwicklung ausgewiesen. Im Einzelnen wurden die folgenden NO<sub>x</sub>-Minderungen berechnet:

- Reduktion des Parksuchverkehrs: für 2020 200 t/a (0,5 %), für 2025 138 t/a (0,5 %)
- Einführung einer City-Maut in großen Ballungsräumen: für 2020 1.426 t/a (3,6 %), für 2025 915 t/a (3,4 %)

Für 2020 ergibt sich insgesamt eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW von 1.626 t/a (4,1 %) und für 2025 von 1.053 t/a (3,9 %), wobei jeweils die Wirkung der Maßnahme Einführung einer City-Maut in großen Ballungsräumen dominiert.



<b>V 2.4 Strategie: Reduktion des innerstädtischen Verkehrs</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Bund, NRW, Kommunen, Deutscher Städtetag		motorisierte Verkehrsteilnehmer	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Ziel dieser Strategie ist eine Reduktion insbesondere des innerstädtischen Verkehrs. Der Parksuchverkehr kann durch Optimierung des Parkraummanagements unter Einbeziehung telematischer Lösungen reduziert werden. Durch Einführung einer City-Maut kann der Verkehr im Zentrum großer Ballungsräume nachweislich reduziert werden, alternierende Fahrverbote für gerade bzw. ungerade Kennzeichen reduzieren den Verkehr in Smog-Episoden. Langfristig wirkt eine verkehrsreduzierende Siedlungsentwicklung.			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung:</b> Durch Vermeidung von Verkehr entfallen die entsprechenden NO <sub>x</sub> -Emissionen.			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012/2013 (Basisfall)	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	79.989	39.754	26.675
Maßnahme	2.4.1 Reduktion des Parksuchverkehrs		
Minderung ggü. Trend [t]		200	138
Minderung ggü. Trend (Anteil)		0,5%	0,5%
Maßnahme	2.4.2 Einführung einer City-Maut in großen Ballungsräumen		
Minderung ggü. Trend [t]		1.426	915
Minderung ggü. Trend (Anteil)		3,6%	3,4%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	Kosten für Förderung der Entwicklung von Systemen zum Parkraummanagement (nicht in erster Linie dem NO <sub>x</sub> -Minderungsziel zuzuordnen); City-Maut: Bsp. London: Einführungskosten: ca. 209 Mio. Euro, Betriebskosten: ca. 102 Mio. Euro (Betriebsjahr 2005/2006), das entspricht ca. 44% der Mauteinnahmen		
Wirkung auf PM10:	positiv		
Wirkung auf Klima:	positiv		
Wirkung auf Lärm	Minderung		
Technologische Aspekte:	Technologie für City-Maut verfügbar; Technologie (car2car, car2x) zur Reservierung von Parkplätzen am Straßenrand noch nicht verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	nach Drucksache 16/13129 des Bundestages (Antwort auf eine kleine Anfrage der Grünen) könnten die Länder in eigener Zuständigkeit eine City-Maut für Kommunal- und Landesstraßen einführen. Ungeklärt ist die Frage der innerörtlichen Bundesstraßen, die sich in der Baulast von Kommunen befinden.		
Ökonomische Aspekte:	Auswirkung einer City-Maut auf die Wirtschaftsentwicklung sollte im Rahmen einer Studie untersucht werden; Reduktion der externen Kosten der Luftverschmutzung		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	In Ballungsräumen ist die City-Maut eine Alternative zur "Blauen Umweltzone" (Teil der Strategie 1.3 "Flottenverbesserung")		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	finanzielle Mittel müssen zur Verfügung gestellt werden; Akzeptanz bei Bevölkerung und Unternehmen ist herzustellen		

*Bild 5.40: Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Reduktion des innerstädtischen Verkehrs“*

### 5.3.3 Handlungsfeld 3: Verkehrslenkung, Verkehrsverflüssigung

Ein großer Teil der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs fällt in Beschleunigungsphasen an. Eine Verstetigung des Verkehrsflusses verringert daher die Emissionen. In diesem Handlungsfeld werden Strategien untersucht, die durch Verkehrslenkung und Verkehrsverflüssigung zu einer Senkung der NO<sub>x</sub>-Emissionen führen. Sie sind in Bild 5.41 aufgelistet.

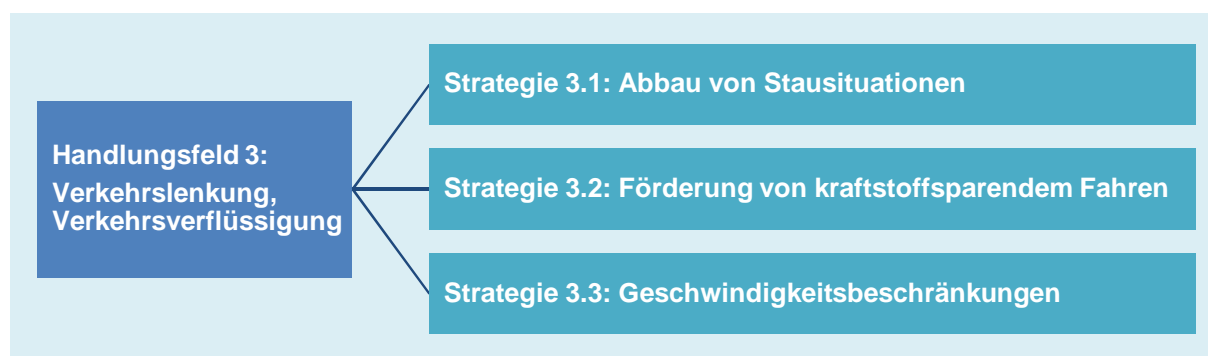


Bild 5.41: Minderungsstrategien im Handlungsfeld „Verkehrslenkung, Verkehrsverflüssigung“

#### 5.3.3.1 Strategie 3.1: Abbau von Stausituationen

Von allen Verkehrssituationen sind die Fahrzeugemissionen im Stau/zähfließendem Verkehr (Stop&Go) am höchsten. Deshalb ist eine wichtige Strategie zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs der Abbau von Staus. Dies betrifft insbesondere den Bereich innerhalb geschlossener Ortschaften und die Autobahnen. Eine Vielzahl von Maßnahmen kann zur Staureduzierung beitragen, die hier untersuchten Maßnahmen sind in Bild 5.42 aufgelistet.

#### Ausgangssituation

In 2010 lag die Stauausdehnung auf Autobahnen in NRW bei insgesamt 409.651 h\*km /RUB 2011/. Bezogen auf die Stauursachen wurde festgestellt, dass nur 40 % der Staus auf hohes Verkehrsaufkommen zurückzuführen sind. Baustellen verursachen 48 % und Zufallsereignisse wie Unfälle und Pannen 12 %.

Bezüglich der überhaupt durch geeignete Maßnahmen positiv beeinflussbaren Fahrleistungs- und Emissionsanteile, die auf Stau und zähfließenden Verkehr entfallen, weisen die Berechnungen zum landesweiten Emissionskataster Kfz-Verkehr NRW etwa 1 % bei der Fahrleistung bzw. 2 % bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen auf BAB in 2013 aus /AVISO 2014/.

Für den Stadtverkehr gibt es keine entsprechenden Auswertungen zur Stauausdehnung wie bei den Autobahnen. Hier gibt lediglich das landesweite Emissionskataster einen Wert zum

Staufahrleistungsanteil von ebenfalls rd. 1 % an. Bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen ist es hier etwas über 1 %.



Bild 5.42: Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Abbau von Stausituationen“

### **Maßnahme 3.1.1: Umweltsensitive Verkehrssteuerung, verkehrsadaptive Signalsteuerung**

#### Stadtverkehr

Ziel der umweltsensitiven Verkehrssteuerung ist es, den Verkehr i.d.R. innerhalb einer Stadt so zu beeinflussen oder zu lenken, dass der Verkehrsfluss verstetigt und die Emissionen minimiert werden. Dabei soll einerseits die verkehrsbedingte Zusatzbelastung an bestimmten Hotspots verringert werden, andererseits sollen die Gesamtemissionen im betrachteten Netz zumindest nicht zunehmen. Dazu werden Prognoseverfahren eingesetzt, die ein Verkehrsmodell und ein Luftqualitätsmodell koppeln und jeweils mit aktuellen Eingabedaten (Verkehrswerte, meteorologische Parameter wie z.B. Windgeschwindigkeit) versorgt werden.

Diese Verkehrssteuerung soll nicht dauerhaft aktiv sein, sondern nur, wenn dadurch tatsächlich Wirkungen auf die NO<sub>2</sub>-Konzentration zu erwarten sind. Bei starkem Wind und entsprechend hoher Durchmischung der Luft oder bei wenig Verkehr und entsprechend geringem Einfluss des Verkehrs auf die Luftqualität wird das System nicht aktiv.

Für Berlin, Hagen, Braunschweig, Essen, Wittenberg, Halle/Saale, Erfurt, Köln, Frankfurt/Oder, Rostock und Potsdam gab es Wirkungsuntersuchungen hinsichtlich verschiedener Maßnahmen zur umweltsensitiven Verkehrssteuerung. Es handelt sich dabei häufig jedoch

um vereinfachte Systeme, wie z.B. eine temporäre Lkw-Sperrung. Die möglichen rechnerischen Minderungen der Maßnahme liegen für die NO<sub>x</sub>-Emissionen zwischen -4 % und -29 % /FGSV 2014b/. Es wird aber in /FGSV 2014b/ bereits direkt darauf hingewiesen, dass eine pauschale Aussage zur Verbesserung nicht möglich ist, da die lokalen Randbedingungen wesentlichen Einfluss haben.

Seit September 2010 gibt es in Hagen eine „Dynamische Verkehrslenkung“ für Lkw auf dem Märkischen Ring im Bereich des Finanzamts. In Abhängigkeit von NO<sub>2</sub>-Immission, Windgeschwindigkeit, Windrichtung und Tageszeit kann an Werktagen ein mindestens dreistündiges Lkw-Durchfahrtsverbot ausgelöst werden. Entsprechende Schilder werden automatisch geschaltet. Seit 2012 ist in Fahrtrichtung Rathausstraße eine spezielle Überwachungsanlage installiert. Im Jahr 2015 wurden an 137 Tagen für insgesamt 1.136 Stunden Sperrungen ausgelöst. Die Befolgungsrate für das Lkw-Durchfahrtsverbot lag in der überwachten Fahrtrichtung zwischen 21 % und 32 % und in der nicht-überwachten Fahrtrichtung zwischen 15 % und 31 %. Auswirkungen auf die NO<sub>2</sub>-Immission können nicht quantifiziert werden.

In Graz wurde hingegen im Rahmen eines Feldversuchs eine verkehrsadaptive (-abhängige) LSA-Steuerung an einem Streckenzug getestet. Sie war im Gegensatz zur umweltsensitiven Verkehrssteuerung permanent aktiv. Im Versuchsergebnis wurden dabei Reduktionen der (auf Basis von Fahrprofilen mit dem Modell PHEM modellierten) NO<sub>x</sub>-Emissionen um -10 % gefunden /TU Graz 2009/. Letztendlich wurde die adaptive LSA-Steuerung jedoch nicht dauerhaft übernommen, da sie nicht mit der Bevorzugung des ÖPNV vereinbar war.

Bezüglich der Wirkungen einer verkehrsadaptiven Einzelknoten- und Netzsteuerung konnte in Hamburg nachgewiesen werden, dass sich die mittlere Geschwindigkeit um 6 % (Einzelknoten) bis 10 % (Netzsteuerung) gegenüber Festzeitsteuerungsprogrammen erhöhen lässt. Wesentlicher ist aber die nachgewiesene Reduzierung der Halte an den Knotenpunkten. Eine funktionierende verkehrsadaptive Netzsteuerung kann damit Beiträge zur Verkehrsverflüssigung liefern. Die neueren Entwicklungen in Richtung der Umsetzung der car2infrastructure Kommunikation können die Funktionalität der Steuerungen wesentlich unterstützen.

### BAB

Das Österreichische Immissionsschutzgesetz-Luft (IG-L) sieht im Falle von Grenzwertüberschreitungen Tempolimits auf Autobahnen, i.d.R. 100 km/h vor. Die dynamische Beschilderung findet u.a. im Rahmen von Verkehrsbeeinflussungsanlagen statt. Derzeit sind die VBA Umwelt Steiermark und Tirol West umgesetzt. Die berechneten Wirkungen bezüglich NO<sub>x</sub>-Emissionen weisen für den Pkw-Verkehr in den genannten Bereichen von -23 % aus /FGSV 2014b/.

### **Maßnahme 3.1.2: Einführung Doppeldeckerbusse**

Die Platzkapazität von Doppeldeckerbussen entspricht in etwa der einfacher Gelenkbusse. Sie haben aber den Vorteil, dass aufgrund der deutlich kürzeren Fahrzeuglänge die Störanfälligkeit des Verkehrsflusses vor allem in engen Innenstadtbereichen sinkt. Auch können ggf. Freigabezeiten für die Busse an LSA verkürzt werden und Grünzeiten für andere Verkehrsteilnehmergruppen (z.B. Fußgänger und Radfahrer) verlängert werden. Bei der Realisierung entsprechender Linien sind die geometrischen Randbedingungen in der Höhe zu berücksichtigen (Lichtraumprofile, Durchfahrtshöhen von Brücken).

### **Maßnahme 3.1.3: Lkw-Führungskonzepte**

Wie bei der umweltsensitiven Verkehrssteuerung ist auch bei Lkw-Führungskonzepten das Ziel, Verkehr so zu leiten, dass die Emissionen insgesamt gesenkt werden. Dabei stehen hier die schweren Nutzfahrzeuge im Fokus. Das Lkw-Führungsnetz (-vorrangnetz) sollte sich in größeren Ballungsräumen nicht nur auf eine Kommune beschränken, damit es nicht zu unerwünschten Verlagerungen in Nachbarkommunen kommt, und eine großräumige Routenoptimierung möglich ist.

In Hamm und Dortmund wurden pilothaft Lkw-Routenkonzepte entwickelt. Deren Versorgung in entsprechend ausgerüsteten Navigationssystemen wird in Kooperation mit der ehemaligen Nokia-Tochter „Here“ (Hersteller digitaler Karten) im gesamten Ruhrgebiet umgesetzt. Entsprechende Planungen gibt es auch für die hochverdichteten Räume im Rheinland. Diese werden wesentlich von den örtlichen IHKs vorangetrieben.

Im Rahmen der Machbarkeitsstudie Essener Norden wurden Maßnahmen zur Lkw-Führung in Bezug auf die Überschreitungssituation an der Gladbecker Straße untersucht. Im Ergebnis sanken die Lkw-Fahrleistungen im Untersuchungsgebiet um -2,4 %, während die Kfz-Fahrleistungen geringfügig um 0,1 % zunahmen. Bezüglich NO<sub>x</sub> konnte insgesamt lediglich eine Abnahme von 0,2 % rechnerisch nachgewiesen werden. Lkw-Führungskonzepte verändern die Fahrzeugströme sowohl der Lkw als auch der Pkw im beeinflussten Straßennetz und können so auch zu Mehrwegen führen, wenn Alternativrouten für die Pkw zeitlich attraktiver werden. Daher ist es bei der Einführung solcher Führungskonzepte sicherzustellen, dass zumindest eine NO<sub>x</sub>-Emissions-Neutralität im Gesamtnetz gewahrt bleibt.

Die Maßnahme ist als Teil einer umfassenden Citylogistik zu sehen.

### **Maßnahme 3.1.4: Mobilitätsslots**

Mobilitätsslots dienen dazu, Fahrleistung aus den Spitzenzeiten in Zeiten mit geringerer Auslastung, so genannte Mobilitätsslots, zu verschieben. Dadurch werden Staus vermieden, Reisezeitverluste und Emissionen gesenkt.

In den Niederlanden wurden Mobilitätsslots in drei Runden zwischen 2011 und 2014 im hoch belasteten Autobahndreieck zwischen Utrecht, Hilversum und Amersfoort getestet /spitsvrij 2014/. Die Teilnehmer verpflichteten sich, diese Strecken morgens in der Zeit zwischen 6.30 Uhr und 09.30 Uhr zu meiden. Für jeden erfolgreichen Tag wurden Punkte gesammelt, für jeden Punkt wurden nach Beendigung der Runde zwei Euro ausgezahlt. Die mittleren Zahlungen lagen bei 40 bis 50 Euro pro Monat.

Das Programm war insgesamt sehr erfolgreich. Während der morgendlichen Spitzenzeiten befuhren je nach Runde 1.750 bis 3.000 Fahrzeuge weniger den Untersuchungsraum. Insgesamt konnten u.a. auch aufgrund anderer Verkehrsmittelwahl 70.000 Fahrzeugkilometer pro Tag eingespart werden. Erstaunlich war der Nachhaltigkeitseffekt. Nach Beendigung der Runden behielten zwischen 60 % und 70 % der Teilnehmer die neuen Fahrmuster bei und fuhren auch ohne Belohnung nicht mehr zu Spitzenzeiten, weil die Zeitersparnis als großer Vorteil empfunden wurde.

Entsprechend können auch für den städtischen Lieferverkehr mit der Einführung von City-Logistik zeitliche Slots für die Lieferadressen zugewiesen werden.

Auch das Land Hessen plant die Einführung von Mobilitätsslots. Im Rahmen des Projekts „Konzeption Mobilitätsslots im Straßennetz“ wurde das Tool „Mobislot“ entwickelt und getestet, mit dessen Hilfe Mobilitätsslots auf Autobahnen in Hessen identifiziert und zugewiesen werden /Straßenverkehrstechnik 2015/.

### **Maßnahme 3.1.5: Verkehrszentrale NRW, Ausbau Netz- und Streckenbeeinflussung, temporäre Seitenstreifenfreigabe**

Diese Maßnahme zielt auf ein besseres Management des Autobahnverkehrs. Wesentliche Aufgabe der Verkehrszentrale NRW ist die zentrale Steuerung von Strecken- und Netzbeeinflussungsanlagen. Ziel dieser Anlagen ist es, durch die Erhöhung der Leistungsfähigkeit von hochbelasteten Strecken und Teilnetzen sowie durch schnelles Störfallmanagement den Abbau von Stausituationen zu vermeiden bzw. zumindest abzubauen. Streckenbeeinflussungsanlagen führen nachweislich zu einer Erhöhung der Leistungsfähigkeit um bis zu 10 % und einer Senkung der Unfälle um bis zu 30 %, und somit auch zur Verringerung unfallbedingter Staus /MBWSV 2015a/. Neben den bereits bestehenden Anlagen befinden sich z.Zt. gemäß Projektplan Straßenverkehrstelematik des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur noch 23 Abschnitte zur entsprechenden Ausrüstung in der Planung oder Umsetzung.

Im Rahmen des BAB-Verkehrsmanagements ist die temporäre Freigabe des Seitenstreifens für den Verkehr eine weitere Möglichkeit, zu Spitzenzeiten die Kapazität eines Autobahnabschnitts zu erhöhen und damit Staus und Emissionen zu reduzieren. Die entsprechenden Abschnitte werden per Videokamera überwacht. Bei angespannter Verkehrslage können Autofahrer auf diesen Abschnitten den Seitenstreifen als zusätzliche Verkehrsspur nutzen, wenn sich dort kein liegen gebliebenes Fahrzeug befindet. In diesem Fall wird die Freigabe

über Wechselverkehrszeichen angezeigt. Kurzfristig kann durch die Seitenstreifenfreigabe die Kapazität von zweistreifigen Richtungsfahrbahnen um ca. 30 % gesteigert werden. Für die A 57 zwischen den Anschlussstellen Köln-Longerich und Köln-Bickendorf konnte die Stauanzahl bis zu 90 % gesenkt werden. Die Unfälle gingen um 23 % zurück /MBWSV 2015a/.

Aktuell gibt es in NRW drei Streckenabschnitte mit temporärer Seitenstreifenfreigabe /Straßen.NRW 2014/. Nach einer Untersuchung der Ruhr Universität Bochum /RUB 2011/ sind in NRW auf elf Autobahnabschnitten mit Engpässen mit einer Länge von ca. 100 Richtungskilometern die Seitenstreifen für eine temporäre Freigabe prinzipiell geeignet.

Das Land NRW sollte hier weiterhin an einer zügigen Umsetzung der geplanten Anlagen arbeiten.

### **Maßnahme 3.1.6: Bauliche Kapazitätserweiterung von BAB**

Durch den kapazitiven Ausbau zur Beseitigung von Engpässen hochbelasteter und stauanfälliger Autobahnstreckenzüge kann der Verkehrsfluss grundsätzlich verbessert werden und Staus sowie NO<sub>x</sub>-Emissionen abgebaut werden.

Laut derzeit noch gültigem Bedarfsplan für die Bundesfernstraßen stehen ca. 270 km bestehender Autobahnabschnitte zur Querschnittserweiterung (in Bau oder vordringlicher Bedarf), überwiegend von 4 auf 6 Fahrstreifen, an. Dabei sind einige Abschnitte auch für eine (bis zum Ausbau übergangsweise) temporäre Seitenstreifenfreigabe vorgesehen.

Z.Zt. wird der Bedarfsplan im Rahmen der Aufstellung des Bundesverkehrswegeplans (BVWP) 2015 überprüft und neu aufgestellt.

Ziel des Landes muss es sein, möglichst zügig planfestgestellte Abschnitte zu realisieren und bei den übrigen die Planung bis zur Baureife voranzutreiben.

### **Maßnahme 3.1.7: Kooperatives Baustellenmanagement**

Die Staus auf Autobahnen in NRW werden wie eingangs beschrieben zu 48 % durch Baustellen verursacht. Baustellen verursachen damit fast die Hälfte der Staus in NRW und leisten den größten Einzelbeitrag. Auf Tagesbaustellen entfallen rund 10 % der baustellenbedingten Staus in NRW /RUB 2011/.

Durch kooperatives Baustellenmanagement sollen die durch Baustellen verursachten Staus verringert werden. Dafür werden bereits im Vorfeld die Wechselwirkung von Baustellen und Verkehr insbesondere bei Großprojekten aufeinander abgestimmt. Das bedeutet z.B. eine Vermeidung zeitgleicher Baustellen auf parallel verlaufenden Autobahnabschnitten, die jeweils als Ausweichroute dienen können.

Durch Baustellenmanagementsysteme können die Ausführungszeiträume von Tagesbaustellen automatisch so bestimmt werden, dass nur geringe Einschränkungen für den Verkehr entstehen. Damit können Tagesbaustellen auf stark belasteten Streckenabschnitten zu Berufsverkehrszeiten, bei Großereignissen oder zum Ferienstart vermieden werden, es sei denn, der Schaden stellt ein hohes Sicherheitsrisiko dar.

Das Land Hessen betreibt ein Slotmanagement für Baustellen /Hessen 2015/. Das Grundprinzip orientiert sich an den Online-Buchungssystemen für Flug- und Bahntickets und erspart so umständliche schriftliche Anträge und Genehmigungen. Das System prüft automatisch, wann das Verkehrssystem eine Baustelle „verkräftet“ und ermittelt so für beabsichtigte Arbeiten auf Autobahnen geeignete Slots und bietet sie dem Bauausführenden, zum Beispiel Autobahnmeistereien oder externen Baufirmen, zur Auswahl an.

### **Maßnahme 3.1.8: Fahrerassistenzsysteme, kooperative Systeme**

Fahrerassistenzsysteme wie z.B. Einparkhilfen, Spurwechselassistenten, automatische Abstandswarner, Totwinkel-Überwachung, Abstandsregeltempomaten oder Notbremssystem zum Fußgängerschutz sind bereits heute Stand der Technik. Dabei wird auf Informationen zurückgegriffen, die im Fahrzeug selbst vorliegen oder durch Sensoren (Ultraschall, Radar, Lidar, Kamera) ermittelt werden.

Im Rahmen des euroFOT-Projekts /EUROFOT 2012/ wurde die Wirkung von Abstandsregeltempomaten auf den Kraftstoffverbrauch untersucht, es ergab sich im Mittel eine Einsparung von 1,4 %.

In der Entwicklung befinden sich kooperative Systeme, bei denen zusätzlich zu den im Fahrzeug selbst vorliegenden Informationen ein Informationsaustausch mit den Fahrzeugen der näheren Umgebung (car2car) oder der umliegenden Infrastruktur (car2infrastructure) stattfindet. Dies ermöglicht eine Kombination der Wirkung von Fahrerassistenzsystemen auf der Fahrzeugseite und Telematikanwendungen auf Seiten der Infrastruktur, einschließlich der Steuerung von Lichtsignalanlagen. Es ist zu erwarten, dass dadurch der Verkehrsfluss zusätzlich verstetigt und auch die NO<sub>x</sub>-Emissionen reduziert werden können.

Das Land NRW soll kurz- bis mittelfristig weitere Forschung zur Weiterentwicklung der Systeme und die Einrichtung von Testfeldern/Modellregionen bei gleichzeitiger Stärkung des hiesigen Wirtschafts- und Wissenschaftsstandortes unterstützen. In ihrer 1. Jahrestagung hat IST NRW im Juni in Düsseldorf einen entsprechenden Forderungskatalog an die Landesregierung vorgelegt. Darin wird u.a. mit Schwerpunkt Logistik eine Modellregion L2x gefordert.



### **Minderungspotenzial der Strategie 3.1: Abbau von Stausituationen**

Das NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial für die Strategie „Abbau von Staus“ wurde für folgende Einzelmaßnahmen bzw. Maßnahmenbündel ermittelt:

- Verkehrsabhängige LSA-Steuerung
- Lkw-Führungskonzepte
- Mobilitätsslots
- Seitenstreifenfreigabe auf BAB, Ausbau auf BAB

Es wurde für die Berechnungen von den folgenden Randbedingungen ausgegangen:

Verkehrsabhängige LSA-Steuerung:

- Es wurde die im Rahmen eines Projektes der TU Graz ermittelte Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen von 10 % durch Einführung einer verkehrsadaptiver Steuerung angesetzt.
- Es wurde angenommen, dass alle Innerortsstraßen mit DTV-Belastungen >20.000 Kfz/24h mit entsprechenden Anlagen ausgestattet werden.

Lkw-Führungskonzepte:

- Aus der Studie zum Essener Norden liegt die Angabe vor, dass sich durch die Einführung eines Lkw-Führungskonzeptes die gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen im betroffenen Gebiet um 0,2 % gesenkt werden.
- Es wurde angenommen, dass entsprechende Lkw-Führungskonzepte vor allem in Ballungsräumen (Einwohner >200.000) eingerichtet werden.

Mobilitätsslots:

- Es wurde angenommen, dass das Mobilitätsslots-System in Ballungsräumen (Einwohner >200.000) eingeführt wird.
- Des Weiteren wurde angenommen, dass nur hochbelastete Straßen mit DTV-Werten >20.000 Kfz/24h einbezogen werden und die Einführung der Mobilitätsslots zu einem Abbau der Staus führt.

Seitenstreifenfreigabe auf BAB:

- Es wurden die Abschnitte auf den BAB in NRW selektiert, für die eine Seitenstreifenfreigabe möglich ist.
- Für diese Teilmengen wurde angenommen, dass die temporäre Freigabe der Seitenstreifen zu einer Verbesserung der Verkehrsablaufbedingungen insbesondere in den Spitzenstunden führt und dadurch Stau abgebaut wird.

Ausbau von BAB:

- Es wurden die Abschnitte auf den BAB in NRW selektiert, für die ein Ausbau geplant ist.

- Für diese Teilmengen wurde angenommen, dass es durch den Ausbau zu einer Verbesserung der Verkehrsablaufbedingungen insbesondere in den Spitzenstunden kommt und dadurch Stau abgebaut wird.

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen wurden für die Jahre 2020 und 2025 die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW ermittelt und die Wirkung der einzelnen Maßnahmen im Vergleich zur Trendentwicklung ausgewiesen. Im Einzelnen wurden die folgenden NO<sub>x</sub>-Minderungen berechnet:

- Verkehrsabhängige LSA-Steuerung: für 2020 167 t/a (0,4 %), für 2025 101 t/a (0,4 %)
- Lkw-Führungskonzepte: für 2020 28 t/a (0,1 %), für 2025 19 t/a (0,1 %)
- Mobilitätsslots: für 2020 62 t/a (0,2 %), für 2025 40 t/a (0,2 %)
- Seitenstreifenfreigabe BAB: für 2020 und 2025 weniger als 5 t/a (0,01 %)
- Ausbau BAB : für 2020 10 t/a (0,02 %), für 2025 7 t/a (0,03 %)

Für 2020 ergibt sich insgesamt eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW von 272 t/a (0,7 %) und für 2025 von 172 t/a (0,7 %), wobei die höchste Einzelwirkung durch eine verbesserte Signalsteuerung innerorts erzielt werden könnte.

<b>V 3.1 Strategie: Abbau von Stausituationen</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Bund, NRW, Kommunen		alle motorisierten Verkehrsteilnehmer	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Diese Strategie enthält eine Vielzahl von Maßnahmen zum Abbau von Stausituationen sowohl innerstädtisch wie auch auf BAB. Die Maßnahmen betreffen die Steuerung von Verkehr (umweltsensitive bzw. netzadaptive Verkehrssteuerung, Lkw-Führungskonzepte, Streckenbeeinflussung auf BAB), die Beseitigung von Engpässen (auf BAB: temporäre Seitenstreifenfreigabe, kooperatives Baustellenmanagement, Kapazitätsausbau im bestehenden Netz) und die zeitliche Verlagerung von Verkehr von den Spitzenzeiten in Zeiten mit geringerer Auslastung. Bei einer hinreichenden Durchdringung der Flotte mit Fahrzeugen, die zur car2car und car2x Kommunikation fähig sind, können auch kooperative Systeme zur Minderung von Staus beitragen.			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung:</b> Da die NO <sub>x</sub> -Emissionen im Stau bzw. zähfließenden Verkehr besonders hoch sind, dient der Abbau von Stausituationen der Minderung der Emissionen.			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012/2013 (Basisfall)	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	79.989	39.754	26.675
Maßnahme	3.1.1 Umweltsensitive Verkehrssteuerung, verkehrsadaptive Signalsteuerung		
Minderung ggü. Trend [t]		64	38
Minderung ggü. Trend (Anteil)		0,2%	0,1%
Maßnahme	3.1.3 Lkw-Führungskonzepte		
Minderung ggü. Trend [t]		28	19
Minderung ggü. Trend (Anteil)		0,07%	0,07%
Maßnahme	3.1.4 Mobilitätsslots		
Minderung ggü. Trend [t]		62	40
Minderung ggü. Trend (Anteil)		0,16%	0,15%
Maßnahme	3.1.5 Verkehrszentrale NRW, Ausbau Netz/Streckenbeeinflussung, temporäre Seitenstreifenfreigabe		
Minderung ggü. Trend [t]		3	2
Minderung ggü. Trend (Anteil)		0,01%	0,01%
Maßnahme	3.1.6 Bauliche Kapazitätserweiterung von BAB		
Minderung ggü. Trend [t]		10	7
Minderung ggü. Trend (Anteil)		0,02%	0,03%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	mehr oder minder hohe Investitionskosten für die Einführung der verschiedenen Systeme bzw. für den Kapazitätsausbau (nicht direkt den NO <sub>x</sub> -Minderungszielen zuzuordnen)		
Wirkung auf PM10:	positiv		
Wirkung auf Klima:	positiv		
Wirkung auf Lärm	gering positiv; durch den Kapazitätsausbau bestehender Autobahnabschnitte besteht Anrecht auf ausreichenden (verbesserten) Lärmschutz		
Technologische Aspekte:	Technologie verfügbar für alle Maßnahmen außer den kooperativen Systemen		
Rechtliche Aspekte:	rechtliche Regelungen für die Einführung weiterer kooperativer Systeme erforderlich		
Ökonomische Aspekte:	teilweise hohe Investitionen in Infrastruktur (Kapazitätsausbau); ggf. europaweite Ausschreibung; Steueraufkommenseffekte; Abbau von Stausituationen erhöht die mittlere Reisegeschwindigkeit, dadurch werden Zeit- und Betriebskosten eingespart und Unfälle vermieden; Reduktion der externen Kosten der Luftverschmutzung		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	Kapazitätsausbau im bestehenden BAB-Netz möglicherweise in Konkurrenz zum Ausbau des Schienennetzes (Strategien 2.2 und 2.3: Veränderung des Modal Split im Personenfernverkehr und im Güterverkehr)		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	Finanzielle Mittel müssen zur Verfügung gestellt werden.		

Bild 5.43: Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Abbau von Stausituationen“

### 5.3.3.2 Strategie 3.2: Förderung von kraftstoffsparendem Fahren

Durch spritsparende Fahrweisen lassen sich nach Angaben des ADAC 10 % bis 20 % Kraftstoff allein durch die richtige Gangwahl einsparen. Insbesondere frühes Hochschalten und spätes Zurückschalten sind entscheidend, da Motoren bei höheren Gängen und damit niedrigeren Drehzahlen sparsamer laufen. Auswertungen von Pkw-Messfahrten im Geschwindigkeitsbereich von 40-60 km/h in der Ebene haben gezeigt, dass für die Konstantfahrtbereiche bei einer Wahl des 3. oder 4. Gangs anstatt des 2. es zu NO<sub>x</sub>-Reduktionen von über -50 %, bei Wahl des 4. Gangs im Vergleich zum 3. Gang immerhin noch zu einer Minderung von -7 % NO<sub>x</sub> kommen kann /AVISO 2012b/.

Durch vorausschauendes Fahren können kurzfristige Beschleunigungs- und Bremsvorgänge vermieden werden, was ebenfalls Kraftstoff einspart und Emissionen mindert. Hinzu kommt die zunehmende Ausrüstung der Fahrzeuge mit Schaltpunktanzeige und Start-Stop-Automatik.

#### Exkurs: Entwicklung der Pkw-Fahrerlaubnisse

In NRW waren am 01.01.2015 insgesamt ca. 3,2 Mio. Pkw-Fahrerlaubnisse ausgestellt /KBA 2015b/. Bezogen auf die fahrberechtigte Bevölkerung über 18 Jahre (Anteil ca. 82 % an der Gesamtbevölkerung) haben rd. 22 % eine Pkw-Fahrberechtigung. Betrachtet man die jährlichen Zuwachsraten der letzten Jahre, so zeigt sich ein stetiger Rückgang. Während der Zuwachs in 2009 bezogen auf das Vorjahr noch bei 11,5 % lag, sank der Wert bis 2015 auf 6,4 %. Die Entwicklung in NRW entspricht dabei der in Deutschland. Schreibt man den fallenden exponentiellen Trend fort, so wird sich die Zuwachsrate bis 2025 auf knapp 2 % absenken. Die Fahrerlaubnisse werden bis dahin auch aufgrund des demografischen Effektes noch weiter zunehmen, jedoch zunehmend gedämpft.

Maßnahmen zur Förderung von kraftstoffsparendem Fahren sind in Bild 5.44 aufgelistet.

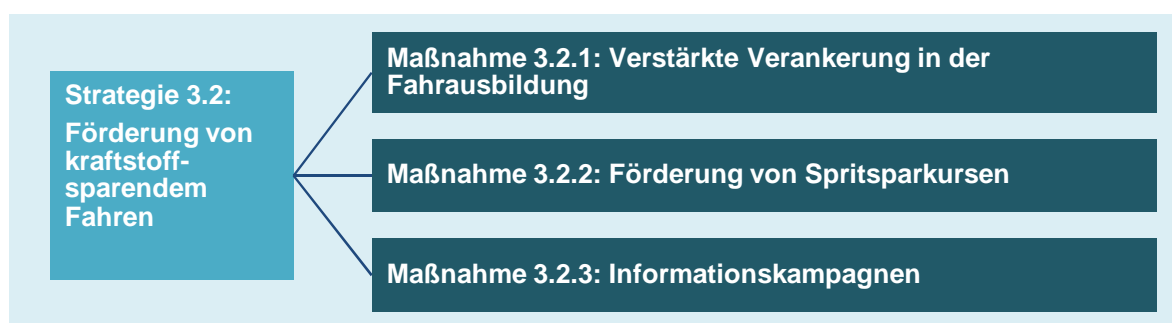


Bild 5.44: Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Förderung von kraftstoffsparendem Fahren“

**Maßnahme 3.2.1: Verstärkte Verankerung in der Fahrausbildung**

Kraftstoffsparende Fahrweisen werden in der Fahrausbildung thematisiert (z.B. im Themenfeld „Geschwindigkeit, Abstand und umweltschonende Fahrweise“), der Schwerpunkt liegt jedoch auf anderen Aspekten. Die Landesregierung kann sich dafür einsetzen, dass kraftstoffsparende Fahrweisen in der Fahrausbildung ein stärkeres Gewicht bekommen.

Das Berufskraftfahrer-Qualifikations-Gesetz (BKrFQG) sieht vor, dass Berufskraftfahrer, also Bus- und Lkw-Fahrer, alle fünf Jahre eine 35-stündige Weiterbildung absolvieren. Das Arbeitspaket „Wirtschaftliches Fahren“ ist bereits Bestandteil dieser Weiterbildung, hier kann der Schwerpunkt noch mehr auf die Umweltaspekte gelegt werden.

**Maßnahme 3.2.2: Förderung von Spritsparkursen**

Die meisten Fahrschulen und auch der ADAC bieten Spritsparkurse an. Die meisten Autofahrer halten solche Kurse zwar für gut, nehmen jedoch nicht unbedingt auch daran teil. Eine Maßnahme ist hier die Förderung von Kursen für Privatpersonen und für Mitarbeiter von Firmen mit größeren Fuhrparks. Im öffentlichen Bereich können Kurse z.B. für Busfahrer kommunaler Verkehrsunternehmen verpflichtend werden.

**Maßnahme 3.2.3: Informationskampagnen**

Durch Informationskampagnen in Zusammenarbeit mit den relevanten Berufsverbänden und Gewerkschaften können die Vorteile des kraftstoffsparenden Fahrens stärker im Bewusstsein der Verkehrsteilnehmer verankert werden.

**Minderungspotenzial der Strategie 3.2: Förderung von kraftstoffsparendem Fahren**

Für die Strategie „Förderung von kraftstoffsparendem Fahren“ wurde eine Abschätzung des NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzials durchgeführt.

Ausgehend von folgenden Randbedingungen wurden die NO<sub>x</sub>-Emissionen für den Straßenverkehr NRW ermittelt:

- Es wurde nur die Pkw-Fahrleistung im Innerortsbereich bei freiem Verkehrsfluss berücksichtigt.
- Es wurde angenommen, dass 7 % der NO<sub>x</sub>-Emissionen durch kraftstoffsparende Fahrweise.

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen wurden für die Jahre 2020 und 2025 die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW ermittelt und die Wirkung im Vergleich zur Trendentwicklung berechnet.

Für 2020 ergibt sich eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW von 429 t/a (1,1 %), für 2025 von 295 t/a (1,1 %).

<b>V 3.2 Strategie: Förderung von kraftstoffsparendem Fahren</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
NRW, Verbände		MIV-Nutzer in NRW	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Im Rahmen dieser Strategie soll die Umsetzung kraftstoffsparender Fahrweisen gefördert werden.			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung:</b> Durch kraftstoffsparende Fahrweisen können auch die NO <sub>x</sub> -Emissionen gemindert werden. Aufgrund der Abgasnachbehandlungssysteme ist der Einfluss der Fahrweise auf die NO <sub>x</sub> -Emissionen nicht unbedingt gleich dem Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch.			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012/2013 (Basisfall)	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	79.989	39.754	26.675
Maßnahme	3.2.1 Verstärkte Verankerung in der Fahrausbildung		
Maßnahme	3.2.2 Förderung von Spritsparkursen		
Maßnahme	3.2.3 Informationskampagnen		
Minderung ggü. Trend [t]		429	295
Minderung ggü. Trend (Anteil)		1,08%	1,11%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	gering (Förderung von Spritsparkursen, Informationskampagnen)		
Wirkung auf PM10:	positiv		
Wirkung auf Klima:	positiv		
Wirkung auf Lärm	keine		
Technologische Aspekte:	Technologie verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	ggf. Änderung der Fahrschülerausbildungsordnung		
Ökonomische Aspekte:	Reduktion der externen Kosten der Luftverschmutzung; Steueraufkommenseffekte		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	keine		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	keine		

Bild 5.45: Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Förderung von kraftstoffsparendem Fahren“

### 5.3.3.3 Strategie 3.3: Geschwindigkeitsbeschränkungen

Mit zunehmender Fahrzeuggeschwindigkeit nehmen auch die Reibungsverluste zu. Die zur Überwindung des Luftwiderstands erforderliche Motorleistung wächst mit der dritten Potenz der Geschwindigkeit. Daraus folgt, dass der Luftwiderstand bei kleinen Geschwindigkeiten keinen großen Einfluss hat, mit zunehmender Geschwindigkeit jedoch immer wichtiger wird. Geschwindigkeitsbeschränkungen sind daher zur Minderung von Kraftstoffverbrauch und Emissionen prinzipiell geeignet. Die untersuchten Maßnahmen zur Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen durch Geschwindigkeitsbeschränkungen sind in Bild 5.46 aufgelistet.

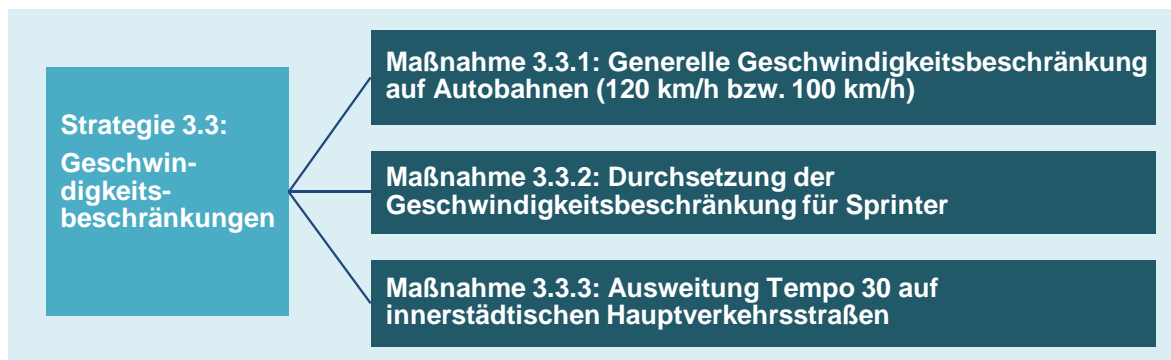


Bild 5.46: Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Geschwindigkeitsbeschränkungen“

#### Maßnahme 3.3.1: Generelle Geschwindigkeitsbeschränkung auf Autobahnen

Hier werden zwei Varianten dieser Maßnahme untersucht:

- Generelle Geschwindigkeitsbeschränkung auf Autobahnen auf 120 km/h. Dies entspricht einer Anpassung an europäische Standards (z.B. in Nachbarländern wie Belgien oder der Schweiz).
- Generelle Geschwindigkeitsbeschränkung auf Autobahnen auf 100 km/h bei gleichzeitiger Absenkung der generellen Geschwindigkeitsbeschränkung auf Bundesstraßen außerhalb geschlossener Ortschaften auf 80 km/h.

Im Rahmen einer Tagung mit dem Thema „Weniger ist mehr! Was bringen Tempolimits?“ haben Mitarbeiter des österreichischen Umweltbundesamtes vorgestellt, dass eine permanente Herabsetzung des gültigen Tempolimits von 130 km/h auf 120 bzw. 100 km/h die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Autobahnen und Schnellstraßen in Österreich um 9 % bzw. 21 % verringern kann /Schneider 2014/.

Bei einer Anpassung der generellen Geschwindigkeitsbeschränkungen ist die StVO entsprechend zu ändern. NRW kann hier mit einer konzertierten Länderinitiative auf die Bundesregierung einwirken.

### Maßnahme 3.3.2: Durchsetzung der Geschwindigkeitsbeschränkung für Sprinter

Für Kleintransporter (3,5 t bis 7,5 t zulässige Gesamtmasse, sog. „Sprinter“) gilt, wie für alle anderen Fahrzeuge, die nach Bauart und Einrichtung zur Beförderung von Gütern bestimmt sind, auf Autobahnen und Bundesstraßen eine generelle Geschwindigkeitsbeschränkung von 80 km/h. Die vorwiegend von KEP-Diensten eingesetzten Fahrzeuge sind zumeist jedoch als „Pkw geschlossen“ zugelassen. Bei Verstößen wird juristisch oft der „Verbotsirrtum“ vorgebracht, wonach bislang in der Rechtsprechung auch für den Beschuldigten entschieden wurde. Nach einem Urteil des Europäischen Gerichtshofs (Urteil vom 13.07.2006 - C-83/05) gilt die zulässige Höchstgeschwindigkeit auch, wenn sie als Pkw zugelassen sind. Wenn die Fahrzeuge als Pkw zugelassen sind, entfällt auch die Pflicht des Einbaus eines manipulationssicheren Geschwindigkeitsbegrenzers. Daher ist zu beobachten, dass die Beschränkung auf 80 km/h hier i.d.R. nicht eingehalten wird und sogar bis zu 100 % überschritten wird. Eine Durchsetzung der nach StVO geltenden zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h (Geschwindigkeitsbegrenzer auf maximal 90 km/h einstellbar) würde in diesem Fahrzeugsegment die NO<sub>x</sub>-Emissionen erheblich reduzieren und zu mehr Verkehrssicherheit führen, was wiederum auch die unfallbedingten Staus zu reduzieren hilft.

Es besteht hinsichtlich der Zulassungsrichtlinien entsprechender Handlungsbedarf, um die rechtliche Grauzone eindeutig zu regeln. Hier kann das Land eine konzertierte Länderinitiative beim Bund zur Novellierung der Zulassungsrichtlinien starten.

### Maßnahme 3.3.3: Ausweitung Tempo 30 auf innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen

Zu den Auswirkungen von Tempo 30 (T30) auf innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs gibt es verschiedene Untersuchungen und Messfahrten insbesondere in Kommunen in Baden-Württemberg (/TÜV Nord 2011/, /AVISO 2012b/) mit teils unterschiedlichen Ergebnissen. Der Grund dafür ist folgender:

Eine Reduktion der Geschwindigkeit von 50 km/h auf 30 km/h hat zwei verschiedene Auswirkungen auf die Fahrzeugemissionen:

1. Die **Konstantfahrtemissionen** sind bei 30 km/h höher als bei 50 km/h. In diesem Geschwindigkeitsbereich ist der Luftwiderstand nicht so entscheidend wie bei höheren Geschwindigkeiten. Heutige Fahrzeuge und Motoren sind für 50 km/h optimiert, außerdem wird häufig bei 30 km/h in einem niedrigeren Gang gefahren als bei 50 km/h. Dadurch ist die Motordrehzahl bei T30 höher, was sich emissionserhöhend auswirkt.
2. Die **Beschleunigungsphase** nach einem Halt oder einer Störung ist hingegen bei T30 kürzer als bei T50, da die Beschleunigung zwischen 30 km/h und 50 km/h entfällt. Enge Kurven oder Kreisverkehrsplätze können bei 30 km/h häufig ohne Geschwindigkeitsreduktion durchfahren werden, während bei 50 km/h zunächst gebremst und nachher entsprechend beschleunigt werden muss. Da die Emissionen



in Beschleunigungsphasen generell erhöht sind, wirkt sich dies emissionsmindernd aus.

Auf Strecken mit flüssigem Verkehrsablauf überwiegt die erste Wirkung, hier führt T30 gegenüber T50 zu höheren NO<sub>x</sub>-Emissionen. Auf Strecken mit hohem Störungsgrad oder häufigen Kurven bzw. Kreisverkehrsplätzen überwiegt die zweite Wirkung und T30 führt gegenüber T50 i.d.R. zu niedrigeren NO<sub>x</sub>-Emissionen. Also sind die örtlichen Randbedingungen entscheidend für die Wirkungsrichtung von T30 auf Hauptverkehrsstraßen.

Zudem erhöhen sich in den meisten Fällen der Kraftstoffverbrauch und die PM10-Abgasemissionen. Bei den PM10 Abriebs- und Aufwirbelungsanteilen kann ein leichter Rückgang erwartet werden.

Eine pauschale landesweite Aussage zur Einführung von T30 kann somit nicht getroffen werden.

Modellversuche zur Höchstgeschwindigkeit von Tempo 30 innerhalb geschlossener Ortschaften sind Teil des Entwurfs des Klimaschutzplanes NRW vom 12.06.2015.

### **Minderungspotenzial der Strategie 3.3: Geschwindigkeitsbeschränkungen**

Für die Strategie „Geschwindigkeitsbeschränkungen“ wurde eine Abschätzung des NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzials für die Einführung eines Tempolimits auf Autobahnen durchgeführt.

Ausgehend von folgenden Randbedingungen wurden die NO<sub>x</sub>-Emissionen für den Straßenverkehr NRW ermittelt:

- Es wurden zwei Varianten untersucht: Tempolimit 120 km/h und Tempolimit 100 km/h auf allen Autobahnen in NRW.
- Es wurde nur die Teilmenge der Fahrleistungen auf BAB von der Maßnahme beeinflusst, für die bisher kein Tempolimit existiert.

Unter Berücksichtigung dieser Randbedingungen wurden für die Jahre 2020 und 2025 die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs NRW ermittelt und die Wirkung im Vergleich zur Trendentwicklung berechnet. Im Einzelnen wurden die folgenden NO<sub>x</sub>-Minderungen berechnet:

- Tempolimit 120 km/h auf BAB: für 2020 1.778 t/a (4,5 %), für 2025 1.258 t/a (4,7 %)
- Tempolimit 100 km/h auf BAB: für 2020 2.628 t/a (6,6 %), für 2025 1.859 t/a (7,0 %)

<b>V 3.3 Strategie: Geschwindigkeitsbeschränkungen</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Bund, NRW, Kommunen		MIV-Nutzer	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Durch generelle Geschwindigkeitsbeschränkungen auf BAB, bzw. Herabsetzen der Tempolimits auf sonstigen Außerortsstraßen sollen die NO <sub>x</sub> -Emissionen gesenkt werden. Variante 1: Tempolimit von 120 km/h auf BAB, Variante 2: Tempolimit von 100 km/h auf BAB und 80 km/h außerhalb geschlossener Ortschaften; ob Tempo 30 auf innerstädtischen Hauptverkehrsstraßen zu Emissionsminderungen führt, hängt jeweils von der betreffenden Strecke ab, daher sollte dies nicht generell als Maßnahme betrachtet werden.			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung:</b> Mit zunehmender Geschwindigkeit nehmen die Reibungsverluste zu. Die zur Überwindung des Luftwiderstands erforderliche Motorleistung wächst mit der dritten Potenz der Geschwindigkeit. Der Luftwiderstand hat bei kleinen Geschwindigkeiten daher nur geringen Einfluss, wird mit zunehmender Geschwindigkeit immer wichtiger. Geschwindigkeitsreduktionen sind daher prinzipiell zur Reduktion der NO <sub>x</sub> -Emissionen geeignet.			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012/2013 (Basisfall)	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	79.989	39.754	26.675
Maßnahme	3.3.1, Variante 1: Generelle Geschwindigkeitsbeschränkung auf Autobahnen 120 km/h		
Minderung ggü. Trend [t]		1.778	1.258
Minderung ggü. Trend (Anteil)		4,5%	4,7%
Maßnahme	3.3.1, Variante 2: Generelle Geschwindigkeitsbeschränkung auf Autobahnen 100 km/h		
Minderung ggü. Trend [t]		2.628	1.859
Minderung ggü. Trend (Anteil)		6,6%	7,0%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	gering		
Wirkung auf PM10:	positiv		
Wirkung auf Klima:	positiv		
Wirkung auf Lärm	positiv		
Technologische Aspekte:	Technologie verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	Änderung der Straßenverkehrsordnung durch den Bund erforderlich		
Ökonomische Aspekte:	Reduktion der externen Kosten der Luftverschmutzung und der Lärmbelastung; Senkung der Fahrzeugbetriebskosten		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	keine		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	NRW kann mittelbar auf Bundesregierung einwirken, ggf. Akzeptanzprobleme		

Bild 5.47: Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Geschwindigkeitsbeschränkungen“

### 5.3.4 Zusammenfassung

In nachstehender Tabelle sind die abgeschätzten NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale für die einzelnen Handlungsfelder und Strategien im Straßenverkehr zusammengestellt. Eine zusammenfassende Bewertung befindet sich in Kapitel 9.6.

Tab. 5.1: NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale im Straßenverkehr 2020 und 2025 in NRW

NO <sub>x</sub> -Minderungspotenziale			2020		2025	
			t/a		t/a	
<b>1</b>	<b>Handlungsfeld: Fahrzeuge, Antriebe, Kraftstoffe</b>					
1.1	Förderung der Elektromobilität	100% BEV	343	0,9%	1.051	3,9%
		25% BEV/ 75% Hybrid	95	0,2%	282	1,1%
	Modellstadt Elektromobilität (alle Städte in NRW Modellstädte, Maximalabschätzung)	100% BEV	551	1,4%	2.160	8,1%
1.2	Förderung alternativer Antriebe/Kraftstoffe		215	0,5%	313	1,2%
1.3	weitere Flottenverbesserung		2.868	7,2%	1.310	4,9%
<b>2</b>	<b>Handlungsfeld: Verkehrsverlagerung, Verkehrsvermeidung</b>					
2.1	Veränderung Modal Split Personennahverkehr		655	1,6%	895	3,4%
2.2	Veränderung Modal Split Personenfernverkehr		66	0,2%	45	0,2%
2.3	Veränderung Modal Split Güterverkehr		0	0,0%	0	0,0%
2.4	Reduktion des innerstädtischen Verkehrs		1.626	4,1%	1.053	3,9%
<b>3</b>	<b>Handlungsfeld: Verkehrslenkung, Verkehrsverflüssigung</b>					
3.1	Abbau von Stausituationen		272	0,7%	172	0,6%
3.2	Förderung von kraftstoffsparendem Fahren		429	1,1%	295	1,1%
3.3	Geschwindigkeitsbeschränkungen	T120 BAB	1.778	4,5%	1.258	4,7%
		T100 BAB	2.628	6,6%	1.859	7,0%

## 5.4 Handlungsfeld Binnenschifffahrt

Neben dem Straßenverkehr trägt die Binnenschifffahrt mit dem zweitgrößten Anteil (17 %) zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen aus dem Verkehrsbereich in NRW bei (vgl. Bild 5.1). In den Anrainerstädten am Rhein liegt dieser Anteil teilweise noch deutlich höher (z.B. 25 % in Köln /LANUV 2012/ bis 50 % in Duisburg /BRD 2015/). Daher wurde neben dem Straßenverkehr, der im Rahmen des vorliegenden Gutachtens schwerpunktmäßig betrachtet wird, auch der Binnenschiffsverkehr im Hinblick auf NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale analysiert.

Nach /UBA 2015a/ hat der Transport auf dem Wasser aus Umweltschutzgründen Vorteile gegenüber dem Transport mit einem Lkw. Dies betrifft die CO<sub>2</sub>-Emissionsbilanz und die Lärmemissionen, während sich die Luftschadstoffbilanz für den Transport mit dem Binnenschiff derzeit im Vergleich zum Lkw ungünstiger darstellt und sich die Bilanz zukünftig noch verschlechtern dürfte (vgl. dazu auch die Ausführungen im Kap. 5.3.2.3).

Die Emissionen aus dem Binnenschiffsverkehr in NRW werden durch den Güterverkehr auf dem Rhein dominiert. Im Hinblick auf die Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen der Binnenschifffahrt hat die Zentralkommission für die Rheinschifffahrt /ZKR 2012/ eine Strategie erarbeitet, in der darauf hingewiesen wird, dass viele Maßnahmen, die zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs führen, auch eine Reduktion von Schadstoffemissionen bewirken. Für schiffstechnische Maßnahmen wird ein höheres Einsparpotenzial bei Neubauten gesehen, als betriebliche Maßnahme mit dem größten Einsparpotenzial wird die Optimierung der Geschwindigkeit genannt.

### 5.4.1 NO<sub>x</sub>-Emissionen der Binnenschifffahrt

Binnenschiffe werden heutzutage noch fast alle mit Dieselmotoren betrieben. Neben den Hauptantriebsmotoren, die nach /IFEU 2013/ 95 % des Energieverbrauchs und der Emissionen verursachen, befinden sich auf einem Schiff häufig zusätzliche Nebenantriebsmotoren.

Aktuell sind Emissionsgrenzwerte für neue Binnenschiffsmotoren über die EU-Richtlinie 2004/26/EG (Stufe IIIA seit 01.01.2007 für neue Motoren bestimmter Motorkategorien, seit 01.01.2009 für alle Motorkategorien) sowie durch die RheinSchuUO (ZKR Stufe I seit 2002 und Stufe II seit 2007) geregelt. Die Grenzwerte dieser beiden Regelungen unterscheiden sich kaum /IFEU 2013/ (vgl. auch Tab. 5.3). Die aktuellen Grenzwerte können noch ohne Abgasnachbehandlungssysteme eingehalten werden. Eine Verschärfung der Emissionsgrenzwerte für zukünftige Motoren ist geplant. Wann diese in Kraft tritt, ist aus heutiger Sicht noch offen.

Die Emissionen von Schiffen, die schon im Bestand sind, können prinzipiell durch Nachrüstungen an den vorhandenen Motoren, Austausch von Motoren oder durch Änderungen der Kraftstoffzusammensetzung reduziert werden. Im Hinblick auf die

Reduzierung der NO<sub>x</sub>-Emissionen sind Nachrüstungen von z.B. SCR(T)-Systemen von Bedeutung. Deren prinzipielle Wirkungsweise wird in Abschnitt 5.2.1 erläutert.

Es gibt bereits seit 2007 eine Richtlinie des BMVI über Zuwendungen für Binnenschiffahrtsunternehmen zur nachhaltigen Modernisierung von Binnenschiffen<sup>22</sup>. Gefördert werden Investitionen in emissionsärmere Motoren und emissionsmindernde und kraftstoffsparende Technologien und Maßnahmen. Die aktuelle Richtlinie hat eine Gültigkeit bis Ende 2018. Nach /FINANZ 2015/ wurden die vom BMVI zur Verfügung gestellten Mittel für 2015 und 2016 für dieses Förderprogramm nochmals erhöht. Auch im europäischen Ausland gibt es ähnliche Maßnahmen mit dem Ziel, durch finanzielle Förderung Schiffsmodernisierungen zu unterstützen und zu beschleunigen.

### **NO<sub>x</sub>-Emissionen Binnenschiffahrt NRW**

Aus dem Emissionskataster Schiffsverkehr des LANUV NRW liegen Daten zur aktuellen Emissionssituation vor /LOHMEYER 2014/. Demnach betragen die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus der Binnenschiffahrt in NRW 21.176 t/a (Analysejahr 2012). Davon werden über 95 % entlang des Rheins freigesetzt, ca. 1 % der NO<sub>x</sub>-Emissionen treten in Häfen und Schleusen auf.

Nur ein vergleichsweise kleiner Teil der Schiffsbewegungen in NRW wird von der deutschen Binnenschifflotte erbracht. In Deutschland entfallen ca. 70 % der Beförderungsleistung auf Schiffe unter nicht-deutscher Flagge.

Prognosen für die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Binnenschiffahrt in NRW liegen nicht vor, daher wurde auf Basis der vorliegenden Daten eine Abschätzung zur Entwicklung bis 2025 durchgeführt.

Die prognostizierte Entwicklung der Transportleistung in der Binnenschiffahrt wurde aus Daten des Bundes /BMVI 2014/ abgeleitet. Daraus lassen sich Zunahmen der Transportleistung bis 2020 von 10 % und bis 2025 von 18 % ableiten.

Zur Prognose der Entwicklung der mittleren spezifischen Emissionsfaktoren (die die zukünftige Entwicklung der Flottenzusammensetzung berücksichtigt) liegen Daten aus dem Bericht zur Emissionssituation der Binnenschiffahrt in Deutschland /IFEU 2013/ und dem Bericht zum Landesemissionskatasters NRW 2012 des LANUV /LOHMEYER 2014/ vor.

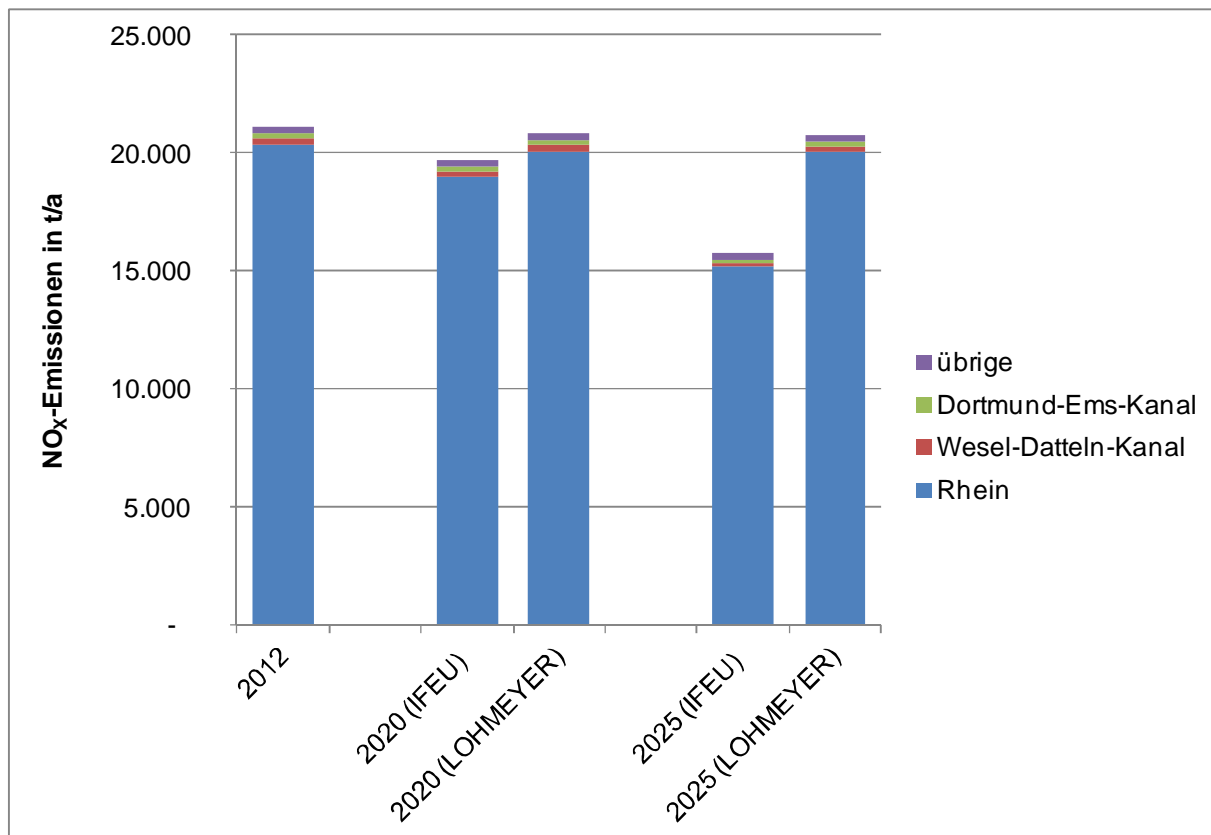
Die eingesetzten Schiffsmotoren haben eine vergleichsweise hohe Lebensdauer und die zukünftige Abgasgesetzgebung für Binnenschiffmotoren steht aus heutiger Sicht noch nicht endgültig fest. Daher lassen sich je nachdem, ob die erwartete Verschärfung der Gesetzgebung berücksichtigt wird (wie in /IFEU 2013/ TREMOD-Ansatz) oder nicht (wie in /LOHMEYER 2014/), und je nachdem, in welchem Umfang der weitere Austausch von Motoren bei älteren Schiffen und weitere Maßnahmen zu Kraftstoffeinsparungen angesetzt werden, Minderungen der spezifischen NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren bis 2020 von 10 % bis 16 % und bis 2025 von 16 % bis 37 % ableiten. Für die Abschätzung zur Prognose der NO<sub>x</sub>-

---

<sup>22</sup> BAnz AT 29.07.2015 B2

Emissionen in der Binnenschifffahrt wurden beide Ansätze verwendet, um die mögliche Bandbreite bezüglich der zukünftigen Entwicklung darzustellen.

Die abgeschätzte Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Schiffsverkehrs bis 2025 zeigt Bild 5.48. Nach dem TREMOD-Ansatz werden Abnahmen der NO<sub>x</sub>-Emissionen prognostiziert, die bis 2020 bei 7 % und bis 2025 bei 26 % liegen. Wird die Entwicklung der spezifischen Emissionsfaktoren konservativ nach /LOHMEYER 2014/ angesetzt, dann ergibt sich bis 2020 eine Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen von 1 % und bis 2025 von 2 %.



*Bild 5.48: Prognose der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Schiffsverkehrs NRW bis 2025, differenziert nach Wasserstraßenbereichen (Abschätzung; nach IFEU: mit Berücksichtigung einer zukünftigen Verschärfung der Grenzwerte, dem Austausch von Motoren älterer Schiffe und weiteren Maßnahmen zur Kraftstoffverbrauchsminderung; nach LOHMEYER: ohne Berücksichtigung einer Verschärfung der Grenzwerte, sehr moderater Austausch von Motoren älterer Schiffe)*

## 5.4.2 Handlungsfeld 4: Binnenschifffahrt

Möglichkeiten zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen von Binnenschiffen wurden im Rahmen des Expertengesprächs „Emissionsminderung durch Nachrüstung von Motoren von Binnenschiffen in NRW“ im September 2013 aufgezeigt /CLUSTER NRW 2013/. Die wesentlichen Erkenntnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Von zentraler Bedeutung ist die Nachrüstung mit Abgasnachbehandlungssystemen, da vergleichbare Minderungseffekte derzeit nicht durch den Einsatz neuer Motoren (Ersatz/Austausch) zu erreichen sind.
- Vorbehalte bei den Motorenherstellern gegenüber Nachrüstungen müssen abgebaut werden.
- Kraftstoff(Diesel)-Wasser-Emulsionen (KWE) erzeugen einen geringeren Kostenaufwand in der Nachrüstung, aber das Minderungspotenzial für NO<sub>x</sub> ist auch geringer im Vergleich zu SCR-Systemen.
- Der Einsatz von LNG als alternativer Kraftstoff hängt stark von der Verfügbarkeit/Versorgungssicherheit ab.
- Solange keine gesetzlichen Vorgaben bestehen, haben die Betreiber und Hersteller durch die Nachrüstungen zusätzliche Kosten und keinen individuellen Nutzen. Ein gesetzlicher Zwang zur Nachrüstung besteht momentan nicht.
- Bei neuen Förderprogrammen sollten die Interessen der verschiedenen Akteure stärker berücksichtigt werden.
- Auch die Endkunden können entsprechenden Druck ausüben, deren Sensibilisierung könnte über eine Kampagne erreicht werden.

Dies spiegelt auch aus heutiger Sicht die wichtigsten Ansatzpunkte zur NO<sub>x</sub>-Minderung in der Binnenschifffahrt wieder. Daher werden im Handlungsfeld Binnenschifffahrt die Strategien „Flottenverbesserung“, „Förderung alternativer Kraftstoffe und Antriebe“ und „Optimierung Fahrgeschwindigkeit“ näher betrachtet (vgl. Bild 5.49).

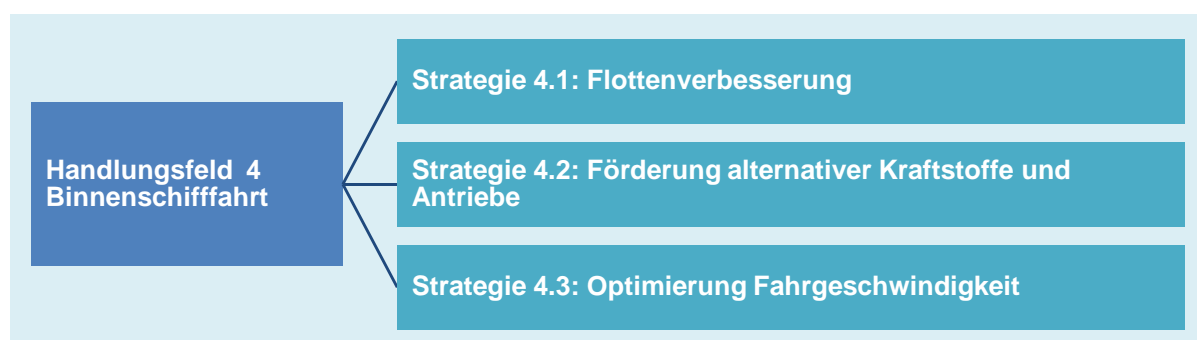


Bild 5.49: Minderungsstrategien im Handlungsfeld „Binnenschifffahrt“

### 5.4.2.1 Strategie 4.1: Flottenverbesserung

Die Motoren von Binnenschiffen haben eine hohe Lebensdauer, nach /IFEU 2013/ liegt diese bei ca. 25 Jahren (Bezugsjahr 2011). Daher zielt die Strategie 4.1 „Flottenverbesserung“ (vgl. Bild 5.50) auf die Nachrüstung der Motoren mit NO<sub>x</sub>-Minderungssystemen und/oder den Austausch von Motoren ab. Beide Maßnahmen können über die existierende Förderrichtlinie des BMVI gefördert werden. Die Einführung eines Bewertungs-/Zertifizierungssystems für umweltfreundliche emissionsarme Schiffe kann die Umsetzung unterstützen und die Akzeptanz solcher Maßnahmen erhöhen.

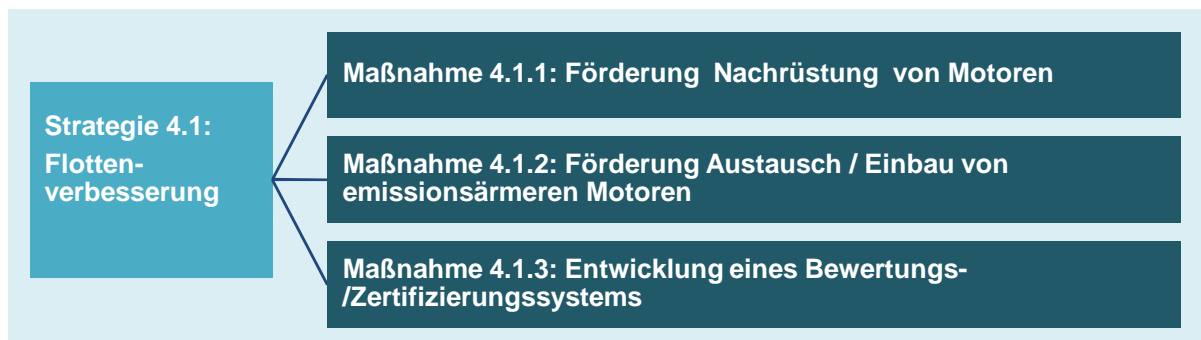


Bild 5.50: Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Flottenverbesserung“

Im Verkehrsbericht 2013 der WSV (Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes) für den Niederrhein und das westdeutsche Kanalnetz /WSV 2014/ werden Angaben für die in Anspruch genommenen Förderungen gemäß der Richtlinie des BMVI aufgeführt. Demnach wurden von 2007 bis Ende 2013 weder für in Verkehr befindliche Binnenschiffe noch beim Neubau von Binnenschiffen Fördermittel für den Einbau einer NO<sub>x</sub>-Minderungsanlage in Anspruch genommen (vgl. Tab. 5.2). Dagegen wurden für den Einbau von emissionsärmeren Dieselmotoren für die in Verkehr befindlichen Binnenschiffe (Austauschmotoren) im Zeitraum 2007-2013 insgesamt 710 Objekte gefördert. Auch beim Neubau von Binnenschiffen wurde der Einbau von emissionsärmeren Dieselmotoren bei insgesamt 189 Objekten im Zeitraum 2007-2013 gefördert. (Aktuellere Daten für das Jahr 2014 liegen noch nicht vor.)

Gefördert werden Abgasnachbehandlungssysteme

- wenn die Minderung der Partikelmasse mindestens 90 % beträgt,
- eine Minderung der Stickstoffoxidemissionen um mindestens 70 % erreicht wird,
- Kraftstoff-Wasser-Emulsionstechnologie und kombinierte Abgasminderungssysteme, wenn deren gleichwertige kombinierte Minderung der Partikel- und Stickstoffoxidemissionen des Motors durch Herstellererklärung oder durch messtechnische Nachweise belegt wird.



In Bezug auf eine Minderung von Luftschadstoffemissionen wird ein Einbau/Austausch eines emissionsärmeren Motors (auch Gasmotor), d.h. eines Motors, der die aktuellen Grenzwertanforderungen für neue Motoren (ZKR Stufe II) erfüllt, dann gefördert,

- wenn außerdem eine zusätzliche Partikelminderung von 30 % im Vergleich zum Grenzwert ZKR Stufe II erzielt wird,
- wenn eine Kraftstoffeinsparung von mindestens 10 % erzielt wird. Da Motoren der ZKR Stufe II noch ohne Abgasnachbehandlungssysteme auskommen, führt eine Kraftstoffeinsparung auch zu entsprechend niedrigeren Luftschadstoff-Emissionen.

Tab. 5.2: Übersicht zu den geförderten Objekten im Rahmen des Förderprogramms des BMVI für Binnenschiffe für den Zeitraum 2007-2013 /WSV 2014/

	in Verkehr befindliche Binnenschiffe	Neubau von Binnenschiffen
Emissionsärmere Dieselmotoren		
Hauptantriebsmotor	401	77
Hilfantriebsmotor	65	32
Schiffsbetriebsmotor	238	77
Lade-/Löschpumpenmotor	6	3
Summe	710	189
Emissionsärmere Gasmotoren	-	-
Emissionsmindernde Maßnahmen		
Abgasnachbehandlungsanlagen		
Oxidationskatalysator	-	-
Dieselpartikelfilter	30	7
NO <sub>x</sub> -Minderungsanlage	-	-
Kombinationen davon	-	-
Kraftstoff-Wasser-Emulsionsanlage	2	1
Freigasgenerator	1	-
Kraftstoffsparende Maßnahmen		
Austausch Hinterschiff mit modernem Propeller und Düse	1	-
Austausch Düse	1	-

#### Maßnahme 4.1.1: Förderung Nachrüstung von Motoren

Durch die Nachrüstung von Dieselmotoren mit einer NO<sub>x</sub>-Minderungsanlage können die NO<sub>x</sub>-Emissionen von Binnenschiffen deutlich gesenkt werden. Dies hat das LANUV mit einem Pilotprojekt am Fahrgastschiff Jan von Werth aufgezeigt. Die Ergebnisse dieses Projektes lassen sich wie folgt zusammenfassen /LANUV 2013/:

- „Für eine optimale Systemauslegung und -kalibrierung sollte der jeweilige Verbrennungsmotor vor der Nachrüstung auf seinen jeweiligen Ist-Zustand hin kontrolliert und bei Bedarf überarbeitet werden.“

- Um die Betriebssicherheit des Systems zu gewährleisten, sollte eine Überwachung des Differenzdrucks über das Abgasnachbehandlungssystem inkl. einer Warneinrichtung für den Schiffsführer vorhanden sein. Ein unzulässiger Anstieg des Abgasgedrucks kann so detektiert und einem eventuellen Versagen des Antriebs vorgebeugt werden. Die Notwendigkeit zusätzlicher Maßnahmen gegen zu großen Leistungsverlust ist zu prüfen.
- Durch die Nachrüstung einer der beiden Antriebsmotoren der „Jan von Werth“ mit einem SCRT-System konnten die Partikel- und die NO<sub>x</sub>-Emissionen dieses Motors drastisch gesenkt werden: Partikelemissionen wurden um mehr als 93 % reduziert. Die Stickstoffoxidemissionen wurden nach Einbau des Abgasminderungssystems um 67,4 % (1. Messkampagne) bzw. 78,8 % (2. Messkampagne) verringert.
- Der elementare kohlenstoffhaltige Ruß wurde bei einem Wirkungsgrad der Anlage von 99 % nahezu vollständig umgesetzt.“

Der Kraftstoffverbrauch wurde in /LANUV 2013/ nicht explizit untersucht. Es wurden jedoch bei der Messung der Abgas-Emissionen der „Jan von Werth“ mit und ohne SCRT-Anlage neben Messungen der Luftschadstoff-Emissionen auch CO<sub>2</sub>-Messungen durchgeführt. Dabei kam es durch den Einbau der Anlage zu Zunahmen um ca. 3%. Dieser Wert kann auf den Kraftstoffverbrauch übertragen werden.

Aktuell wird das Laborschiff „Max Prüss“ des LANUV NRW mit einer SCRT-Anlage nachgerüstet, ein wichtiges Vorhaben im Sinne der Vorreiterfunktion des Landes und der Realisierung eines Demonstrationsprojektes zum Dauereinsatz von Abgasnachbehandlungssystemen.

Dass gemäß /WSV 2014/ bis Ende 2013 keine Fördermittel des Bundes für entsprechende Nachrüstungen in Anspruch genommen worden sind, zeigt deutlich, dass die Akzeptanz solcher Nachrüstungen bei den Schiffseignern noch nicht vorhanden ist. Ein Grund hierfür wird die befürchtete Erhöhung des Kraftstoffverbrauchs nach Einbau einer Abgasnachbehandlungsanlage sein.

Es ist daher wichtig, die Demonstrationsprojekte des LANUV und die Fördermöglichkeiten des Bundes bei den betroffenen Unternehmen stärker zu vermitteln (z.B. durch Informationskampagnen, Workshops), um damit die Bereitschaft für den Einbau von NO<sub>x</sub>- (und Partikel)-Minderungsanlagen in der bestehenden Flotte zu erhöhen. Eine enge Zusammenarbeit mit den Nachbarländern, vor allem den Niederlanden, ist hierbei anzustreben, da deren Flotte einen bedeutenden Anteil an der Transportleistung auf dem Rhein hat.

In den Niederlanden wurde für diese Ziele das „Innovation Lab“ /EICB 2015/ eingerichtet, um in enger Zusammenarbeit mit der Industrie technische Konzepte zur Emissionsminderung zu entwickeln, um Eigner von Binnenschiffen beim Antrag von Fördermitteln und Co-Finanzierungen und bei der Realisierung von Pilotprojekten zu unterstützen.

Aktuell beteiligen sich die Energieagentur NRW und das LANUV bei einer Bewerbung um ein EU Life-Projekt zum Thema „clean inland shipping“ unter der Federführung der Niederlande.

Zusätzlich ist zu prüfen, ob auch das Land NRW Mittel zur Co-Finanzierung von Nachrüstungen in der Flotte NRW zur Verfügung stellen kann.

Es sollte in diesem Rahmen auch der Frage nachgegangen werden, warum bisher keine Fördermittel für die Förderung von NO<sub>x</sub>-Minderungssystemen vom BMVI abgerufen wurden, und wie ggf. der Prozess hierfür verbessert werden kann.

Ein Schwerpunkt ist zunächst bei den Eignern der Schiffe zu sehen, die lokal in den höher belasteten städtischen Gebieten eingesetzt werden, z.B. Fahrgastschiffe am Rhein. Um einen nicht nur lokalen Minderungsbeitrag über Nachrüstungen zu erzielen, ist es aber notwendig, die Güterverkehrsschiffe, die die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Binnenschifffahrt insgesamt dominieren, einzubeziehen.

#### **Maßnahme 4.1.2: Förderung Austausch / Einbau von emissionsärmeren Motoren**

Nach /WSV 2012/ besteht die deutsche Binnenschiff flotte zum Stand 31.12.2012 aus 4.815 Fahrzeugen. Davon sind 2.274 Frachtschiffe und 993 Fahrgastschiffe.

Nach /WSV 2014/ wurde im Zeitraum 2007-2013 der Austausch/Einbau von 899 emissionsärmeren Dieselmotoren gefördert, davon 710 in bereits in Verkehr befindlichen Binnenschiffen (vgl. Tab. 5.2). Nach /DB 2011/ hat die Bundesregierung besonders bei den älteren Motoren einen Bedarf für eine Umrüstung gesehen und auf der Basis der in der Zentralen Binnenschiffsbestandsdatei aufgeführten Daten den Bestand auf ca. 4.000 geschätzt. Demnach wurde für ca. 20 % davon die Maßnahme Austausch/Einbau eines emissionsärmeren Dieselmotors zwischen 2007 und 2013 gefördert.

Die Zusammenstellung der aktuellen Grenzwerte für Binnenschiffsmotoren und flottenmittlerer spezifischer NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren differenziert nach Baujahresklassen zeigt Tab. 5.3. Der Anstieg der Emissionsfaktoren in den Zwischenjahren 1980-1990 ist nach /IFEU 2013/ mit typischen Änderungen bei den Motorparametern zu begründen. Deutlich zeigt sich, dass eine signifikante Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen erst mit der Einführung zukünftiger neuer Grenzwertstufen (ab 2020) erwartet wird, die entsprechende EU-Richtlinie liegt bisher nur als Entwurf vor.

Um zu gewährleisten, dass beim Austausch/Einbau eines emissionsärmeren Dieselmotors zukünftig die maximal mögliche Emissionsminderung erzielt wird, ist zu prüfen, ob zukünftig die Förderung mit einer verbindlichen zusätzlichen NO<sub>x</sub>-Minderung (analog zu PM) verbunden werden kann. Auch sollten frühzeitig Regelungen zur Förderung des Einbaus von Motoren der ab 2020 geltenden Grenzwertstufe (vgl. Tab. 5.3) aufgenommen werden.

Durch den Austausch/Einbau eines emissionsärmeren neuen Motors der aktuell verbindlichen Grenzwerte nach ZKR Stufe II werden momentan bezüglich der NO<sub>x</sub>-Emissionen geringere Reduktionen als durch die Nachrüstung des vorhandenen älteren Motors mit einer Abgasnachbehandlungsanlage erzielt.

Analog zu Maßnahme 4.1.1 (Nachrüstung) sollte auch für die Maßnahme Austausch von Motoren (die möglichst strenge Abgasgrenzwerte einhalten) aktiv bei den betroffenen Schiffseignern Aufklärungsarbeit geleistet werden. Ebenso ist die Möglichkeit von Co-Finanzierungen des Landes NRW zu prüfen, unter der Rahmenbedingung, dass die zukünftigen Grenzwerte (EU-Richtlinie Stufe IV) für NO<sub>x</sub> schon eingehalten werden.

Tab. 5.3: NO<sub>x</sub>-Grenzwerte /UBA 2015a/ und Emissionsfaktoren für Dieselmotoren in der Binnenschifffahrt differenziert nach Baujahresklassen, für Motoren im Bestand und Vorschlag für zukünftige Motoren (TREMODO-Szenario) /IFEU 2013/<sup>(\*)</sup>

Grenzwerte für Binnenschiffsmotoren abhängig von Nutzleistung/Hubraum /UBA 2015/		NO <sub>x</sub> g/kWh
ZKR	Stufe I	9,2 - 12
ZKR	Stufe II	6 - 11
EU-Richtlinie 2004/26/EG	Stufe IIIA (Grenzwert für NO <sub>x</sub> +HC)	7,2 - 11
Emissionsfaktoren nach Baujahresklassen nach /IFEU 2013/		NO <sub>x</sub> g/kWh
vor 1970		11
1970 - 1979		11
1980 - 1989		12,5
1990 - 2002		11,5
2003 - 2006	(ZKR I)	9
ab 2007	(ZKR II / Stufe IIIA)	7
2007 - 2020	(ZKR II / Stufe IIIA)	7
2020 - 2025	(Stufe IV) <sup>(*)</sup>	1,2
ab 2025	(Stufe V) <sup>(*)</sup>	0,4

(\*) Vorschlag für eine Verordnung des europäischen Parlaments und des Rats über die Anforderungen in Bezug auf die Grenzwerte und die Typgenehmigung für Verbrennungsmotoren für nicht für den Straßenverkehr bestimmte mobile Maschinen und Geräte, Brüssel 25.09.2014, COM(2014) 581 final

### Maßnahme 4.1.3: Entwicklung eines Bewertungs-/Zertifizierungssystems

Von der World Port Climate Initiative (WPCI) wurde ein Environmental Ship Index (ESI) entwickelt, der Seeschiffe, die ein besseres Emissionsverhalten aufzeigen als durch die aktuelle Gesetzeslage gefordert, zertifiziert /WPCI 2015/. Es gehen die NO<sub>x</sub>-, SO<sub>x</sub>- und CO<sub>2</sub>-Emissionen in die Ermittlung des ESI ein. Ein Ziel dieses Projektes ist es, Häfen ein Instrument an die Hand zu geben, um saubere Schiffe zu unterstützen und diesen z.B. günstigere Konditionen anbieten zu können. Es handelt sich dabei bisher um ein freiwilliges Instrument. Auch für die Schiffseigner werden Vorteile bei der Teilnahme gesehen, da diese

die Entwicklung der Umweltfreundlichkeit und Nachhaltigkeit ihrer Flotte dokumentieren können.

Mit dem Green Award gibt es ein weiteres internationales Zertifizierungssystem, das besonders umweltfreundliche und sichere Schiffe auszeichnet. Häfen, die sich beteiligen, bieten finanzielle Vorteile für diese Schiffe /GREEN 2015/. Ursprünglich kommt die Initiative aus den Niederlanden und war für Seeschiffe ausgelegt, in jüngerer Zeit wurde die Möglichkeit der Zertifizierung auch auf Binnenschiffe ausgeweitet.

In Deutschland gibt es bereits das Umweltzeichen „Blauer Engel“ für Seeschiffe für umweltschonenden Schiffsbetrieb und umweltfreundliches Schiffsdesign /UBA 2011b/.

Die Entwicklung eines Umweltzeichens bzw. Bewertungs-/Zertifizierungssystems für die Rheinschifffahrt muss sinnvollerweise länderübergreifend erfolgen. Orientieren kann sich dieses an den existierenden Systemen für die Seeschifffahrt oder auch an der Kennzeichnungsverordnung für Kfz, d.h. die Schiffe erhalten in Abhängigkeit der eingesetzten Motoren und Abgasnachbehandlungssysteme unterschiedliche Umwelt-Labels/Plaketten. Das Land NRW sollte dazu eine Initiative starten.

Zu prüfen ist auch, ob das Einhalten von Mindeststandards bzw. bestimmter Labels/Plaketten für das Anfahren von Liegestellen in Luftreinhalteplan-Gebieten (Städte mit Umweltzonen) festgelegt werden kann.

Ziel dieser Maßnahme ist es, einen Anreiz zu schaffen, die Nachrüstung oder den Austausch von Motoren auf den vorhandenen Schiffen zu forcieren und bei neuen Schiffen die bestmögliche Technik einzubauen, auch wenn diese für die Einhaltung der geltenden Grenzwerte noch nicht notwendig ist.

#### **NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial der Strategie 4.1: „Flottenverbesserung“**

Die Ermittlung des NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzials für die Strategie „Flottenverbesserung“ wurde für die Maßnahme „Nachrüstung“ (Maßnahme 4.1.1) unter Berücksichtigung der folgenden Randbedingungen durchgeführt:

- Mit der Nachrüstung vorhandener Dieselmotoren wird eine Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen von 70 % erreicht.
- Es wurde angenommen, dass die Förderung in Deutschland bis 2025 verlängert wird.
- Da noch keine Fördermittel für NO<sub>x</sub>-Nachrüstungen abgefragt wurden, mussten Annahmen zur zukünftigen Nachrüstungsrate angesetzt werden, unter der Maßgabe, dass dies aktiv z.B. durch Einführung eines Bewertungs-/Zertifizierungssystems (Maßnahme 4.1.3) unterstützt wird. Es wurde angenommen, dass die Nachrüstungsquote bis 2020 bei 10 % und bis 2025 bei 20 % liegt.
- Es wurde angenommen, dass 30 % der Schiffe unter deutscher Flagge fahren und von dieser Nachrüstungsquote betroffen sind.

- Bezüglich der Trendentwicklung für die Emissionen der Binnenschifffahrt wurde von der in Bild 5.48 dargestellten Entwicklung nach dem TREMOD-Szenario (d.h. mit Einführung einer neuen Grenzwertstufe ab 2020) ausgegangen.

Unter diesen Randbedingungen ergibt sich für diese Einzelmaßnahme für 2020 eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Binnenschifffahrt NRW von 414 t/a (2,1 %) und für 2025 von 661 t/a (4,2 %), jeweils ggü. der Trendentwicklung.

Für die Einzelmaßnahme „Austausch/Einbau von emissionsärmeren Motoren“ (Maßnahme 4.1.2) wurde das NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial unter folgenden Randbedingungen abgeschätzt:

- Es wurde angenommen, dass die Förderung in Deutschland bis 2025 verlängert wird.
- Es wurde angenommen, dass die Austauschquote vom Analysejahr 2013 bis 2020 bei 10 % der Motoren und bis 2025 bei 20 % liegt.
- Es wurde angenommen, dass 30 % der Schiffe unter deutscher Flagge fahren und von dieser Austauschquote betroffen sind.
- Bis 2020 wird eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen durch den Austausch mit einem emissionsärmeren Motor von 10 % (analog der geforderten Reduktion des Kraftstoffverbrauchs) angesetzt.
- Es wurde angenommen, dass ab 2020 Motoren der neuen Grenzwertstufe zur Verfügung stehen und eingebaut werden. Die Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen gegenüber den alten Motoren wurde mit 70 % angesetzt.
- Bezüglich der Trendentwicklung für die Emissionen der Binnenschifffahrt wurde von der in Bild 5.48 dargestellten Entwicklung nach dem TREMOD-Szenario (d.h. mit Einführung einer neuen Grenzwertstufe ab 2020) ausgegangen.

Unter diesen Randbedingungen ergibt sich für diese Einzelmaßnahme für 2020 eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Binnenschifffahrt NRW von 59 t/a (0,3 %) und für 2025 von 378 t/a (2,4 %), jeweils ggü. der Trendentwicklung.

Insgesamt ergibt sich für Strategie 4.1 „Flottenverbesserung“ für 2020 eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Binnenschiffsverkehrs in NRW von 473 t/a (2,4 %) und für 2025 von 1.039 t/a (6,6 %).

<b>V 4.1 Strategie: Flottenverbesserung</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Bund, NRW		Schiffseigner, Reedereien	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Die Nachrüstung oder der Austausch von Dieselmotoren von Binnenschiffen soll verstärkt werden. Anreize sollen z.B. durch die Einführung eines Bewertungs-/Zertifizierungssystems geschaffen werden, damit die vorhandene Fördermöglichkeit durch den Bund stärker genutzt wird. Eine Co-Finanzierung durch das Land kann dies weiter forcieren.			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung:</b> Durch die Nachrüstung von Schiffs-Dieselmotoren (die i.d.R. eine hohe Lebensdauer haben) mit einer NO <sub>x</sub> -Minderungsanlage (z.B. SCR) können die NO <sub>x</sub> -Emissionen deutlich reduziert werden. Auch durch den Austausch eines Dieselmotors mit einem neueren können NO <sub>x</sub> -Emissionen reduziert werden, wobei dabei die Reduktion in ähnlicher Höhe liegen wird wie die Kraftstoffreduktion für den neueren Motor im Vergleich zu dem alten.			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012/2013 (Basisfall)	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	21.176	19.719	15.735
Maßnahme	4.1.1 Förderung Nachrüstung von Motoren		
Minderung ggü. Trend [t]		414	661
Minderung ggü. Trend (Anteil)		2,1%	4,2%
Maßnahme	4.1.2 Förderung Austausch / Einbau von emissionsärmeren Motoren		
Minderung ggü. Trend [t]		59	378
Minderung ggü. Trend (Anteil)		0,3%	2,4%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	Für die Co-Finanzierung müssen entsprechende Mittel bei der NRW.Bank zur Verfügung gestellt werden.		
Wirkung auf PM10:	positiv		
Wirkung auf Klima:	positiv		
Wirkung auf Lärm	neutral		
Technologische Aspekte:	Technologie verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	Förderprogramm des Bundes vorhanden		
Ökonomische Aspekte:	Die Nachrüstung der Motoren führt beim Eigner zu Kosten (die durch die Förderung reduziert werden) und bringt keine wirtschaftlichen Vorteile. Beim Austausch von Motoren wird sich aufgrund der Reduktion des Kraftstoffverbrauchs ein positiver wirtschaftlicher Effekt für den Eigner ergeben. Die Bandbreite der Kosten für Nachrüstung/Austausch von Motoren ist groß.		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	Die Förderung der Flottenverbesserung zielt teilweise auf das gleiche Minderungspotenzial wie die Förderung von alternativen Kraftstoffen und Antrieben.		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	Förderprogramm des Bundes existiert bereits, das über 2018 hinaus zu verlängern ist; wird bisher aber nur für Motorenaustausch und kaum für Nachrüstungen in Anspruch genommen; Vorbehalte bei Schiffseignern müssen abgebaut werden.		

Bild 5.51: Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Flottenverbesserung“ in der Binnenschifffahrt

### 5.4.2.2 Strategie 4.2: Alternative Kraftstoffe und Antriebe

Weitere Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen von Binnenschiffen können durch den Einsatz alternativer Kraftstoffe und Antriebe erzielt werden. Die im Rahmen dieser Strategie untersuchten Maßnahmen sind in Bild 5.52 aufgeführt.

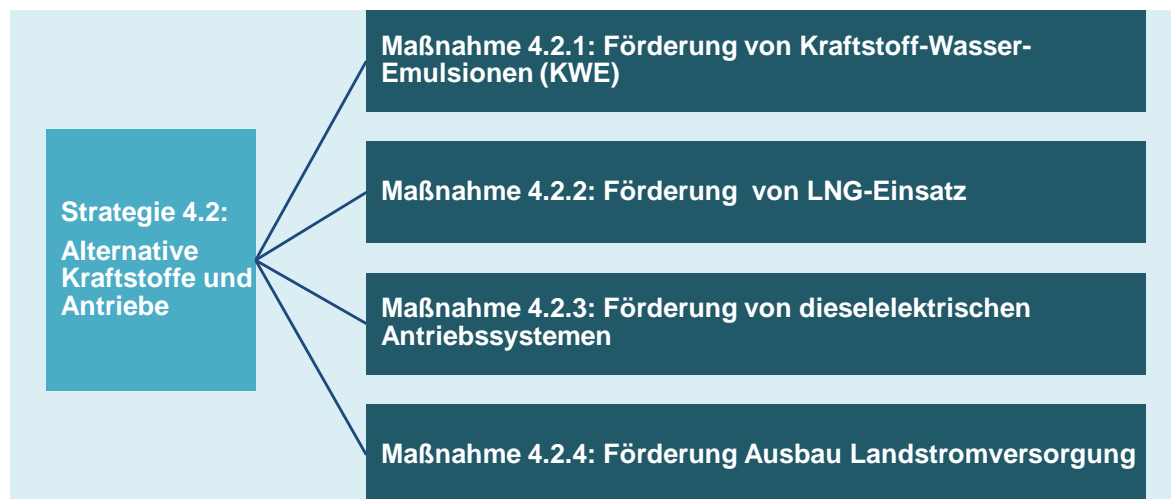


Bild 5.52: Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Alternative Kraftstoffe und Antriebe“

#### Maßnahme 4.2.1: Förderung von Kraftstoff-Wasser-Emulsionen (KWE)

Bei dieser Technologie wird dem Kraftstoff Wasser zugefügt, z.B. direkt vor der Einspritzpumpe /EXOMISSION 2014/, und zu einer feinverteilten homogenen Emulsion vermischt. Je nach Anforderung an den Stickstoffoxidgrenzwert kann die KWE-Anlage auch mit einer zusätzlichen SCR-Abgasnachbehandlungsanlage kombiniert werden. Durch die innermotorische NO<sub>x</sub>-reduzierende Wirkung der KWE kann die zusätzliche SCR-Anlage dann kleiner dimensioniert werden als sonst üblich.

Im Rahmen eines Pilotprojekts wurde das niederländische Tankschiff TMS Rudolf Deymann, das in März 2013 in Betrieb genommen worden ist, mit einer Kraftstoff-Wasser-Emulsionstechnologie (KWE) zur Ruß- und NO<sub>x</sub>-Minderung im Abgas ausgerüstet /SCHIFFFAHRT 2014/. Tests auf der Tiefwasser-Teststrecke Hollandsch Diep ergaben, dass im Mittel die Ruß-Emissionen unter die Nachweisgrenze, die NO<sub>x</sub>-Emissionen bis zu 45 % (bei entsprechend hohem Wasseranteil im Kraftstoff) und der Kraftstoffverbrauch um 4 % - 9 % reduziert werden konnte.

An anderer Stelle werden die mit dieser Technik im Rahmen von Testmessungen erzielten Minderungen für NO<sub>x</sub> (je nach Wassergehalt im Kraftstoff) mit 20 - 30 % und für den Kraftstoffverbrauch mit bis zu 3 % angegeben, andere Sekundäremissionen treten nicht auf /EXOMISSION 2014/.



Der Einbau von KWE-Anlagen, sowohl in alten als auch in neuen Motoren, wird auch durch das BMVI gefördert (vgl. Tab. 5.2). Im Zeitraum 2007-2013 wurden aber nur für den Einbau von 3 Anlagen Fördermittel bewilligt.

Da nach den vorliegenden Messergebnissen der Einsatz der KWE-Technik zu Verbrauchsreduktionen führt, ist davon auszugehen, dass die Vorbehalte der Schiffseigner leichter abzubauen sind als bei der Nachrüstung mit einem Abgasnachbehandlungssystem.

Daher sollte der Einbau der KWE-Technik in weiteren Schiffen in NRW als Demonstrationsprojekte (für den Dauerbetrieb) unterstützt werden, um die Datenbasis im Praxistest zu erweitern. Neben Güterschiffen ist auch hier vor allem der Einsatz in Fahrgastschiffen in den städtischen höher belasteten Gebieten zu sehen.

Zusätzlich ist zu prüfen, ob das Land Mittel zur Co-Finanzierung von Nachrüstungen in der Flotte NRW zur Verfügung stellen kann.

Diese Maßnahme ist in enger Verbindung mit der Maßnahme 4.1.1 (Nachrüstung von Abgasnachbehandlungssystemen) zu sehen.

#### **Maßnahme 4.2.2: Förderung von LNG-Einsatz**

LNG gehört zu den alternativen Kraftstoffen, die im Verkehrssektor eingesetzt werden können (vgl. Kap. 5.3.1.2).

LNG hat nach /DLR 2014/ aus heutiger Sicht gute Perspektiven für den Einsatz als Alternativkraftstoff im Schiffsverkehr und in begrenztem Maße bei schweren Nutzfahrzeugen. Für den Binnenschiffsverkehr werden die geringeren Schadstoffemissionen gegenüber Diesel hervorgehoben, gerade weil Abgasnachbehandlungssysteme wie Partikelfilter oder SCR-Systeme derzeit kaum in Binnenschiffsmotoren eingesetzt werden. Daneben bietet der Einsatz von LNG Vorteile bezüglich der CO<sub>2</sub>-Bilanz und Lärm.

Für Binnenschiffe werden bisher wenige LNG-Antriebe angeboten. Mono-Fuel-Motoren werden mit reinem Erdgas betrieben und arbeiten nach dem Prinzip eines Ottomotors, sie haben entsprechend niedrige Schadstoffemissionen. Dual-Fuel-Motoren werden wie reine Dieselmotoren betrieben, der LNG-Anteil beträgt maximal 80 %. Sie haben den Vorteil der Kraftstoffflexibilität und können auch mit reinem Dieselmotoren betrieben werden. Aber es treten höhere NO<sub>x</sub>-Emissionen auf als bei den Mono-Fuel-Motoren.

Die Speicherung von LNG auf Binnenschiffen erfordert im Vergleich zu Diesel einen zusätzlichen Platzbedarf (Faktor 1,8), der bei kleineren Schiffen schwerer umzusetzen ist.

Eine LNG-Bunkerstation wird im Hafen von Rotterdam betrieben, die den Betrieb von LNG-Schiffen zwischen Rotterdam und Basel erlaubt. Erste LNG-Schiffe verkehren bereits auf dem Rhein, z.B. der moderne Binnentanker Greenstream.

Eine Hürde für den Einsatz von LNG in der Binnenschifffahrt besteht derzeit nach /DLR 2014/ vor allem in der Klärung zulassungsrechtlicher Fragen, die z.B. die Zulassung des Kraftstoffs und Sicherheitsbestimmungen beim Bunkern regeln.

Nach /DLR 2014/ ist der Einsatz von LNG vor allem bei größeren und neuen Schiffen realisierbar und kosteneffizient (geringere Kraftstoffpreise), schwerpunktmäßig entlang von Hauptwasserstraßen (Rhein). Es wird in /DLR 2014/ die Unterstützung von Pilotanwendungen und Demonstrationsprojekten empfohlen ebenso wie die Einrichtung eines Entwicklungsplanes „LNG als Alternativkraftstoff in der See- und Binnenschifffahrt“.

Für 2030 wird in /DLR 2014/ für ein moderates Szenario ein Anteil von 16 % für LNG-Schiffe an der gesamten Transportleistung in der Binnenschifffahrt in Deutschland angegeben, für ein forciertes Szenario von 31 %. Beim Energieverbrauch liegen die entsprechenden Anteile bei 13 % bzw. 28 %.

Nach /DLR 2014/ liegen die NO<sub>x</sub>-Emissionen eines LNG-Motors um 77 % unter denen eines Dieselmotors (Stufe II) für Binnenschiffe. Zukünftig wird sich dies aufgrund der geplanten Verschärfung der Grenzwerte ändern, so dass für 2030 NO<sub>x</sub>-Emissionen aus einem LNG- und einem Dieselmotor von Binnenschiffen gleich hoch sein werden.

In der EU-Richtlinie 2014/94/EU über den Aufbau der Infrastruktur für alternative Kraftstoffe, die am 22.10.2014 in Kraft getreten ist, wurde festgelegt, dass bis 2030 die Binnenhäfen des TEN-Kernetzes ausreichende LNG-Betankungsmöglichkeiten anbieten müssen. Damit ist diesbezüglich Handlungsbedarf gegeben, so dass die Versorgungssicherheit zukünftig zumindest entlang dieser Hauptwasserwege gegeben sein wird.

Der Einbau von Gas-Motoren, sowohl in alten als auch in neuen Schiffen, wird auch durch das BMVI gefördert (vgl. Tab. 5.2). Im Zeitraum 2007-2013 wurden hierfür keine Fördermittel abgefragt.

Aktivitäten im Hinblick auf die Einführung von LNG in der Binnenschifffahrt in NRW gibt es bereits. So werden in dem Projekt „LNG an Rhein und Waal“ von niederländischen und nordrhein-westfälischen Partnern die Potenziale für die Anwendung von LNG im Schwerlastverkehr und der Schifffahrt grenzüberschreitend untersucht. Die Energieagentur NRW lässt aktuell in einer Potenzialstudie die Wirtschaftlichkeit der Markteinführung von LNG als neuem Kraftstoff analysieren. Aktuell beteiligen sich die Energieagentur NRW und das LANUV bei einer Bewerbung um ein EU Life-Projekt zum Thema „clean inland shipping“ unter der Federführung der Niederlande.

Ausgehend von den vorhandenen Aktivitäten zur Potenzialermittlung für den LNG-Einsatz in NRW sollten konkrete Demonstrationsprojekte realisiert werden. Dazu ist zunächst die Versorgung mit LNG im Rahmen dieser Projekte sicherzustellen.

**Maßnahme 4.2.3: Förderung von dieselektrischen Antriebssystemen**

Ein dieselektrischer Antrieb besteht im Prinzip aus einem Dieselmotor, der einen Generator antreibt, der wiederum den Strom für Elektromotoren, z.B. zum Antrieb des Schiffspropellers, bereitstellt. Bei diesem Verfahren kann der Dieselmotor mit optimalem Wirkungsgrad betrieben werden, was zu einer Reduktion des Kraftstoffverbrauchs führen kann /KONSTRUKTION 2015/.

Es wird hierbei auch von hybriden Antriebssystemen gesprochen, wenn die Möglichkeit besteht, sowohl im Elektrobetrieb als auch im Dieselmotorbetrieb zu fahren. Ein Beispiel hierfür ist das in 2013 in Betrieb genommene Binnenschiff MS Goblin, das neben zwei Dieselmotoren über zwei Elektromotoren verfügt.

Der Einbau von diesel- (oder auch gas-)elektrischen Motoren wird durch das BMVI nach der aktuell gültigen Richtlinie gefördert, wenn eine Einsparung des Kraftstoffverbrauchs gegenüber dem installierten Motor bei in Fahrt befindlichen Binnenschiffen um mindestens 10 % erreicht wird. Angaben zu den bisher geförderten Objekten liegen nicht vor.

Entsprechend ausgerüstete Schiffe haben die Möglichkeit, in sensiblen Gebieten mit rein elektrischem Antrieb zu fahren.

Es sollte geprüft werden, wie der Stand von Anträgen für Fördermittel für den Einbau von dieselektrischen Antriebssystemen aktuell ist und ob Hemmnisse für die Beantragung abgebaut werden können.

**Maßnahme 4.2.4: Ausbau Landstromversorgung an Liegestellen und Häfen**

Der Anteil der NO<sub>x</sub>-Emissionen aus der Binnenschifffahrt in NRW, der im Bereich von Häfen und Schleusen etc. freigesetzt wird, ist vergleichsweise gering und wird in /Lohmeyer 2014/ mit 1 % angegeben. In /IFEU 2013/ wird für diese Aktivitäten ein pauschaler Anteil von 5 % angegeben.

In den Anrainerstädten am Rhein liegen Schiffs Liegeplätze häufig in den Bereichen der bebauten Gebiete, teilweise im Bereich von Umweltzonen. Hier können die Emissionen, die während der Liegezeit entstehen, eine große Bedeutung für die lokale Luftqualität haben.

An den Liegeplätzen haben die Schiffe in der Regel die Hauptantriebmotoren abgestellt und erzeugen den notwendigen Bordstrom mit eigenen kleineren Nebenantriebsmotoren und Generatoren. Wird an den Liegestellen eine Landstromversorgung angeboten, können die Schiffe über diese ihren Strom beziehen und müssen nicht zusätzlich die Dieselmotoren betreiben. Ist dieser Strom über regenerative Energieträger erzeugt, dann entstehen keine zusätzlichen Emissionen.

Sowohl in Köln als auch in Düsseldorf gibt es Aktivitäten, eine entsprechende Landstromversorgung am Rheinufer, z.B. für Hotelschiffe, anzubieten bzw. auszubauen.

Aktuell ist die Realisierung von 100 Stromtankstellen an den westdeutschen Kanälen geplant.

Der DeltaPort in Wesel wirbt damit, Mitglied in dem EcoPort-Netzwerk zu sein. Mitglieder dieses Netzwerkes leisten über die Gesetzesvorgaben hinaus gehende freiwillige Beiträge zum Umweltschutz. So wird dort Binnenschiffen Landstrom angeboten.

Die EU hat 2006 eine „Empfehlung über die Förderung der Landstromversorgung von Schiffen an Liegeplätzen in den Häfen der Gemeinschaft“ (29006/339/EG) erlassen und im Entwurf zur Revision der EU-Richtlinie zur Energiebesteuerung ist für 8 Jahre eine Steuerbefreiung von Landstrom in der Schifffahrt vorgesehen (der so an Bord erzeugtem Strom steuerlich gleichgestellt wird) /BMVI 2015/.

International erhöht sich die Versorgung mit Landstrom in den größeren Hafengebieten stetig, insbesondere in Nordamerika und Nordeuropa. So ist seit 2014 der Landstromanschluss in Kalifornien Vorschrift für einen bestimmten Anteil aller Schiffsanläufe einer Reederei. Große Häfen in Europa (z.B. Rotterdam, Amsterdam, Hamburg) rüsten verstärkt Liegeplätze mit Landstromanschlüssen aus und fordern deren Nutzung. Dies hat auch Auswirkung auf die Binnenschifffahrt.

Der Ausbau der Infrastruktur für die Landstromversorgung von Binnenschiffen in NRW sollte von der Landesregierung aktiv weiter unterstützt werden. Anreizsysteme können weitere Impulse geben, z.B. die Minderung von Liegeplatzgebühren bei der Nutzung von Landstrom. Sinnvoll erscheint zunächst die umfassende Analyse der aktuellen Situation, insbesondere in den betroffenen Anrainerstädten am Rhein, sowohl hinsichtlich der Liegestellen am Rheinufer als auch in den Häfen.

#### **NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial der Strategie 4.2: „Alternative Kraftstoffe und Antriebe“**

Das NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial für die Maßnahme 4.2.1 „Förderung von Kraftstoff-Wasser-Emulsionen“ wurde unter folgenden Randbedingungen ermittelt:

- Es wurde angenommen, dass die Förderung bis 2025 verlängert wird.
- Es wurde angenommen, dass die Einbauquote bis 2020 bei 10 % der Motoren und bis 2025 bei 20 % liegt.
- Es wurde angenommen, dass 30 % der Schiffe unter deutscher Flagge fahren und von dieser Einbauquote betroffen sind.
- Es wurde eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen durch den Einbau einer KWE-Anlage von 30 % angesetzt.
- Bezüglich der Trendentwicklung für die Emissionen der Binnenschifffahrt wurde von der in Bild 5.48 dargestellten Entwicklung nach dem TREMOD-Szenario (d.h. mit Einführung einer neuen Grenzwertstufe ab 2020) ausgegangen.

Unter diesen Randbedingungen ergibt sich für diese Einzelmaßnahme für 2020 eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Binnenschifffahrt NRW von 177 t/a (0,9 %) und für 2025 von 283 t/a (1,8 %), jeweils ggü. der Trendentwicklung.

Das NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial für die Maßnahme 4.2.2 „Förderung von LNG-Einsatz“ wurde unter folgenden Randbedingungen ermittelt:

- Im Jahr 2030 liegt der Anteil an der Transportleistung mit LNG-Schiffen bei 16 %. Für das Jahr 2020 wurde ein Anteil von 5 % für die Transportleistung mit LNG-Schiffen abgeschätzt, für 2025 von 10 %.
- Die NO<sub>x</sub>-Emissionen eines LNG-Motors liegen heute 77 % unter denen eines Dieselmotors für Binnenschiffe. Bei der zukünftigen Einführung einer strengeren Grenzwertstufe (ab 2020) werden diese Vorteile bezüglich der NO<sub>x</sub>-Emissionen gegenüber neuen Dieselmotoren nicht mehr bestehen.
- In der Trendentwicklung bis 2025 nach Bild 5.48 wurde eine Einführung von LNG nicht berücksichtigt. Bezüglich der Trendentwicklung für die Emissionen der Binnenschifffahrt wurde von der in Bild 5.48 dargestellten Entwicklung nach dem TREMOD-Szenario (d.h. mit Einführung einer neuen Grenzwertstufe ab 2020) ausgegangen.

Unter diesen Randbedingungen ergibt sich für diese Einzelmaßnahme „Förderung von LNG-Einsatz“ für 2020 eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Binnenschifffahrt NRW von 830 t/a (4,2 %) und für 2025 von 705 t/a (4,5 %), jeweils ggü. der Trendentwicklung.

<b>V 4.2 Strategie: Förderung alternativer Kraftstoffe und Antriebe</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Bund, NRW, Städte		Schiffseigner, Reedereien	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Der Einbau von KWE-Anlagen, die Nutzung von LNG als Kraftstoff und der Einbau von diesel-elektrischen Antrieben sollen verstärkt werden. Die für diese drei Maßnahmen vorhandene Fördermöglichkeit durch den Bund soll stärker genutzt wird. Eine Co-Finanzierung durch das Land kann dies weiter forcieren. Der Ausbau von Landstromversorgung soll unterstützt werden.			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung:</b> Durch den Einbau von Kraftstoff-Wasser-Emulsions-Anlagen können NO <sub>x</sub> -Emissionen gemindert werden. Ebenso durch die Verwendung von LNG als Kraftstoff oder von diesel-elektrischen Antrieben, wobei hier die NO <sub>x</sub> -Minderung in dem Maße auftritt wie die Minderung des Kraftstoffverbrauchs erzielt wird (sofern nicht noch zusätzliche Abgasnachbehandlungssysteme integriert werden). Durch die Verwendung von Landstrom an den Liegeplätzen werden die Emissionen von Dieselmotoren während der Liegezeit der Schiffe vermieden.			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012/2013 (Basisfall)	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	21.176	19.719	15.735
Maßnahme	4.2.1 Förderung von Kraftstoff-Wasser-Emulsionen (KWE)		
Minderung ggü. Trend [t]		177	283
Minderung ggü. Trend (Anteil)		0,9%	1,8%
Maßnahme	4.2.2 Förderung von LNG-Einsatz		
Minderung ggü. Trend [t]		830	705
Minderung ggü. Trend (Anteil)		4,2%	4,5%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	Für die Co-Finanzierung müssen entsprechende Mittel bei der NRW.Bank zur Verfügung gestellt werden.		
Wirkung auf PM10:	positiv		
Wirkung auf Klima:	positiv		
Wirkung auf Lärm	neutral		
Technologische Aspekte:	Technologie verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	Förderprogramm des Bundes vorhanden		
Ökonomische Aspekte:	Der Einbau von KWE-Anlagen an den Motoren führt beim Eigner zu Kosten (die durch die Förderung reduziert werden), kann aber wirtschaftliche Vorteile haben, sofern eine Minderung des Kraftstoffverbrauchs erzielt werden kann. LNG-Motoren können auch gefördert werden und wegen des günstigeren Kraftstoffpreises einen positiven wirtschaftlichen Effekt haben.		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	Die Förderung von alternativen Kraftstoffen und Antrieben zielt teilweise auf das gleiche Minderungspotenzial wie die Flottenverbesserung.		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	Förderprogramm des Bundes existiert bereits, das über 2018 hinaus zu verlängern ist; wurde bis Ende 2013 kaum für den Einbau von KWE-Anlagen und überhaupt noch nicht für Einbau von Gas-Motoren genutzt. Vorbehalte bei Schiffseignern müssen abgebaut werden.		

*Bild 5.53: Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Förderung alternativer Kraftstoffe und Antriebe“ in der Binnenschifffahrt*

### 5.4.2.3 Strategie 4.3: Optimierung Fahrgeschwindigkeit

Die Optimierung der Fahrgeschwindigkeit von Schiffen ist gerade im Hinblick auf eine Effizienzsteigerung sehr wichtig, da dies stets mit Einsparungen bei den Treibstoffkosten verbunden ist. Dies führt zu einer hohen Akzeptanz der Maßnahmen. Ausführlich wird dies in der Strategie der ZKR dargestellt /ZKR 2012/.

Da Schiffsmotoren heutzutage noch ohne Abgasnachbehandlungssysteme die gültigen Grenzwerte einhalten und (geförderte) Nachrüstungen praktisch noch nicht stattgefunden haben, werden Maßnahmen zur Reduktion des Verbrauchs direkt auch zu NO<sub>x</sub>-Minderungen führen.

Als wesentliche Maßnahmen sind hierfür die Einführung eines Programms zur Schulung zu sogenanntem Intelligenten Fahren („Smart Steaming“) oder auch die Förderung der Nutzung von IT-gestützten Systemen zur Optimierung der Fahrgeschwindigkeit und Reiseplanung zu nennen (vgl. Bild 5.54).

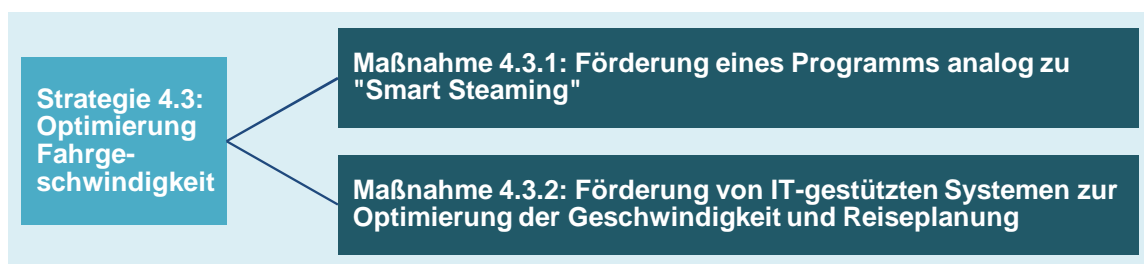


Bild 5.54: Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie „Optimierung Fahrgeschwindigkeit“

#### Maßnahme 4.3.1: Förderung eines Programms analog zu „Smart Steaming“

Das Programm „Smart Steaming“ wurde 2007 vom niederländischen Ministerium für Infrastruktur und Umwelt ins Leben gerufen. Hauptziel des Programms ist die Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Binnenschifffahrt durch eine Änderung der Verhaltensweisen beim Führen von Schiffen.

Das Programm „Smart Steaming“ besteht aus Bildungsangeboten, einem CO<sub>2</sub>-Vergleichswerkzeug, einem Wettbewerb und Kommunikationsmaßnahmen. Tragende Säule des Programms ist die Fortbildung von Skippers bezüglich der effizientesten Art der Führung von Binnenschiffen zur Senkung des Kraftstoffverbrauchs /ZKR 2012/. Das Kraftstoff-Einsparpotenzial wird auf 0 % - 30 % geschätzt und hängt stark von den individuellen Rahmenbedingungen der Schiffe und genutzten Wasserstraßen ab.

Es ist zu prüfen, ob ein analoges Programm zur Fortbildung von Schiffsführern in NRW bereits existiert oder eingeführt werden kann.

**Maßnahme 4.3.2: Förderung von IT-gestützten Systemen zur Optimierung der Geschwindigkeit und Reiseplanung**

Nach /ZKR 2012/ gibt es eine Vielzahl von IT-basierten Hilfsmittel zur Optimierung der Geschwindigkeit (z. B. Tempomat) oder der Reiseplanung. Das Kraftstoff-Einsparpotenzial wird auf 0 % - 20 % geschätzt. Da die Investition in derartige Hilfsmittel sehr kurze Amortisationszeiten haben, wird in /ZKR 2012/ vorgeschlagen, dass deren Installation und Nutzung in der Rhein- oder europäischen Binnenschifffahrt auch rechtlich vorgeschrieben werden könnte.

Es ist zu prüfen, ob die Einführung und Nutzung entsprechender Systeme für die Rheinschifffahrt in NRW vorgeschrieben werden kann. Dies sollte in enger Abstimmung mit dem Bund, den Nachbarländern und der ZKR erfolgen.

**NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial der Strategie 4.3: „Optimierung Fahrgeschwindigkeit“**

Das NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial für die Strategie „Optimierung Fahrgeschwindigkeit“ wurde unter folgenden Randbedingungen ermittelt:

- Bezüglich der Trendentwicklung für die Emissionen der Binnenschifffahrt wurde von der in Bild 5.48 dargestellten Entwicklung nach dem TREMOD-Szenario (d.h. mit Einführung einer neuen Grenzwertstufe ab 2020) ausgegangen. In dieser Trendentwicklung wurde bereits eine Entwicklung bezüglich einer Kraftstoffeinsparung aufgrund von Verbesserungen bei Betrieb, Bau und Ausrüstung der Schiffe berücksichtigt (15 % Reduktion von 2010 bis 2030, d.h. 0,75 % pro Jahr).
- Es wurde angenommen, dass es durch die aktive Unterstützung durch das Land NRW zu einer etwas schnelleren Entwicklung kommt und die 15 % Reduktion bereits 2025 erreicht werden (d.h. 1 %/a).
- Es wurde angenommen, dass die Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen genauso groß ist wie die der Kraftstoffeinsparung.
- Das zusätzliche Minderungspotenzial wurde für 100 % der Flotte angesetzt, da davon ausgegangen wird, dass alle Schiffsführer auf dem Rhein einbezogen werden.

Unter diesen Randbedingungen ergibt sich für die Strategie für 2020 eine Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Binnenschifffahrt NRW von 394 t/a (2,0 %) und für 2025 von 511 t/a (3,3 %), jeweils ggü. der Trendentwicklung.



<b>V 4.3 Strategie: Optimierung Fahrgeschwindigkeit</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
NRW		Schiffseigner, Reedereien, Fortbildungseinrichtungen für die Binnenschifffahrt	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Optimierung der Fahrgeschwindigkeit und Reiseplanung von Schiffen vor allem auf dem Rhein. Maßnahmen hierzu (Förderung eines Programms analog zu "Smart Steaming" in den NL und die Förderung des Einsatzes von IT-gestützten Hilfsmitteln) sollen vom Land NRW aktiv unterstützt werden.			
<b>Wirkungsweise</b>			
NO <sub>x</sub> -Emissionsminderung: Eine Optimierung der Fahrgeschwindigkeit und Reiseplanung von Schiffen vor allem auf dem Rhein wird zu einer Kraftstoffeinsparung und damit auch NO <sub>x</sub> -Emissionsminderung führen.			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012/2013 (Basisfall)	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	21.176	19.719	15.735
Maßnahme	4.3.1 Förderung eines Programms analog zu "Smart Steaming"		
Maßnahme	4.3.2 Förderung von IT-gestützten Systemen zur Optimierung der Geschwindigkeit und Reiseplanung		
Minderung ggü. Trend [t]		394	511
Minderung ggü. Trend (Anteil)		2,0%	3,3%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	gering		
Wirkung auf PM10:	positiv		
Wirkung auf Klima:	positiv		
Wirkung auf Lärm	neutral		
Technologische Aspekte:	Technologie verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	Die rechtlichen Voraussetzungen zur verpflichtenden Einführung von IT-gestützten Hilfsmitteln sind zu prüfen.		
Ökonomische Aspekte:	Die Kosten für die Schiffsführer/Schiffseigentümer für die Teilnahme an einem Programm analog zu "Smart Steaming" und auch die Kosten für die Anschaffung von IT-gestützten Hilfsmitteln zur Optimierung der Fahrgeschwindigkeit und Reiseplanung sind eher gering. Durch deren Einsatz wird der Kraftstoffverbrauch sinken und Kosten werden eingespart.		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	keine		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	Vorbehalte gegenüber diesen Maßnahmen sind als gering einzuschätzen.		

*Bild 5.55: Steckbrief zu den Maßnahmen der Strategie „Optimierung Fahrgeschwindigkeit“ in der Binnenschifffahrt*

#### 5.4.2.4 Zusammenfassung der quantifizierten NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale für die Binnenschifffahrt

In nachstehender Tabelle sind die abgeschätzten NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale für die einzelnen Strategien im Handlungsfeld Binnenschiffsverkehr zusammengestellt. Eine zusammenfassende Bewertung befindet sich in Kapitel 9.6.

Tab. 5.4: NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale in der Binnenschifffahrt 2020 und 2025 in NRW

NO <sub>x</sub> -Minderungspotenziale		2020		2025	
		t/a		t/a	
<b>4</b>	<b>Handlungsfeld: Binnenschiffe</b>				
4.1	Flottenverbesserung	473	2,4%	1.039	6,6%
4.2	Förderung alternativer Kraftstoffe und Antriebe	1.007	5,1%	988	6,3%
4.3	Optimierung Fahrgeschwindigkeit	394	2,0%	511	3,3%

## 6 Potenzialanalyse Energiewirtschaft / Industrie

Aufgrund des relativ hohen Anteils der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie (ca. 53 %) an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW /Hoffmann, 2014/ werden mögliche NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale des Sektors Energiewirtschaft und Industrie identifiziert und bewertet. Grundlage hierfür sind Emissionsdaten aus den Emissionserklärungen von Feuerungsanlagen der Energiewirtschaft und der Industrie in NRW für das Jahr 2012, welche vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV) für die Bearbeitung des Projektes zur Verfügung gestellt wurden. Die Summe der NO<sub>x</sub>-Emissionen für den Sektor Energiewirtschaft und Industrie beträgt insgesamt ca. 162.912 t, angegeben als NO<sub>2</sub>.

Ausgehend von den Emissionsdaten für das Bezugsjahr 2012 (Basisfall) wurde zunächst ermittelt, welche Branchen einen hohen Anteil an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie ausmachen. Die relevanten Branchen wurden anschließend näher betrachtet, um Anlagenarten, Anlagen und eventuell Quellen zu identifizieren, welche einen entscheidenden Beitrag an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW ausmachen. Unterschieden wird hierbei zwischen Emittenten der Energiewirtschaft (z.B. Kraftwerken) und Emittenten der Industrie. Bild 6.1 zeigt die Handlungsfelder zur NO<sub>x</sub>-Minderung in NRW.



Bild 6.1: Handlungsfelder zur Ermittlung des NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzials in NRW

Für die relevanten Anlagenarten wird die NO<sub>x</sub>-Bildung beschrieben und dargelegt, welche BVT (beste verfügbare Technik) zur NO<sub>x</sub>-Minderung derzeit zu Verfügung steht. Hieraus ergeben sich Strategien (z.B. eine Modernisierung der Anlagentechnik durch Installation von SCR-Katalysatoren - Selektive Katalytische Reduktion) anhand derer NO<sub>x</sub>-Emissionen gemindert werden können. Berücksichtigt wurden zudem vorübergehende oder endgültige Stilllegungen bei konventionellen Anlagen der Energiewirtschaft aufgrund des wachsenden Einsatzes von erneuerbaren Energien.

Auf Basis der relevanten Anlagentypen, Anlagen und Quellen wurde festgelegt, welche Strategien zur NO<sub>x</sub>-Reduzierung geeignet erscheinen und wie hoch das Potenzial zur NO<sub>x</sub>-Minderung ist. Das NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial wurde basierend auf den Strategien zur NO<sub>x</sub>-Minderung anhand ausgewählter Szenarien berechnet und bewertet. Die Maßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung werden dargelegt anhand derer die aufgeführten Strategien umgesetzt werden können.

## **6.1 NO<sub>x</sub>-Entstehung und Minderungstechnologien**

### **6.1.1 Entstehung von NO<sub>x</sub>-Emissionen bei Kraftwerken und Industrieanlagen**

Die NO<sub>x</sub>-Bildung findet bei Feuerungsanlagen hauptsächlich bei hohen Verbrennungstemperaturen in Abhängigkeit der Zusammensetzung des Brennstoffes statt /Beckmann 2011/. Bei konventionellen Feuerungen ist es meist ausreichend, die Entstehung von Stickstoffmonoxid (NO) zu betrachten, da dieses in erster Linie gebildet wird. Stickstoffoxide entstehen zu 95 % in Form von NO /Beckmann 2011/. Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) wird in der Regel erst nach Abkühlung des Abgases bei tieferen Temperaturen gebildet /Beckmann 2011/. Der Großteil des Stickstoffdioxids (NO<sub>2</sub>) wird allerdings erst in der Atmosphäre gebildet, hauptsächlich über die Reaktion mit Ozon (O<sub>3</sub>) /Baumbach 1996/.

Da bei Verbrennungsprozessen Stickstoffoxide zu 95 % aus Stickstoffmonoxid entstehen, werden im Folgenden die NO-Entstehungsmechanismen beschrieben. Diese Mechanismen können nach Stickstoffquelle und Reduktionszone (Entstehungsort) eingeteilt werden in:

- thermisches NO
- Brennstoff-NO und
- promptes NO.

Die Mechanismen sind eng miteinander gekoppelt und abhängig vom Stickstoffgehalt des eingesetzten Brennstoffes, verbrennungstechnischen Bedingungen (z.B. Flammentemperatur), sowie der Stöchiometrie und der Verweilzeit des Abgases in der Reduktionszone. In Bild 6.2 sind die Mechanismen zur NO-Bildung nach /Soete 1981/ dargestellt.

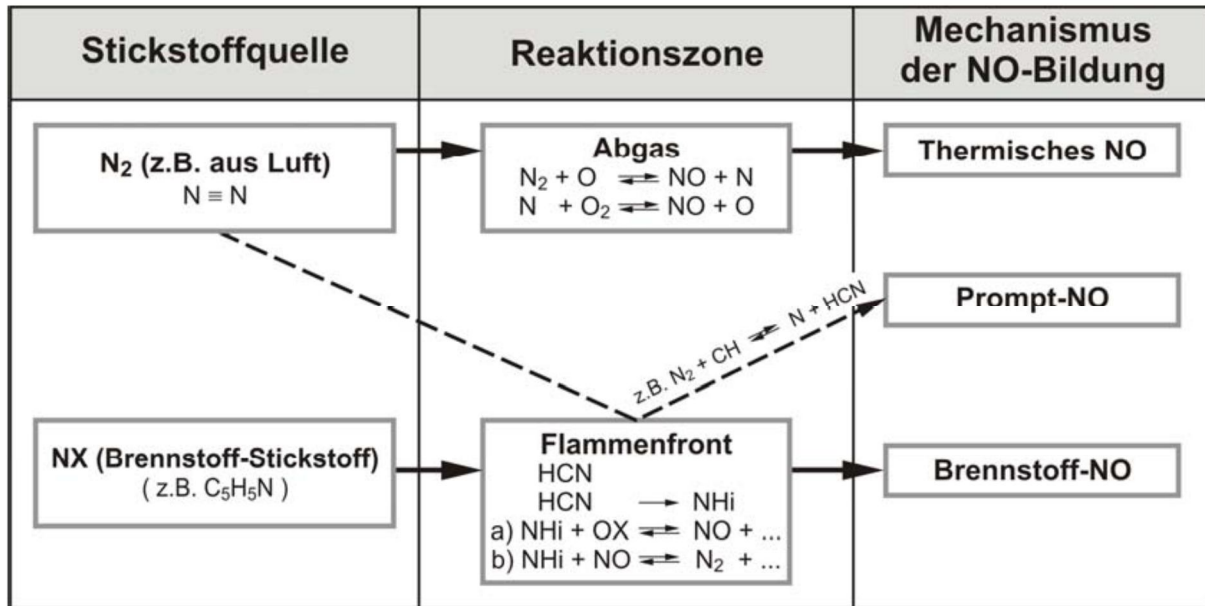


Bild 6.2: Schematische Darstellung der Mechanismen zur NO-Bildung /Soete 1981/

Folgende Verbrennungsparameter gelten als Haupteinflussgrößen für die Bildung von thermischem NO:

- Flammentemperatur,
- Sauerstoffpartialdruck in der Verbrennungszone,
- Verweilzeit in Zonen hoher Temperatur sowie
- Vermischung der Reaktionspartner.

Wie beim thermischen NO spielt beim Bildungsmechanismus des prompten NO der Sauerstoffpartialdruck eine wichtige Rolle. Untersuchungen von /Nötzold 1981/ zeigen allerdings, dass der Mechanismus des prompten NO meist nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Ist chemisch gebundener Stickstoff in Form von organischen (z.B. Amide, Amine oder Nitrile) oder anorganischen Stickstoffverbindungen (z.B. NH<sub>3</sub>) im Brennstoff enthalten, wird bei der Verbrennung über den Brennstoff-NO-Mechanismus NO gebildet /Beckmann 2011/. Bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen wie Kohle, Öl usw. als auch bei stickstoffhaltigen Abfällen spielt dieser Mechanismus eine wichtige Rolle /Beckmann 2011/.

### 6.1.2 NO<sub>x</sub>-Minderungstechnologien

Bei der NO<sub>x</sub>-Minderung kann generell zwischen Primär- und Sekundärmaßnahmen unterschieden werden.

**Primärmaßnahmen** sollen die Bildung von NO<sub>x</sub> schon während des Verbrennungsprozesses so weit wie möglich verhindern. Hierzu wird auf die wesentlichen Verbrennungsparameter (Sauerstoffangebot, Verbrennungstemperatur, Verweilzeit im Bereich hoher

Temperaturen etc.) Einfluss genommen. Bei den Primärmaßnahmen ist zu berücksichtigen, dass durch Änderungen des Verbrennungsprozesses auch die Emissionen anderer Schadstoffe (Staub, Kohlenmonoxid (CO) etc.) beeinflusst werden können. Primärmaßnahmen zur Stickstoffoxidminderung, welche auch miteinander kombiniert werden können, sind /Beckmann 2011/:

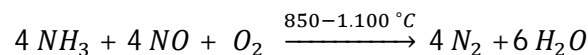
- Luftstufung bzw. Oxidationsmittelstufung,
- Brennstoffstufung,
- Abgasrückführung,
- Beeinflussung der Verweilzeit und des Verweilzeitverhaltens.

**Sekundärmaßnahmen** sollen bereits entstandene, im Abgas enthaltene Stickstoffoxide mindern. Die NO<sub>x</sub>-Abbaumechanismen der Sekundärmaßnahmen lassen sich in oxidative und reduktive Verfahren unterteilen. Reduktive Verfahren können weiter in selektive katalytische und selektive nicht-katalytische Verfahren unterteilt werden. Bei Sekundärmaßnahmen ist im Gegensatz zu den Primärmaßnahmen in den meisten Fällen mit höheren Investitions- und Betriebskosten zu rechnen. Folgende Sekundärmaßnahmen zählen derzeit zum Stand der Technik zur NO<sub>x</sub>-Minderung /Beckmann 2011/:

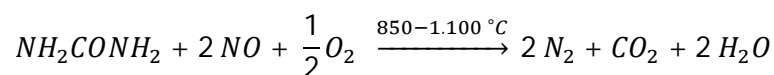
#### Reduktionsverfahren:

- *Selektive nicht-katalytische Reduktion (SNCR) /Baumbach 1996/*  
Bei der selektiven nicht-katalytischen Reduktion wird ein Reduktionsmittel, üblicherweise werden wässrige Lösungen aus Ammoniak oder Harnstoff verwendet, im Rauchgas versprüht. NO, aber auch NO<sub>2</sub> wird zu molekularem Stickstoff reduziert. NO<sub>x</sub>-Reduktionsgrade von 30 bis 80 % können erreicht werden. Ammoniak gilt als Gefahrstoff und erfordert hohe Sicherheitsstandards beim Gebrauch. Zudem können unerwünschte, nicht vernachlässigbare NH<sub>3</sub>-Emissionen, der sogenannte Ammoniakschlupf, mit dem Abgas entweichen. Des Weiteren laufen die Reduktionsreaktionen nur bei sehr hohen Temperaturen von 850 bis 1.000 °C ab.

Bruttoreaktion mit Ammoniak:



Bruttoreaktion mit Harnstoff:



- *Selektive katalytische Reduktion (SCR) /Baumbach 1996/*  
Beim SCR-Verfahren kommen im Gegensatz zum SNCR-Verfahren Katalysatoren zum Einsatz. Es handelt sich hierbei um verschiedene Metalloxide wie z. B. Vanadiumpentoxid, Molybdänoxide, Wolframoxide etc. Durch den Einsatz der Katalysatoren wird die notwendige Temperatur für die Reduktionsreaktion mit Ammoniak auf Werte von 160 bis 350 °C heruntersetzt. Gleichzeitig kann der NO<sub>x</sub>-Reduktionsgrad auf > 90 % erhöht werden. Daraus ergeben sich im Allgemeinen

geringere NO<sub>x</sub>-Konzentrationen im Reingas. Das SCR-Verfahren verursacht im Allgemeinen höhere Kosten als das SNCR-Verfahren. Unerwünschte Nebenreaktionen und somit Emissionen von unerwünschten Nebenprodukten können u. U. auftreten. Je nach Zusammensetzung der Abgase, des Staubgehalts und der Staubzusammensetzung des Abgases können mechanischer Abrieb, Korrosion, bzw. Staubbelastung zu einer Verminderung des NO<sub>x</sub>-Reduktionsgrades führen, bzw. hohen Wartungsaufwand und –kosten erzeugen. Wie beim SNCR-Verfahren führt auch beim SCR-Verfahren der unerwünschte Ammoniakschlupf zu hohen Kosten für das Betriebsmittel und zu unerwünschten NH<sub>3</sub>-Emissionen im Abgas.

Oxidationsverfahren: NO wird zunächst durch Oxidation zu NO<sub>2</sub> und anschließend mit Wasser zu salpetriger Säure und Salpetersäure bzw. zu Nitriten überführt. Diese Nitrite lassen sich durch Oxidation in Nitrate überführen, welche sich dann durch Trocknung und Filtration abscheiden lassen.

Von den oxidativen Verfahren konnte sich bislang in der Kraftwerkstechnik keines durchsetzen. Die beiden Reduktionsverfahren zählen bereits zum Stand der Technik /Beckmann et al 2009/.

## **6.2 Emissionen Energiewirtschaft und Industrie NRW**

### **6.2.1 Anlagenbestand in NRW (Bezugsjahr 2012)**

Zur Bewertung des Beitrages der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie wurden die in NRW vorhandenen Anlagenarten nach der 4. BImSchV (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen) /4. BImSchV 2013/ in Tab. A.1 im Anhang in Branchen eingeteilt. Die erste Gliederungsnummer steht im Folgenden für eine bestimmte Branche; insgesamt werden folgende zehn Branchen unterschieden:

1. Wärmeerzeugung, Bergbau und Energie
2. Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe
3. Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung
4. Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralö Raffination und Weiterverarbeitung
5. Oberflächenbehandlung mit organischen Stoffen, Herstellung von bahnförmigen Materialien aus Kunststoffen, sonstige Verarbeitung von Harzen und Kunststoffen
6. Holz, Zellstoff
7. Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse
8. Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen
9. Lagerung, Be- und Entladen von Stoffen und Gemischen
10. Sonstige Anlagen

In der 4. BImSchV werden innerhalb dieser Branchen unterschiedliche Anlagenarten definiert. Aus den vom MKULNV /MKULNV-GFA 2015/ für dieses Gutachten zur Verfügung

gestellten Emissionsdaten ist ersichtlich, dass in NRW insgesamt 128 unterschiedliche Anlagenarten vorhanden sind und insgesamt 2.449 einzelne Anlagen in Betrieb sind. Bei Großanlagen der Energiewirtschaft besitzt eine Anlage meist mehrere Quellen (z.B. Kühltürme und Schornsteine). In NRW sind insgesamt 6.648 einzelne Quellen des Sektors Energiewirtschaft / Industrie erfasst, aus denen NO<sub>x</sub> emittiert wird.

In Bild 6.3 ist die Einteilung des Anlagenbestandes anhand des Industriezweiges „Wärmeerzeugung, Bergbau und Energie“ beispielhaft dargestellt.

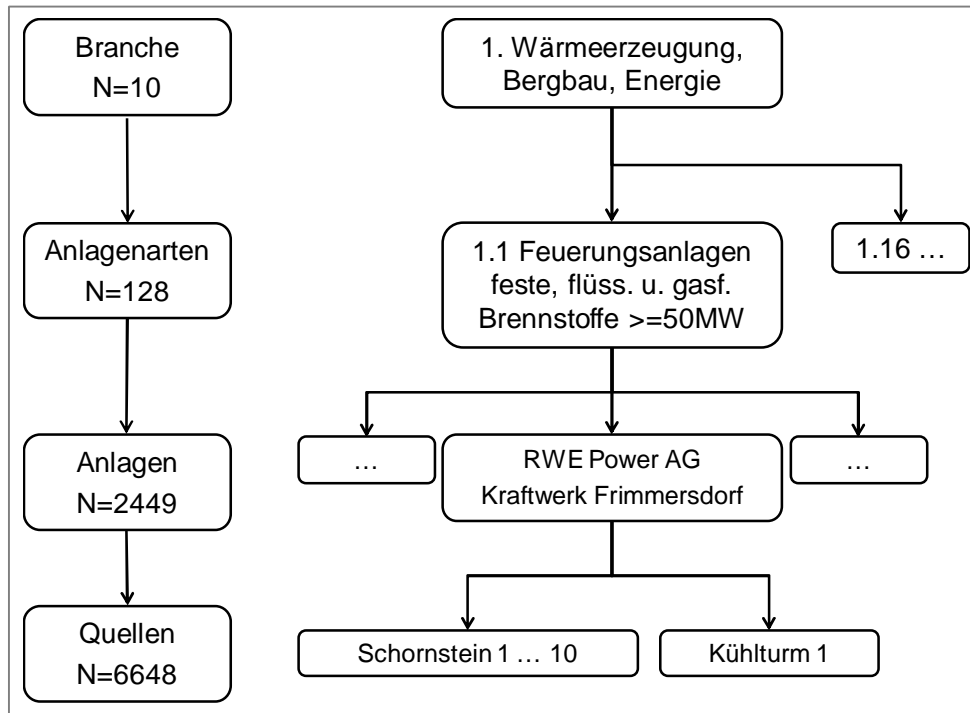


Bild 6.3: Anzahl der Branchen, Anlagenarten, Anlagen und Quellen (links) und Strukturierung des Anlagenbestandes in NRW am Beispiel des Industriezweiges „Wärme, Bergbau, Energie“ (rechts)

In Tab. 6.1 ist eine Übersicht der Anlagenstruktur in NRW mit der Anzahl der Anlagenarten, Anlagen und Quellen aufgeführt. Im folgenden Abschnitt werden für das Bezugsjahr 2012 (Basisfall) die NO<sub>x</sub>-Emissionen in Abhängigkeit der Branche auf Basis der Emissionsdaten der Emissionserklärungen, welche vom MKULNV zur Verfügung gestellt wurden, berechnet. Hierzu wurden die NO<sub>x</sub>-Emissionen der einzelnen Quellen herangezogen. Daraus wurden zunächst die für die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen relevanten Branchen, Anlagenarten und Anlagen ermittelt.



Tab. 6.1: Übersicht der Anlagenstruktur in NRW mit Anzahl der Anlagenarten, Anlagen und Quellen (Bezugsjahr 2012)

Nr.	Branche	Anzahl Anlagenarten	Anzahl Anlagen	Anzahl Quellen
1	Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie	17	894	2.772
2	Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe	11	203	533
3	Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung	23	406	1.152
4	Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung	27	273	701
5	Oberflächenbehandlung mit organischen Stoffen, Herstellung von bahnförmigen Materialien aus Kunststoffen, sonstige Verarbeitung von Harzen und Kunststoffen	12	172	562
6	Holz, Zellstoff	3	33	41
7	Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse	13	56	135
8	Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen	11	255	483
9	Lagerung, Be- und Entladen von Stoffen und Gemischen	5	15	32
10	Sonstige Anlagen	6	142	237
	<b>Summe</b>	<b>128</b>	<b>2.449</b>	<b>6.648</b>

## 6.2.2 Aufteilung der NO<sub>x</sub>-Emissionen 2012 nach Branchen

In Bild 6.4 ist die Aufteilung der gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft / Industrie auf die in Abschnitt 6.2.1 definierten Branchen für das Bezugsjahr 2012 dargestellt. Datengrundlage sind die für das Gutachten des MKULNV /MKULNV-GFA 2015/ zur Verfügung gestellten Emissionsdaten. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen werden sowohl in % bezogen auf die Gesamtemissionen als auch als absolute Emissionen in Tonnen angegeben.

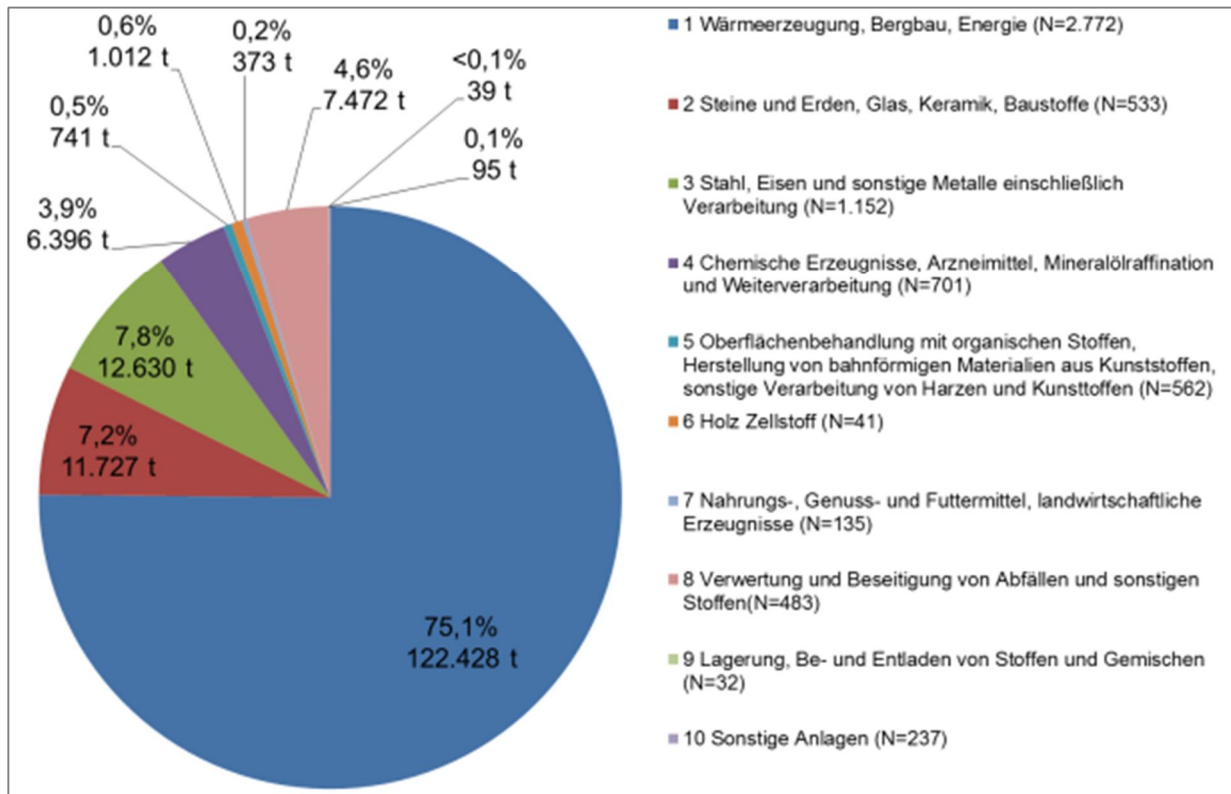


Bild 6.4: Prozentualer Anteil der NO<sub>x</sub>-Emissionen bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen und absolute Emissionen in Tonnen innerhalb der definierten Branchen für den Sektor Energiewirtschaft und Industrie in NRW 2012

Aus Bild 6.4 ist ersichtlich, dass die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus der Branche „Wärme, Bergbau und Energie“ mit ca. 75 % den größten Anteil an den NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie ausmachen. Weitere relevante Branchen sind:

- Nr. 2 Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe
- Nr. 3 Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung
- Nr. 4 Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung
- Nr. 8 Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen

Die Beiträge dieser vier Branchen (Nr. 2, 3, 4, 8) an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen sind jeweils < 10 %, zusammen besitzen diese vier Branchen jedoch einen Beitrag von ca. 24 % an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie und zusammen mit der Branche Nr. 1, Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie, sogar 99 % der gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen. Im folgenden Abschnitt wird analysiert, bei welchen Anlagenarten innerhalb einer Branche mit vergleichsweise hohen NO<sub>x</sub>-Emissionen zu rechnen ist.

### 6.2.3 Einteilung der NO<sub>x</sub>-Emissionen 2012 nach Anlagenarten

Für die folgende Betrachtung wurde der prozentuale Anteil der NO<sub>x</sub>-Jahresfracht an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen für alle Anlagenarten (N=128) des Sektors Energiewirtschaft und Industrie berechnet /MKULNV-GFA 2015/. Zur Darstellung der prozentualen NO<sub>x</sub>-Emissionen wurden die Anlagenarten von 1 bis 128 durchnummeriert. Die absoluten Zahlenwerte der Emissionen für die einzelnen Anlagenarten sind im Anhang in Tab. A.1 aufgeführt. Aus dieser Tabelle ist auch ersichtlich, welche Anlagenart welcher Branche zugeordnet wird. In Bild 6.5 sind die prozentualen NO<sub>x</sub>-Emissionen der in NRW vorhandenen Anlagenarten bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie dargestellt.

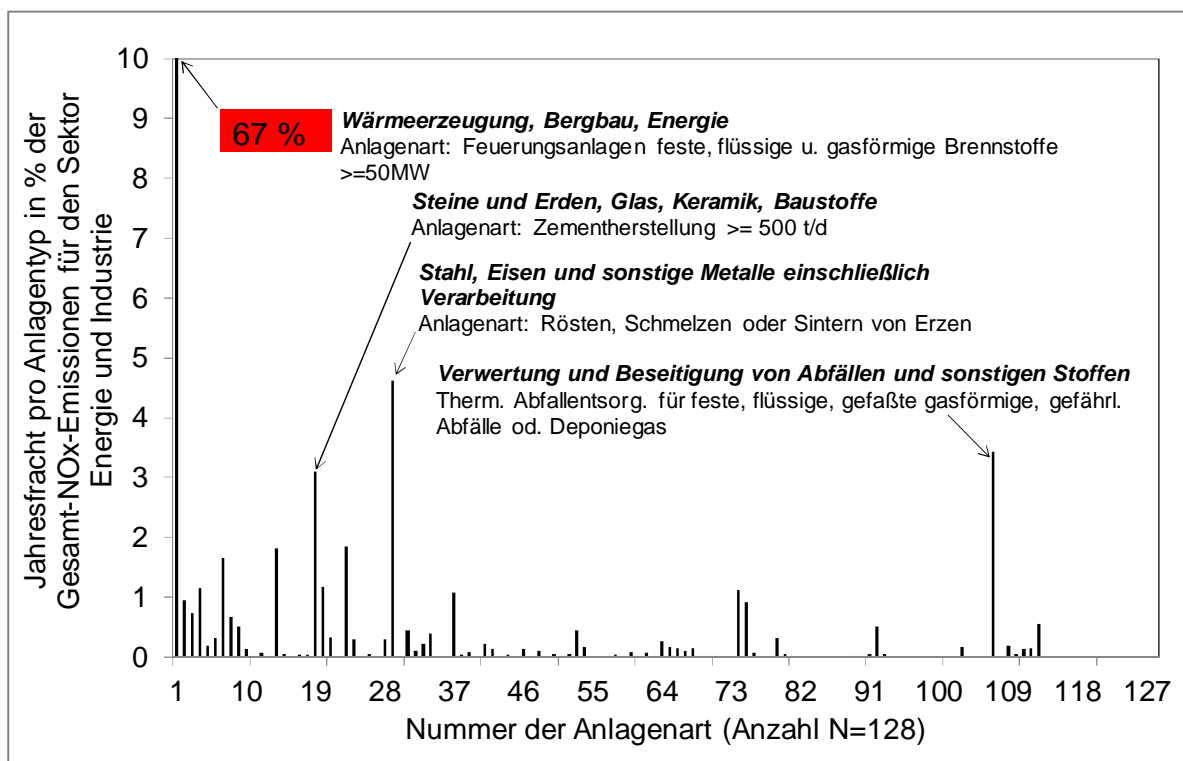


Bild 6.5: Prozentuale Anteile der NO<sub>x</sub>-Emissionen der einzelnen Anlagenarten (Nr.1 bis Nr.128) an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen für den Sektor Energiewirtschaft und Industrie in NRW 2012

Bild 6.5 zeigt, dass die Anlagenart „**Feuerungsanlagen feste, flüssige u. gasförmige Brennstoffe >=50 MW**“ (Anlagenanzahl N=152, Ordnungsnummer 1.1 nach Anhang 1 der 4. BImSchV.) innerhalb der Branche „*Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie*“ mit nahezu 66,8 % (entspricht einer Jahresfracht von 108.838 t NO<sub>x</sub> angegeben als NO<sub>2</sub>) den größten Anteil an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie besitzt.

Innerhalb der Branche „*Steine, Erden, Glas, Keramik und Baustoffe*“ ist die Anlagenart „**Zementherstellung >=500 t/d**“ (Anlagenanzahl N=11, Ordnungsnummer 2.3.1 nach Anhang 1 der 4. BImSchV.) mit einem Anteil von ca. 3,1 % (entspricht 5.053 t NO<sub>x</sub> angegeben als NO<sub>2</sub>) an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors am bedeutendsten.

Die Anlagenart „**Rösten, Schmelzen oder Sintern von Erzen**“ (Anlagenanzahl N=3, Ordnungsnummer 3.1 nach Anhang 1 der 4. BImSchV.) innerhalb der Branche „*Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung*“ besitzt mit 4,6 % (entspricht 7.531 t NO<sub>x</sub> angegeben als NO<sub>2</sub>) den größten Anteil an den gesamt NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors.

Innerhalb der Branche „*Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen*“ ist die Anlagenart „**Thermische Abfallentsorgung für feste, flüssige, gefasste gasförmige, gefährliche Abfälle oder Deponiegas**“ (Anlagenanzahl N=6, Ordnungsnummer 8.11 nach Anhang 1 der 4. BImSchV.) mit einem Anteil von ca. 3,4 % (entspricht 5.596 t NO<sub>x</sub> angegeben als NO<sub>2</sub>) an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors am bedeutendsten.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die vier genannten Anlagenarten zusammen einen Anteil von 77,9 % (entspricht 127.019 t NO<sub>x</sub> angegeben als NO<sub>2</sub>) von den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie ausmachen.

## 6.2.4 Trendentwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen bis 2025

### 6.2.4.1 Trendentwicklung Energiewirtschaft

Im Zeitraum von Ende 2012 bis Anfang 2015 wurde eine Reihe von Kraftwerksblöcken vorläufig oder endgültig stillgelegt. Im Anhang in Tab. A.4 sind die Kraftwerksblöcke aller Anlagen aufgeführt, welche nach der Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur /BNA 2015/ endgültig oder vorläufig stillgelegt wurden. In Tab. A.5 ist eine Übersicht der stillgelegten Feuerungsanlagen > 50 MW mit einem Anteil > 1 % an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen der Branche „*Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie*“ aufgeführt. Aufgrund der vorläufigen bzw. endgültigen Stilllegung aller Kraftwerksblöcke (Tab. A.4) ergibt sich in der Trendentwicklung bis 2015 bereits eine NO<sub>x</sub>-Minderung von 13.245 t. Dies entspricht 10,8 % bezogen auf die Branche „*Wärme, Bergbau und Energie*“ und ca. 8,1 % bezogen auf den Sektor Energiewirtschaft und Industrie.

Zwischen den Jahren 2012 bis 2015 wurden auch Kraftwerke in Betrieb genommen, im Anhang in Tab. A.6 sind diese in Betrieb genommenen Kraftwerke aufgeführt. Für die zwischen 2012 und 2015 in Betrieb genommenen Kraftwerke liegen derzeit noch keine

Informationen bezüglich der NO<sub>x</sub>-Emissionen oder der Betriebszeiten vor, da mit aktuellen Emissionserklärungen für 2016 erst im Jahr 2017 zu rechnen ist. Es erfolgt daher nur eine grobe Abschätzung auf Basis der Feuerungswärmeleistung und des verwendeten Brennstoffes, wie hoch die zu erwartenden NO<sub>x</sub>-Emissionen bei diesen Kraftwerken sind.

Unter den im Anhang in Tab. A.6 aufgeführten 9 Anlagen ist lediglich eine Anlage, welche mit Braunkohle betrieben wird. Die Feuerungswärmeleistung dieser Anlage ist < 50 MW und daher im Vergleich zur Feuerungsleistung der 11 relevantesten Anlagen (Tab. A.2) niedrig. Es kann daher angenommen werden, dass die NO<sub>x</sub>-Emissionen dieser Anlage bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors „Energie und Industrie“ vernachlässigbar niedrig sind. Bei vier dieser Anlagen handelt es sich um neue Steinkohlefeuerungsanlagen, welche 2013 oder 2014 erstmals in Betrieb genommen wurden und zusammen eine Feuerungswärmeleistung von ca. 3.000 MW besitzen. Summiert man die Nennwärmeleistung der zwischen 2012 und 2015 abgeschalteten Steinkohlefeuerungen auf, ergibt sich hieraus eine Gesamt-Nennwärmeleistung von 3.452 MW. Die abgeschalteten Steinkohlefeuerungen wurden alle vor 1980 in Betrieb genommen. Es ist anzunehmen, dass die NO<sub>x</sub>-Emissionen dieser „Altanlagen“ höher waren, als die NO<sub>x</sub>-Emissionen der neu in Betrieb genommenen Anlagen.

Berücksichtigt man nun die Stilllegung der außer Betrieb genommenen Steinkohlefeuerungen nicht, da neue Steinkohlefeuerungen in Betrieb genommen wurden, ergibt sich nur noch eine Minderung von ca. 5.760 t bis 2015. Dies entspricht 4,7 % bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen der Branche „Wärme, Bergbau und Energie“ und 3,5 % bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen der Quellengruppe „Energie und Industrie“ für den Zeitraum von 2012 bis 2015. Für das Jahr **2015** sind somit **NO<sub>x</sub>-Emissionen von 157.152 t** zu erwarten. Dies kann als konservative Schätzung bezeichnet werden, da einerseits insgesamt weniger Feuerungswärmeleistung installiert wurde und andererseits „Altanlagen“ durch „Neuanlagen“ ersetzt wurden.

Zur Abschätzung der Trendprognose bis 2025 wird der Netzentwicklungsplan (Szenario A) /NEP 2014a/ herangezogen. Im Anhang in Tab. A.7 sind alle Anlagen aufgeführt von denen angenommen wird, dass sie 2025 nicht mehr in Betrieb sind<sup>23</sup>. Berechnet man nun die NO<sub>x</sub>-Minderung durch die Stilllegung dieser Anlagen, ergibt sich für das Jahr 2025 eine Minderung von 21.868 t. Dies entspricht, bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen (aktualisierte Daten 2015) der Branche „Wärme, Bergbau, Energie“, ca. 17,9 % und bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emission des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“, ein Minderungspotenzial von ca. 13,9 %.

Aus der Kraftwerkliste des Netzentwicklungsplans /NEP 2015/ geht zudem hervor, dass zwischen 2015 und 2025 auch neue Anlagen in Betrieb genommen werden sollen. Eine Übersicht dieser Kraftwerke ist im Anhang in Tab. A.8 gegeben. Besonders hervorzuheben hierbei ist ein neuer Kraftwerksblock, welcher mit Braunkohle betrieben werden soll und eine

<sup>23</sup> Der vorliegende Bericht (Stand Dezember 2015) wurde vor der Verabschiedung des Strommarktgesetzes (8. Juli 2016) erstellt. Ggf. sind die Annahmen zur Stilllegung von Kraftwerken nicht mehr aktuell.

Nennwärmeleistung von 1.100 MW aufweisen soll. Bei diesem Block handelt es sich um das erste Braunkohlekraftwerk, bei welchem eine Sekundärmaßnahme zur NO<sub>x</sub>-Minderung eingesetzt werden soll /BoAplus/. Es ist davon auszugehen, wenn keine abweichenden Grenzwertfestlegung im Genehmigungsbescheid getroffen werden und die der derzeitigen 13. BImSchV entsprechenden Grenzwerte für Braunkohlekraftwerke zugrundegelegt werden, dass die NO<sub>x</sub>-Konzentrationen wie bisher nur knapp unter dem bisherigen Grenzwert von 200 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N.</sub> liegen werden.

Die Nennwärmeleistung des neuen Blockes BoAplus (1.100 MW) entspricht ungefähr der Summe der Nennwärmeleistung der Blöcke C, D, E und F (insgesamt 1.200 MW), welche laut NEP bis 2025 stillgelegt werden sollen. Unter der Annahme, dass die jährlichen NO<sub>x</sub>-Emissionen des Blockes BoAplus und die Summe der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Blöcke C, D, E und F des Kraftwerks Niederaußem ähnlich hoch sind, reduziert sich die Minderung in der Trendentwicklung aufgrund der Inbetriebnahme des Blockes BoAplus im Jahre 2018 um ca. 6.850 t.

Zudem soll im Jahre 2018 der Steinkohlekraftwerksblock Lünen 8 mit einer Nennwärmeleistung von 735 MW in Betrieb genommen werden. Die Nennwärmeleistung dieses Blockes entspricht in etwa der Nennwärmeleistung des Blockes F des Kraftwerkes Scholven, welcher bereits 2014 stillgelegt wurde. Unter der Annahme, dass auch hier die jährlichen NO<sub>x</sub>-Emissionen vergleichbar sind, reduziert sich die NO<sub>x</sub>-Minderung aufgrund des Trends bis 2025 um weitere 284,5 t.

Insgesamt reduziert sich aufgrund der Inbetriebnahme des Blockes BoAplus und des Blocks F des Kraftwerkes Niederaußem die NO<sub>x</sub>-Minderung aufgrund des Trends um 7.135 t. Das Minderungspotential bezogen auf das Jahr 2015 beträgt somit 14.733 t, dies entspricht ca. 9,4 % bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emission des Sektors Energiewirtschaft und Industrie.

#### **6.2.4.2 Trendentwicklung Industrie**

Eine weitere Trendentwicklung bzw. eine weitere Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen bis 2025 ist für den Bereich Industrie zu erwarten. Eine im Jahr 2013 eingeführte Grenzwertverschärfung (Neufassung der 17. BImSchV) betrifft u.a. die Zementindustrie als weiteren NO<sub>x</sub>-Großemittenten (NO<sub>x</sub>-Tagesgrenzwert = 200 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N.</sub>). Übergangsregelungen für bestehende Anlagen gelten jedoch bis maximal zum 01.01.2019. Bis zu diesem Datum müssen alle Anlagen, die der 17. BImSchV (Bundesimmissionsschutzverordnung) unterliegen, diesen Grenzwert einhalten. Mehr Details hierzu finden sich in Kapitel 5.4.2. Wie dort beschrieben, wurden in NRW 11 Anlagen der Zementindustrie mit einem nennenswerten Anteil an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen identifiziert. Werden nun die neuen Grenzwerte auf diese Anlagen angewendet, dann reduzieren sich die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Anlagen zur Zementherstellung in der Trendentwicklung um 1.453 t/a.

Des Weiteren sind von dieser Neufassung der 17. BImSchV Abfallverbrennungsanlagen betroffen. Unter der Annahme der Einhaltung des NO<sub>x</sub>-Tagesgrenzwert = 200 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N.</sub>

reduzieren sich die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus diesem Anlagentyp bis spätestens 1.1.2019 um weitere 237 t.

Bedingt durch den zuvor beschriebenen Trend sind somit für das Jahr **2025** für den Sektor „Energieversorgung und Industrie“ insgesamt NO<sub>x</sub>-Emissionen von **140.492 t** zu erwarten.

### 6.3 Handlungsfeld 1: Energiewirtschaft

In Bild 6.6 sind die Strategien zusammenfassend aufgeführt, welche für das Handlungsfeld Energiewirtschaft näher betrachtet werden.

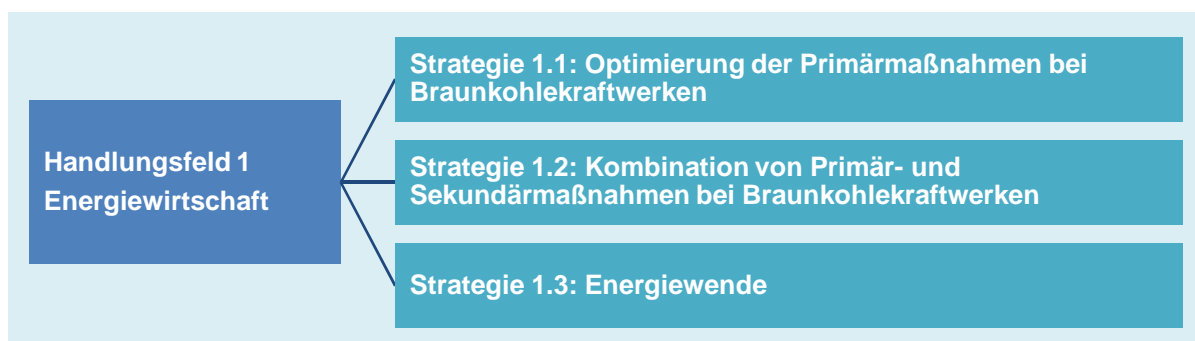


Bild 6.6: Strategien zur NO<sub>x</sub>-Minderung im Handlungsfeld Energiewirtschaft in NRW

Hauptverantwortlich für den hohen Anteil der NO<sub>x</sub>-Emissionen an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energie und Industrie ist die Anlagenart „**Feuerungsanlagen feste, flüssige u. gasförmige Brennstoffe >=50MW**“. Der Beitrag dieser Anlagenart beträgt bereits nahezu 67 % an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen dieses Sektors (siehe im Anhang Tab. A.1). Insgesamt befinden sich in NRW 152 Anlagen und 629 Quellen dieser Anlagenart.

Eine detailliertere Betrachtung dieser Anlagenart zeigt, dass lediglich bei insgesamt 11 Anlagen der Beitrag an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen > 1 % liegt. Diese 11 Anlagen zusammen liefern allerdings einen Beitrag von ca. 49 % an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie, wobei alle 11 Anlagen in den Bereich der Energiewirtschaft fallen. Im Anhang in Tab. A.2 sind diese 11 Anlagen mit ihrem prozentualen Anteil an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen bezogen auf die Branche „Wärme, Bergbau, Energie“ und bezogen auf den Sektor Energiewirtschaft und Industrie aufgeführt. In der Tabelle sind außerdem die absoluten Zahlenwerte der NO<sub>x</sub>-Emissionen der einzelnen Anlagen angegeben.

In Bild 6.7 sind die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Anlagenart „**Feuerungsanlagen feste, flüssige u. gasförmige Brennstoffe >=50MW**“ in Abhängigkeit des eingesetzten Brennstoffes aufgeführt. Insgesamt sind 629 einzelne Quellen innerhalb dieser Anlagenart vorhanden aus denen insgesamt 108.838 t NO<sub>x</sub> angegeben als NO<sub>2</sub> emittiert wird. Das Bild zeigt, dass die

Feuerungsanlagen, welche Braunkohle verfeuern (N=42), mit einem Anteil von 55,4 % den größten Anteil an den NO<sub>x</sub>-Emissionen dieser Anlagenart ausmachen.

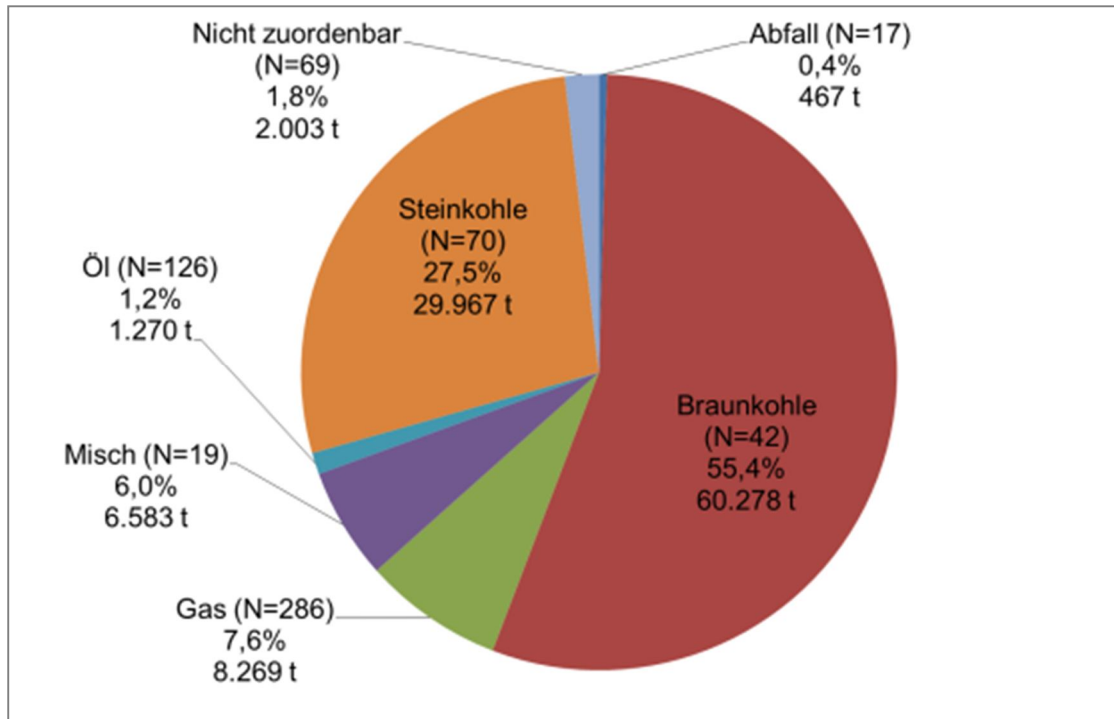


Bild 6.7: *Prozentualer Anteil an den NO<sub>x</sub>-Emissionen der Anlagenart „Feuerungsanlagen feste, flüssige u. gasförmige Brennstoffe >=50 MW“ in Abhängigkeit des eingesetzten Brennstoffes bezogen auf die absoluten NO<sub>x</sub>-Emissionen (108.838 t) dieser Anlagenart (Bezugsjahr 2012)*

Da nahezu die Hälfte (ca. 49 %) der NO<sub>x</sub>-Emissionen aus den im Anhang in Tab. A.2 aufgeführten 11 Anlagen emittiert wird, ist das NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial bei diesen Anlagen am höchsten.

### 6.3.1 Strategie 1.1: Primärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken

In Sevilla wurde Anfang Juni 2015 diskutiert, mit welchen besten verfügbaren Techniken (BVT) bei Großfeuerungsanlagen ab dem Jahr 2021 Schadstoffemissionen begrenzt werden können /Ahrens 2015/. Diskutiert wurde unter anderem auch, dass Braunkohlekraftwerke europaweit ab dem Jahr 2021 maximal 175 mg NO<sub>x</sub>/m<sup>3</sup> emittieren dürfen.

Derzeit liegt der Grenzwert für NO (angegeben als NO<sub>2</sub>) und NO<sub>2</sub> bei Großfeuerungsanlagen, welche mit Braunkohle befeuert werden und eine Feuerungswärmeleistung > 100 MW aufweisen, bei 200 mg/m<sup>3</sup><sub>i.N.</sub> bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 6 % /13. BImSchV/. Der aktuelle Grenzwert von 200 mg/m<sup>3</sup><sub>i.N.</sub> kann durch die Anwendung von

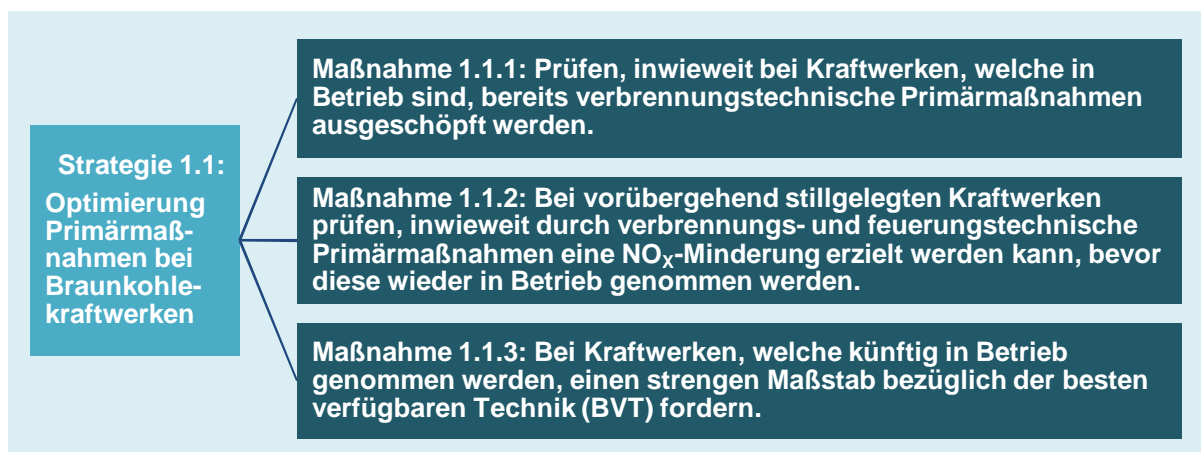


Primärmaßnahmen eingehalten werden. Folgende Primärmaßnahmen werden in Braunkohlekraftwerken angewendet /Beckmann et al 2009/:

- Luftstufung mit zwei Ausbrandluftebenen,
- Verringerung der Gesamtluftzahl,
- Vergrößerung der Höhe des Brennergürtels, zusätzliche Brennstoffstufung,
- Lange Verweilzeiten durch große Brennkammerhöhen,
- Luftstufung bereits am Brenner durch optimierte Kohlestaubbrenner.

Die bei Kraftwerken feststehende Brennkammergröße begrenzt die Verweilzeit und somit auch die NO<sub>x</sub>-Minderung. Durch eine Stufung der Luftzufuhr und Absenkung des Gesamtluftüberschusses können jedoch die NO<sub>x</sub>-Emissionen weiter gemindert werden. Dies führt allerdings mitunter zu Korrosionserscheinungen in Form von Eisensulfiden auf den Membranwänden der Dampferzeuger /Brunne et al. 2006/. Inwieweit durch eine weitere Ausschöpfung von Primärmaßnahmen NO<sub>x</sub> gemindert werden kann, muss für jede Anlage einzeln überprüft werden, im Rahmen dieses Gutachtens ist diese umfangreiche Prüfung nicht möglich.

In Bild 6.8 sind die Maßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung in NRW für die Strategie 1.1 aufgeführt, welche auf die Ausschöpfung von Primärmaßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung abzielt. Die Maßnahme betrifft die Anlagenart „Feuerungsanlagen feste, flüssige u. gasförmige Brennstoffe  $\geq 50$  MW“ und zielt auf Braunkohlefeuerungsanlagen ab, da bei diesen Feuerungsanlagen das größte Potenzial zur NO<sub>x</sub>-Minderung in NRW gegeben ist.



*Bild 6.8: Übersicht der Maßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung in NRW für die Strategie „Optimierung von Primärmaßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Reduzierung bei Braunkohlekraftwerken“*

Welche Maßnahme, bzw. Maßnahmenkombination, bei der in Bild 6.8 aufgeführten Strategie angewandt wird, hängt im besonderen Maße von der künftigen energiepolitischen Entwicklung ab. Derzeit werden Stein- und Braunkohlekraftwerke überwiegend als Brücken-

technologie angesehen. Ältere Kraftwerke (vor 1980 in Betrieb genommen) werden teilweise endgültig oder vorübergehend stillgelegt. Bei allen Kraftwerken kann davon ausgegangen werden, dass diese künftig möglicherweise öfters als bisher in Teillastbetrieb übergehen. Ist bei einem Kraftwerk neueren Typs davon auszugehen, dass dieses als Brückentechnologie zur Energieerzeugung eingesetzt werden soll, lohnt sich eine Prüfung, inwieweit hier die Primärmaßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung in Bezug auf einen Teillastbetrieb geeignet sind. Bei Kraftwerken, welche derzeit vorübergehend stillgelegt sind und eventuell zu einem späteren Zeitpunkt wieder den Betrieb aufnehmen sollen, sollte neben der Ausschöpfung der Primärmaßnahmen auch geprüft werden, inwieweit eine nachträgliche Integration eines SNCR wirtschaftlich sinnvoll ist. Auf die Kombination von Primärmaßnahmen und Sekundärmaßnahmen wird in Strategie 1.2 eingegangen.

### **Minderungspotenzial der Strategie 1.1**

Im Folgenden werden alle Braunkohlekraftwerke mit einer Nennwärmeleistung > 300 MW und einem Anteil >1 % an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen bezogen auf den Sektor „Energiewirtschaft und Industrie“ berücksichtigt. Insgesamt handelt es sich hierbei um die in Tab. A.3 aufgelisteten 11 Anlagen (Quellenanzahl von N=76). Es wird angenommen, dass durch Optimierung der Primärmaßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Reduzierung künftig NO<sub>x</sub>-Konzentrationen von 150 mg/m<sup>3</sup><sub>i.N.</sub> eingehalten werden können. In Bild 6.9 ist der Maßnahmensteckbrief für die Strategie 1.1 bezüglich der Ausschöpfung von Primärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken aufgeführt. Steckbriefe auf Maßnahmenebene können hier nicht ausgefüllt werden, da eine Prüfung bezüglich der Ausschöpfung von Primärmaßnahmen bei allen relevanten Anlagen enorm aufwändig wäre (Quellenanzahl 76). Unter der Annahme, dass künftig bei den Braunkohlekraftwerken mit einer Nennwärmeleistung > 300 MW und einem Anteil >1 % an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen bezogen auf den Sektor „Energiewirtschaft und Industrie“ NO<sub>x</sub>-Konzentrationen von 150 mg/m<sup>3</sup><sub>i.N.</sub> eingehalten werden können, ergibt sich hieraus ein Minderungspotenzial von 8.072 t. Dem Steckbrief in Bild 6.9 kann das NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial in Prozent für das Jahr 2025 entnommen werden.

Zur Berechnung des Minderungspotenzials wurden die Daten vom MKULNV /MKULNV-GFA 2015/ anhand der aktuellen Kraftwerksliste der Bundesnetzagentur von 2015 /BNA 2015/ aktualisiert. D.h., Kraftwerke welche zwischen 2012 und 2025 vorübergehend oder endgültig stillgelegt wurden, werden bei der Berechnung des NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzials bis 2025 nicht mitberücksichtigt (vergl. Abschnitt 6.2.4.1).

<b>IE 1.1 Strategie: Primärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Betreiber von Braunkohlefeuerungsanlagen (N=11) mit einer Nennwärmeleistung >300MW und einem Anteil >1 % an den Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen für den Sektor Energie und Industrie		Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie -Braunkohlekraftwerke-	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Reduzierung der NO <sub>x</sub> -Konzentration von derzeit >150 mg/m <sup>3</sup> <sub>i,N</sub> . (Grenzwert 200 mg/m <sup>3</sup> <sub>i,N</sub> ) auf 150 mg/m <sup>3</sup> <sub>i,N</sub> .			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung:</b> Durch verbrennungstechnische Primärmaßnahmen zur NO <sub>x</sub> -Minderung (Luftstufung, Abgasrückführung etc.) können niedrigere NO <sub>x</sub> -Konzentrationswerte eingehalten werden.			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012 (Basisfall)	2015 (aktualisierte Daten)	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	162.912	157.152	140.729
Minderung ggü. Trend [t]			8.072
Minderung ggü. Trend (Anteil)			6%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	NO <sub>x</sub> -Vermeidungskosten: Wenn eine Reduzierung der Konzentrationswerte durch eine rein verbrennungstechnische Maßnahme wie z.B. das Einblasen von Oberluft realisiert werden kann sind geringe Vermeidungskosten zu erwarten. Sind hierzu allerdings Änderungen der Anlagentechnik notwendig sind höhere Investitionen zu erwarten.		
Wirkung auf PM10:	abhängig von der verbrennungstechnischen Maßnahme		
Wirkung auf Klima:	tendenziell positiv		
Wirkung auf Lärm	keine		
Wirkung auf Energieverfügbarkeit	tendenziell negativ		
Technologische Aspekte:	Anlagentechnik ist am Markt verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	Änderung des NO <sub>x</sub> -Grenzwertes von derzeit 200mg/m <sup>3</sup> auf 150mg/m <sup>3</sup> in der 13. BImSchV		
Ökonomische Aspekte:			
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	Energiewende (IE 1.3): Maßnahmen sind sinnvoll für Anlagen, welche auch nach 2025 in Betrieb bleiben bzw. in Betrieb genommen werden		
<b>Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse</b>	Abhängig von der installierten Anlagentechnik und der Laufzeit der betreffenden Anlagen; Korrosionserscheinungen an den Membranwänden der Dampferzeuger		

Bild 6.9: Steckbrief für die Strategie „Optimierung von Primärmaßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung bei Braunkohlekraftwerken“

### 6.3.2 Strategie 1.2: Kombination von Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken

Sekundärmaßnahmen sind bisher in Braunkohlefeuerungen nicht vorgesehen, da anhand der oben aufgeführten Primärmaßnahmen der derzeit gültige Grenzwert von 200 mg/m<sup>3</sup><sub>i.N.</sub> bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 6 % eingehalten werden kann /Brunne et al. 2006/. Durch die Eigenschaften der meisten Braunkohlefeuerungen wie

- große Kesselgeometrie,
- hoher Flugstaub- und SO<sub>2</sub>-Gehalt im Abgas,
- mineralienreiche Aschezusammensetzung,
- vorhandene Abgasentschwefelungsanlage,

können sich folgende Schwierigkeiten in der Anwendung von Reduktionsverfahren (SCR und SNCR) zur NO<sub>x</sub>-Minderung ergeben /Brunne et al. 2006/:

- begrenzte Wurfweite des Reduktionsmittels bei zu großen Kesselgeometrien,
- Bei hoher Staubbelastung ist der Impulsabbau im Abgaskanal groß und verschiebt das zur Entstickung geeignete Temperaturfenster bei einer Laständerung in der Höhe der Eindüsungsebene, daher sind entsprechend viele Düsenebenen vorzusehen, welche die Investitionskosten erhöhen.
- Einbauten wie Strahlungsheizflächen können den Eindüsweg versperren.

Festzuhalten ist jedoch auch, dass zumindest deutschlandweit aufgrund der vergleichsweise guten Anlagentechnik und dem Ausschöpfen von Primärmaßnahmen bei der Installation eines Reduktionsverfahrens nach dem Stand der Technik deutlich geringere Grenzwerte als die diskutierten 175 mg/m<sup>3</sup><sub>i.N.</sub> eingehalten werden könnten /Ahrens 2015/. Eine Absenkung der NO<sub>x</sub>-Konzentrationen auf 100 mg/m<sup>3</sup> erscheint dann realistisch, wenn auch für Braunkohlekraftwerke gefordert wird, die BVT (beste verfügbare Technik) einzusetzen. Schon im Jahre 2003 wurde vom Umweltbundesamt in Österreich beschrieben /Böhmer et al. 2003/, dass die Einhaltung von NO<sub>x</sub>-Grenzwerten unter 100 mg/m<sup>3</sup><sub>i.N.</sub> (bezogen 6 % O<sub>2</sub> als HMW) unabhängig vom Brennstoff, durch eine Kombination von Primär- und Sekundärmaßnahmen, erreicht werden könnte.

In Bild 6.10 sind die Maßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung in NRW für die Strategien 1.2 aufgeführt, welche auf die Kombination von Primär- und Sekundärmaßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung abzielen. Die Maßnahmen betreffen die Anlagenart „Feuerungsanlagen feste, flüssige u. gasförmige Brennstoffe >=50MW“ und zielen auf Braunkohlefeuerungsanlagen ab, da bei diesen Feuerungsanlagen das größte Potenzial zur NO<sub>x</sub>-Minderung in NRW gegeben ist.

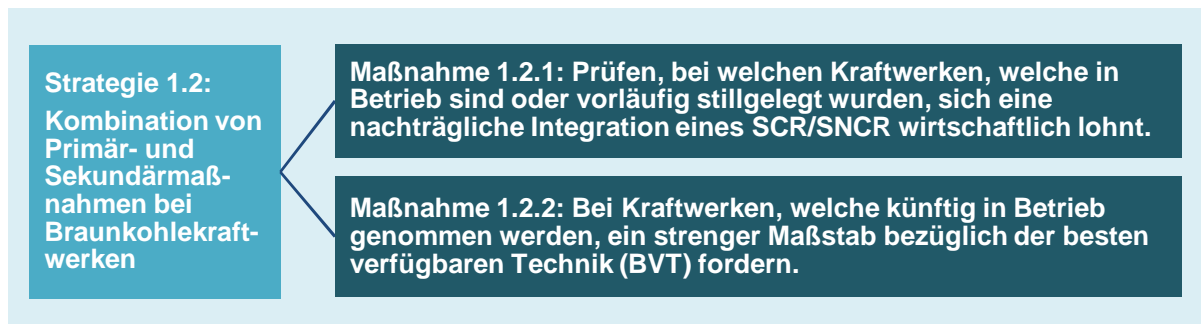


Bild 6.10: Übersicht der Maßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung in NRW für die Strategie „Kombination von Primär- und Sekundärmaßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Reduzierung bei Braunkohlekraftwerken“

Aufgrund der aktuellen Diskussion im Rahmen der Energiewende, Braunkohlekraftwerke künftig vom Netz zu nehmen, ist fraglich, ob sich Investitionen in Sekundärmaßnahmen bei diesen Anlagen überhaupt noch lohnen. Werden künftig eventuell neue Braunkohlekraftwerke in Betrieb genommen, ist es jedoch zwingend notwendig, für diese Anlagen strenge Maßstäbe bezüglich der besten verfügbaren Technik zu fordern. Die Anwendung der SCR-Technik in deutschen Braunkohlekraftwerken bedarf eines Pilot- und Demonstrationsprojekts im Kraftwerksmaßstab, um die Mengen an Betriebsmittel und den Katalysatorverbrauch realitätsnah zu bewerten. Derartige Informationen könnten eine belastbare Grundlage für weiterführende Kosten/Nutzen-Analysen sein.

In /Böhmer et al. 2003/ wurden auf Basis von Betreiberangaben die Investitionskosten für eine SCR-Anlage mit 15 Millionen € pro 1 Million m<sup>3</sup>/h Rauchgas abgeschätzt. Die hier vorgenommene Abschätzung beinhaltet nicht die Kosten für den Katalysator, welche hier mit 15.000 €/m<sup>3</sup> angenommen wurden. Die Kosten für Katalysatortausch, Ammoniakwasser und elektrische Energie sind neben den Investitions- und Wartungskosten die wesentlichen Positionen. In der folgenden Tab. 6.2 /Böhmer et al., 2003/ wurden die Kosten für die Installation einer SCR-Anlage in kalorischen Kraftwerken für Rauchgasvolumina von 200.000 m<sup>3</sup><sub>i,N</sub>/h, 500.000 m<sup>3</sup><sub>i,N</sub>/h und 1.000.000 m<sup>3</sup><sub>i,N</sub>/h abgeschätzt. Für die Abschätzung der Kosten wurde einmal von einer Rohgaskonzentration von 500 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N</sub> und einmal von einer Rohgaskonzentration von 350 mg/Nm<sup>3</sup> ausgegangen, wobei die angestrebte Reingaskonzentration in beiden Fällen bei 100 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N</sub> liegt.

Tab. 6.2: Abschätzung der Kosten einer SCR-Anlage in Abhängigkeit vom Rauchgasvolumen /Stubenvoll 2002/, /Böhmer et al. 2003/

	Einheit	Rauchgasvolumen (Nm <sup>3</sup> /h)		
		200.000	500.000	1.000.000
Abzuscheidende NO <sub>x</sub> -Konzentration	g/Nm <sup>3</sup>	0,25-0,4	0,25-0,4	0,25-0,4
Betriebsstunden	h/a	5.000	5.000	5.000
abgeschiedene Jahresfracht	t/a	250-400	625-1.000	1.250-2.000
Investitionskosten	Mio. €	4,86	9,23	15,0
Jährliche Rückzahlung <sup>a)</sup>	Mio. €/a	0,50	0,95	1,54
Betriebskosten (inkl. Kosten für elektrische Energie, Katalysator, Betriebsmittel, Wartung und Verschleiß,	Mio. €/a	0,25-0,29	0,60-0,69	1,17-1,34
<b>Beurteilte jährliche Gesamtkosten</b>	<b>Mio €/a</b>	<b>0,75-0,79</b>	<b>1,56-1,64</b>	<b>2,72-2,88</b>
<b>Beurteilte spezifische Gesamtkosten</b>	<b>€/t NO<sub>x</sub></b>	<b>1.968-3.016</b>	<b>1.638-2.488</b>	<b>1.442-2.175</b>

<sup>a)</sup> Basis: 15 Jahre, 6% Zinsen

Die Kostenabschätzung in /Böhmer et al. 2003/ kann allenfalls als grobe Orientierung angesehen werden. Inwieweit die Kosten sich auf den Anlagenpark in NRW übertragen lassen, kann in diesem Gutachten nicht geklärt werden, da die Kosten sehr stark anlagenabhängig sind. Um die Kosten für den Anlagenpark in NRW abzuschätzen, bedarf es einer anlagenabhängigen Kostenabschätzung und eines Pilot- und Demonstrationsprojekts an einem ausgewählten Kraftwerk, um konkrete Kosten ermitteln zu können.

### **Minderungspotenzial der Strategie 1.2: Kombination von Primär- und Sekundärmaßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung bei Braunkohlekraftwerken**

In Bild 6.11 ist der Maßnahmensteckbrief für die Strategie bezüglich der Ausschöpfung von Primärmaßnahmen und Sekundärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken aufgeführt. Hierbei werden die 11 Braunkohlekraftwerke mit einer Nennwärmeleistung > 300 MW und einem Anteil >1 % an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen bezogen auf den Sektor „Energiewirtschaft und Industrie“ berücksichtigt. Es wird angenommen, dass durch eine Optimierung der Primärmaßnahmen und Anwendung von Sekundärmaßnahmen, künftig NO<sub>x</sub>-Konzentrationen von 100 mg/m<sup>3</sup><sub>i.N.</sub> eingehalten werden können. Diese Maßnahme ergibt ein Minderungspotential von 19.638 t.

Dem Maßnahmensteckbrief in Bild 6.11 kann das NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial für das Jahr 2025 entnommen werden. Zur Berechnung des Minderungspotenzials werden auch hier Kraftwerke, welche zwischen 2012 und 2025 vorübergehend oder endgültig stillgelegt wurden, bei der Berechnung des NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzials nicht mitberücksichtigt.

<b>IE 1.2 Strategie: Kombination von Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Betreiber von Braunkohlefeuerungsanlagen (N=11) mit einer Nennwärmeleistung >300MW und einem Anteil >1 % an den Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen für den Sektor Energie und Industrie		Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie -Braunkohlekraftwerke-	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Reduzierung der NO <sub>x</sub> -Konzentration von derzeit >150 mg/m <sup>3</sup> <sub>i,N</sub> . (Grenzwert 200 mg/m <sup>3</sup> <sub>i,N</sub> ) auf 100 mg/m <sup>3</sup> <sub>i,N</sub> .			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub> -Emissionsminderung:</b> Durch Primär- und Sekundärmaßnahmen (SCR, SNCR) zur NO <sub>x</sub> -Minderung können niedrigere NO <sub>x</sub> -Konzentrationswerte eingehalten werden.			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012 (Basisfall)	2015 (aktualisierte Daten)	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	162.912	157.152	140.729
Minderung ggü. Trend [t]			19.638
Minderung ggü. Trend (Anteil)			14%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	NO <sub>x</sub> -Vermeidungskosten: Hohe Investitionskosten und Betriebskosten. Die Wirtschaftlichkeit ist besonders bei bestehenden Anlagen fraglich		
Wirkung auf PM10:	tendenziell positiv		
Wirkung auf Klima:	tendenziell positiv		
Wirkung auf Lärm	keine		
Wirkung auf Energieverfügbarkeit	keine		
Technologische Aspekte:	Anlagentechnik ist am Markt verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	Änderung des NO <sub>x</sub> -Grenzwertes von derzeit 200mg/m <sup>3</sup> auf 150mg/m <sup>3</sup> in der 13. BImSchV		
Ökonomische Aspekte:			
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	Energiewende (IE 1.3): Maßnahmen sind sinnvoll für Anlagen, welche auch nach 2025 in Betrieb bleiben bzw. in Betrieb genommen werden		
<b>Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse</b>	hohe Investitions- und Betriebskosten		

*Bild 6.11: Steckbrief für die Strategie „Kombination von Primärmaßnahmen und Sekundärmaßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung bei Braunkohlekraftwerken“*

Im Hinblick auf die hohen NO<sub>x</sub>-Emissionen der 11 Anlagen der Anlagenart „Feuerungsanlagen für feste, flüssige u. gasförmige Brennstoffe >=50MW“ von 49 % bezüglich der Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energie und Industrie scheint es sinnvoll, künftig bei dieser Anlagenart zu fordern, die SCR-Technik einzusetzen, um den aktuellen Stand der Technik auszuschöpfen. Der bedeutende Anteil von 49 % der NO<sub>x</sub>-Emissionen (bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energie und Industrie in NRW), welcher aus Braunkohlekraftwerken emittiert wird, könnte so reduziert werden. Im Rahmen eines Pilot- und Demonstrationsprojekts im Kraftwerksmaßstab, sollten die Mengen an Betriebsmittel und der Katalysatorverbrauch realitätsnah bewertet werden, um diese Anlagen künftig



sinnvoll mit einem SCR-Katalysator zur NO<sub>x</sub>-Minderung auszurüsten. In der folgenden Tab. 6.3 sind die BVT-Schlussfolgerungen zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen sowie die damit verbundenen Emissionswerte für Stein- und Braunkohlefeuerungen nach /UBA BVT-GFA 2006/ (entspricht dem Vorschlag für die Revision des LCP-BREF) dargestellt. Nicht bei allen Braunkohlefeuerungsanlagen wird hier die SCR-Technik als BVT-Technik in Betracht gezogen.

Tab. 6.3: BVT für die Minderung von NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Steinkohle- und Braunkohlefeuerungsanlagen /UBA BVT-GFA 2006/

Feuerungswärmeleistung (MW <sub>th</sub> )	Feuerungstechnik	NO <sub>x</sub> -Emissionswerte bei BVT-Anwendung (mg/Nm <sup>3</sup> )			Mögliche BVT zur Erzielung dieser Werte
		Neue Anlagen	Besteh. Anlagen	Brennstoff	
50 - 100	Rost-feuerung	200 - 300*	200 - 300*	Stein- und Braunkohle	Pm und/oder SNCR
	SF	90 - 300*	90 - 300*	Steinkohle	Kombination von Pm und SNCR oder SCR
	ZWSF und DWSF	200 - 300	200 - 300	Stein- und Braunkohle	Kombination von Pm
	SF	200 - 450	200 - 450*	Braunkohle	
100 - 300	SF	90* - 200	90 - 200*	Steinkohle	Kombination von Pm zusammen mit SCR oder Kombiverfahren
	SF	100 - 200	100 - 200*	Braunkohle	Kombination von Pm
	SWSF, ZWSF und DWSF	100 - 200	100 - 200*	Stein- und Braunkohle	Kombination von Pm zusammen mit SNCR
> 300	SF	90 - 150	90 - 200	Steinkohle	Kombination von Pm zusammen mit SCR oder Kombiverfahren
	SF	50 - 200*	50 - 200*	Braunkohle	Kombination von Pm
	SWSF, ZWSF und DWSF	50 - 150	50 - 200	Stein- und Braunkohle	Kombination von Pm

Anmerkungen:  
**SF:** Staubfeuerung  
**ZWSF:** Zirkulierende Wirbelschichtfeuerung  
**Pm:** Primärmaßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung  
**SNCR:** Selektive nicht katalytische NO<sub>x</sub>-Reduktion  
**SWSF:** Stationäre Wirbelschichtfeuerung  
**DWSF:** Druckwirbelschichtfeuerung  
**SCR:** Selektive katalytische NO<sub>x</sub>-Reduktion  
 Die Verwendung von Anthrazitkohle kann aufgrund der höheren Verbrennungstemperaturen zu höheren NO<sub>x</sub>-Emissionswerten führen.  
 \* Zu diesen Werten gab es abweichende Auffassungen, die im Hauptdokument im Kapitel 4.5.9 angesprochen werden.

Aus der Tab. 6.3 geht hervor, dass bei Braunkohlefeuerungsanlagen mit einer thermischen Wärmeleistung > 300 MW unter Anwendung einer Kombination von Primär- (Pm) und Sekundärmaßnahmen (SCR, SNCR oder Kombiverfahren) NO<sub>x</sub> Emissionswerte < 100 mg/m<sup>3</sup> eingehalten werden können. Eine Grenzwertabsenkung für Braunkohlekraftwerke in Betracht zu ziehen, ist aufgrund der aktuellen Energiewende nicht zwingendermaßen sinnvoll, da gerade bei Braunkohlekraftwerken davon auszugehen ist, dass diese künftig allenfalls als Brückentechnologie dienen sollen.



### 6.3.3 Strategie 1.3: Energiewende

Die Strategie basiert auf dem Ausbau von erneuerbaren Energien und den energiepolitischen Zielen der Bundesregierung. Bereits um die NO<sub>x</sub>-Minderung der Trendentwicklung abzuschätzen, wurde die aktuelle Kraftwerksliste von 2015 der Bundesnetzagentur /BNA 2015/ und die Kraftwerksliste zum Entwurf des Szenario-Rahmens für den Netzentwicklungsplan 2015 /NEP 2015a/ herangezogen. Anhand dieser beiden Kraftwerkslisten wurde die Datei mit den Emissionsdaten, welche vom MKULNV /MKULNV-GFA 2015/ zur Verfügung gestellt wurde, aktualisiert.

Aufgrund der geplanten Energiewende in Deutschland ist sowohl der Ausbau als auch die Stilllegung von Kohlekraftwerken aktuell in der Diskussion. Welche Kraftwerke bis 2025 neu in Betrieb genommen oder abgeschaltet werden, hängt unter anderem von künftigen politischen Entscheidungen ab. In dem aktuellen Szenario-Rahmen für die Netzentwicklungspläne 2015 /NEP 2014a/, werden nach § 12a EnWG „wahrscheinliche Entwicklungen“ bezüglich der Transportaufgabe des deutschen Übertragungsnetzes beschrieben. Die energiepolitischen Ziele basieren auf dem Energiekonzept der Bundesregierung von 2010 und dem Energiepaket von 2013 /NEP 2014b/. In dem Netzentwicklungsplan werden die im Folgenden genannten Zielsetzungen der Regierung für das Jahr 2020 auf das Jahr 2024 fortgeschrieben /NEP 2014b/:

- Reduktion der Treibhausgasemissionen,
- Reduktion des Primärstromverbrauches,
- Erhöhung des Anteils der Stromerzeugung aus Erneuerbaren Energien,
- Erhöhung der Offshore-Windleistung,
- Erhöhung des Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) Anteils.

Der Netzentwicklungsplan beinhaltet drei Szenarien A, B und C /NEP 2014a/. In den Szenarien werden die Gestaltungsmöglichkeiten des zukünftigen Energiemixes abgebildet. Das Szenario A betrachtet die Auswirkungen eines gemäßigten Ausbaus von erneuerbaren Energien und wurde bei der Abschätzung der Trendentwicklung zugrunde gelegt (Abschnitt 6.2.4.1). Das Szenario B ist von einem etwas höheren Anteil an erneuerbaren Energien als im Szenario A gekennzeichnet. Das Szenario C zeichnet sich durch einen hohen Anteil an Strom aus erneuerbaren Energiequellen aus und liegt etwas oberhalb des politischen Ausbaukorridors /NEP 2014a/.

Folgende Rahmendaten werden für den NEP-Prozess festgelegt /NEP 2014b/:

- Ausbaukorridor auf 40 % bis 45 % erneuerbarer Energien (Anteil am Bruttostromverbrauch 2025),
- 6,5 GW installierte Kapazität bei Wind-Offshore bis 2020,
- 2,5 GW jährlicher Netto-Zubau bei Wind-Onshore,
- 2,5 GW jährlicher Brutto-Zubau bei Photovoltaik,
- 100 MW Brutto-Zubau bei Biomasse jährlich.

Laut dem Klimaschutzplan (KSP) von NRW kann bis zum Jahr 2025 ca. 30 % des Stroms in NRW aus erneuerbaren Energien gewonnen werden /KSP-NRW 2015/. Die Maßnahme, einen hohen Anteil des Stromes aus erneuerbaren Energien zu gewinnen, lässt sich jedoch nicht auf das Land NRW beschränken. Die Energiewende vorantreiben und auf die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien zu setzen, muss vom Bund und allen Ländern gemeinsam getragen werden. Die Stromnetze müssen hierzu schrittweise bundesweit auf die Anforderungen angepasst werden, welche sich aus der Energiewende ergeben.

In Bild 6.12 ist die Maßnahme zur NO<sub>x</sub>-Minderung in NRW für die Strategie 1.3 aufgeführt, welche auf einem gemäßigten Ausbau von erneuerbaren Energien beruht. Die Maßnahme betrifft alle Kraftwerke im Teilsektor Energiewirtschaft in NRW. Zur Berechnung des Minderungspotenzials bis 2025 wurde, wie bei der Trendentwicklung, das Szenario A des Netzentwicklungsplans /NEP 2014a/ herangezogen. Anders als bei der Trendentwicklung wurde jedoch angenommen, dass bis 2025 keine neuen Kraftwerksblöcke ans Netz gehen werden.

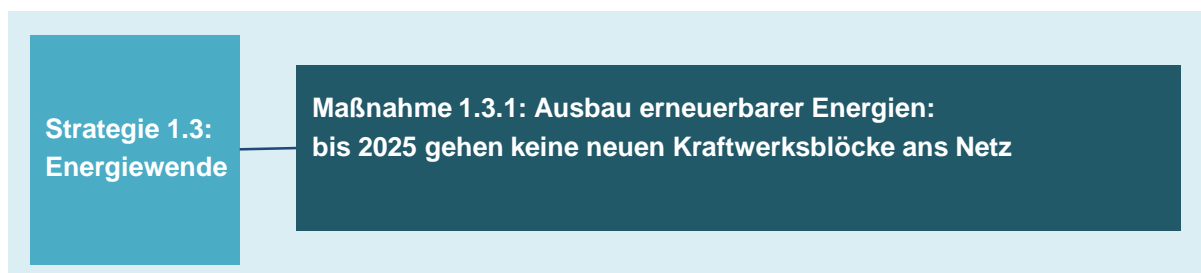


Bild 6.12: Maßnahme zur NO<sub>x</sub>-Minderung in NRW für die Strategie - Energiewende

### **Minderungspotenzial der Strategie 1.3: Energiewende 2015 bis 2025 mit dem NEP-Szenario A**

In Bild 6.13 ist der Maßnahmensteckbrief aufgeführt, in dem das Minderungspotenzial, welches sich aus dem geplanten Ausbau der erneuerbaren Energien und der dafür unterstellten nicht-Inbetriebnahme von neuen Kraftwerksblöcken ergibt, enthalten ist. Bei der Berechnung des Minderungspotenzials wurde davon ausgegangen, dass aufgrund eines verstärkten Vorantreibens der Energiewende bis 2025, anders als in der Trendentwicklung (vergl. Abschnitt 6.2.4.1), keine neuen Kraftwerksblöcke in NRW ans Netz gehen werden.

<b>IE 1.3 Strategie: Ausbau erneuerbarer Energien</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Bundwirtschaftsministerium - Bundesnetzagentur		Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie - Kraftwerke zur Energieerzeugung	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Aufgrund eines steigenden Anteils an der Stromversorgung durch erneuerbare Energien gehen zwischen 2015 und 2015 keine neuen Kraftwerksblöcke ans Netz.			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub> -Emissionsminderung:</b> Reduzierung der NO <sub>x</sub> -Emissionen, da vom Netz genommene Kraftwerksblöcke nicht durch Verbrennungskraftwerke ersetzt werden.			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012 (Basisfall)	2015 (aktualisierte Daten)	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	162.912	157.152	140.729
Minderung ggü. Trend [t]			7.135
Minderung ggü. Trend (Anteil)			5%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	NO <sub>x</sub> -Vermeidungskosten: Hohe Investitionskosten bezüglich des Ausbaus von erneuerbaren Energien		
Wirkung auf PM10:	positiv		
Wirkung auf Klima:	positiv		
Wirkung auf Lärm	keine		
Wirkung auf Energieverfügbarkeit	tendenziell negativ		
Technologische Aspekte:	Anlagentechnik ist am Markt verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	Bundesgesetz oder länderspezifische Regelung		
Ökonomische Aspekte:			
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	Für Kraftwerke, die stillgelegt werden sollen, sind Primär- und Sekundärmaßnahmen (IE 1.1, IE 1.2) nicht sinnvoll.		
<b>Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse</b>	hohe Investitionskosten für den Ausbau von erneuerbaren Energien; Auswirkungen auf die Versorgungssicherheit bei der Stromversorgung		

Bild 6.13: Steckbrief für die Strategie „Energiewende“

## 6.4 Handlungsfeld 2: Industrieanlagen

In Bild 6.14 sind die Strategien zusammenfassend aufgeführt, welche für das Handlungsfeld Industrieanlagen näher betrachtet wurden.

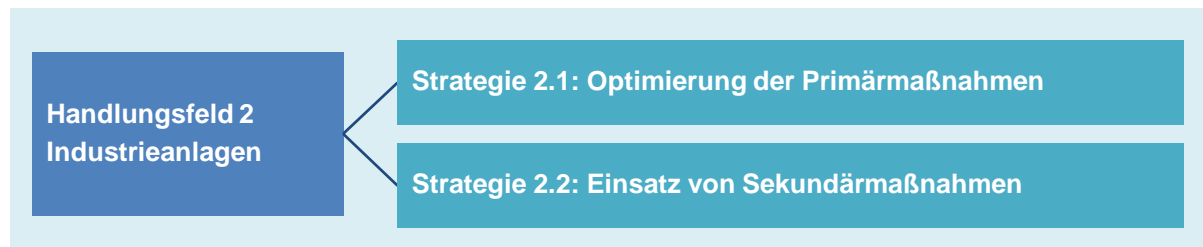


Bild 6.14: Strategien zur NO<sub>x</sub>-Minderung im Handlungsfeld Industrieanlagen in NRW

In den folgenden Unterkapiteln wird dargelegt, für welche Anlagenarten und Anlagen im Handlungsfeld Industrieanlagen das höchste Potenzial zur NO<sub>x</sub>-Minderung besteht. Betrachtet werden hierbei die in Kapitel 6.2.2 ermittelten folgenden relevanten Branchen:

- Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung
- Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe
- Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralö Raffination und Weiterverarbeitung
- Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen

### 6.4.1 Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung

Den nach der Branche „Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie“ zweitgrößten Anteil an den gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen macht mit 7,8 % die Branche „Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung“ aus. Bild 6.15 zeigt, dass innerhalb dieser Branche der Anlagentyp „Rösten, Schmelzen, od. Sintern von Erzen“ den größten Anteil (4,6 %) bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie beiträgt.

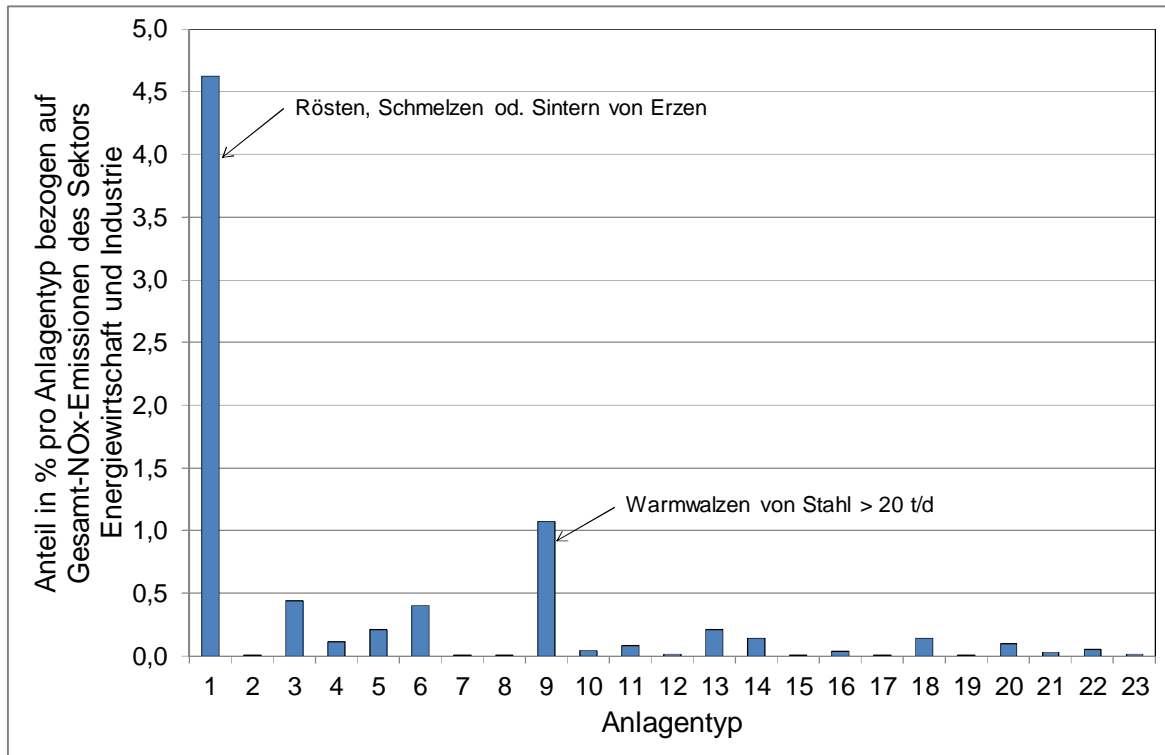


Bild 6.15: Anteil in % pro Anlagenart innerhalb der Branche der Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012)

Bild 6.16 zeigt, dass es in NRW nur drei Anlagen dieses Typs gibt, wovon nur zwei dieser Anlagen einen nennenswerten Beitrag zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen dieser Branche leisten. Bei der Anlage mit Nr. 1 handelt es sich um eine Sinteranlage. An dieser Anlage ist das NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial am höchsten. Eine Liste dieser Anlagen und ihrer Betreiber ist im Anhang in Tab. A.9 aufgeführt.

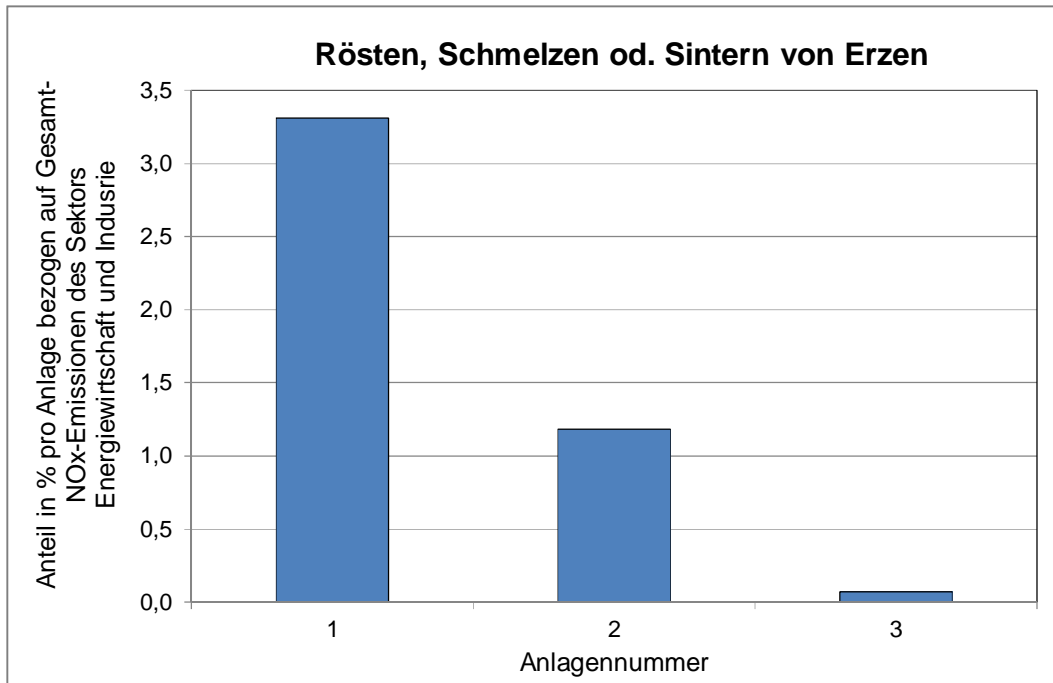


Bild 6.16: Anteil in % pro Anlage innerhalb der Anlagenart Rösten, Schmelzen und Sintern von Erzen bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012)

Festzuhalten ist, dass aus den Emissionsdaten, welche vom MKULNV zur Verfügung gestellt wurden, hervorgeht, dass keine der Anlagen mit einer SCR/SCNR-Technik ausgerüstet ist. Laut /UBA 2010/ wird die SCR-Technik in europäischen Sinteranlagen bisher nicht angewendet, obwohl in Abhängigkeit der Art des eingesetzten Katalysators, der Betriebstemperatur und der Ammoniakzugabe, NO<sub>x</sub>-Minderungen von > 90 % erreichbar sind /UBA 2010/. In /UBA BVT-ES 2012/ wird beschrieben, dass die BVT für primäre Emissionen aus Sinterbändern darin besteht, die NO<sub>x</sub>-Emissionen durch Anwendung einer oder einer Kombination folgender Techniken zu reduzieren:

Primärmaßnahmen:

- Abgasrückführung,
- Nutzung von Anthrazit als Brennstoff,
- Einsatz von Low-NO<sub>x</sub>-Brennern.

Sekundärmaßnahmen:

- Aktivkohleverfahren mit Regenerierung der Aktivkohle (RAC),
- die selektive katalytische Reduktion (SCR).

Der mit BVT assoziierte Emissionswert für Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>) bei der Anwendung von RAC an Sinteranlagen ist <250 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N</sub>. Bei Anwendung von SCR liegt er bei <120 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N</sub>.

angegeben als Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) als Tagesmittelwert und bezogen auf einen Sauerstoffgehalt von 15 % /UBA BVT-ES 2012/.

Bild 6.16 (siehe hierzu Tab. A.9) liegt die Annahme zugrunde, dass sich an allen drei Anlagen die SCR-Technik installieren lässt und eine NO<sub>x</sub>-Minderung von 90 % erreicht werden kann. Daraus ergibt sich eine NO<sub>x</sub>-Minderung von 6.686,1 t. Dies entspricht bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen der Branche „Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung“ ca. 52,9 %, bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emission des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ ein Minderungspotenzial von ca. 4,1 %.

#### **6.4.2 Steine, Erden, Glas, Keramik, Baustoffe**

Als weitere Branche mit einem relevanten Anteil an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie lässt sich die Branche „Steine, Erden, Glas, Keramik, und Baustoffe“ identifizieren. Diese Branche macht einen Anteil von 7,2 % der Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des betrachteten Sektors aus. In Bild 6.17 ist der prozentuale Anteil der einzelnen Anlagentypen der Branche „Steine, Erden, Glas, Keramik, Baustoffe“ an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ dargestellt.

Innerhalb dieser Branche macht der Anlagentyp „Zementherstellung  $\geq$  500 t/d“ mit ca. 3,1 % den größten Anteil der NO<sub>x</sub>-Emissionen, bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie, aus. Als weitere relevante Anlagentypen können Anlagen zum Brennen von Kalkstein  $\geq$ 50 t/d und Anlagen zur Herstellung von Glas oder Glasfasern mit einer Schmelzleistung  $\geq$  20 t/d identifiziert werden.

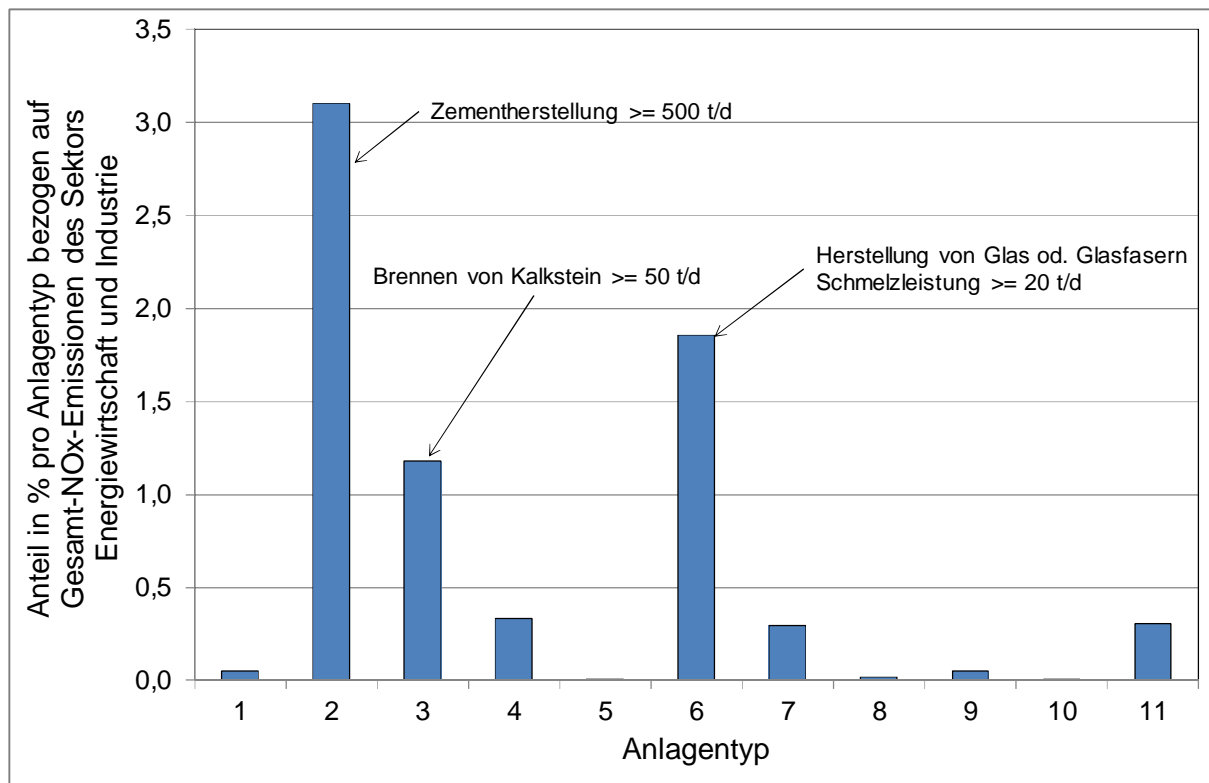


Bild 6.17: Anteil in % pro Anlagenart innerhalb der Branche Steine, Erden, Glas, Keramik, Baustoffe bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012)

Bild 6.18 zeigt, dass sämtliche Einzelanlagen des Anlagentyps „Zementherstellung  $\geq$  500 t/d“ weniger als 0,5 % ausmachen, bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie. Im Anhang in Tab. A.10 ist eine Liste dieser Anlagen enthalten. Neun der elf relevanten Anlagen zur Zementherstellung sind mit SNCR-Technik als Sekundärmaßnahme zur Reduktion von beim Brennprozess entstehenden NO<sub>x</sub>-Emissionen ausgerüstet. Lediglich eine Anlage war nicht mit SNCR-Technik ausgerüstet und für eine weitere Anlage war keine Auskunft über vorhandene Sekundärmaßnahmen verfügbar.

Allerdings ist in den kommenden Jahren mit geringeren NO<sub>x</sub>-Emissionen aus diesem Anlagentyp zu rechnen. Der Grund liegt in einer Verschärfung des Grenzwertes, niedergeschrieben in der 17. BImSchV (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen) vom 02.05.2013, die auf Anlagen der Zementherstellung anzuwenden ist. Der NO<sub>x</sub>-Grenzwert für Neuanlagen wurde auf 200 mg/m<sup>3</sup><sub>i.N.</sub>, als Tagesgrenzwert, festgelegt. Für existierende Anlagen gibt es eine Übergangsfrist, sie müssen diesen Grenzwert erst ab 1.1.2019 einhalten.

Geht man nun davon, dass alle 11 relevanten Anlagen, aufgrund der Grenzwertverschärfung, künftig (spätestens bis Anfang 2019) die Konzentrationen von 200 mg/m<sup>3</sup><sub>i.N.</sub> nicht überschreiten, so ergibt sich hieraus eine Minderung von 1.453 t/a. Dies entspricht ca.



0,9 % bezogen auf den Sektor „Energiewirtschaft und Industrie“ und ca. 12,4 % bezogen auf die Branche „Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe“. Diese Minderung muss dem allgemeinen Trend der NO<sub>x</sub>-Emissionen zugeschrieben werden (vergl. Abschnitt 6.2.4.2).

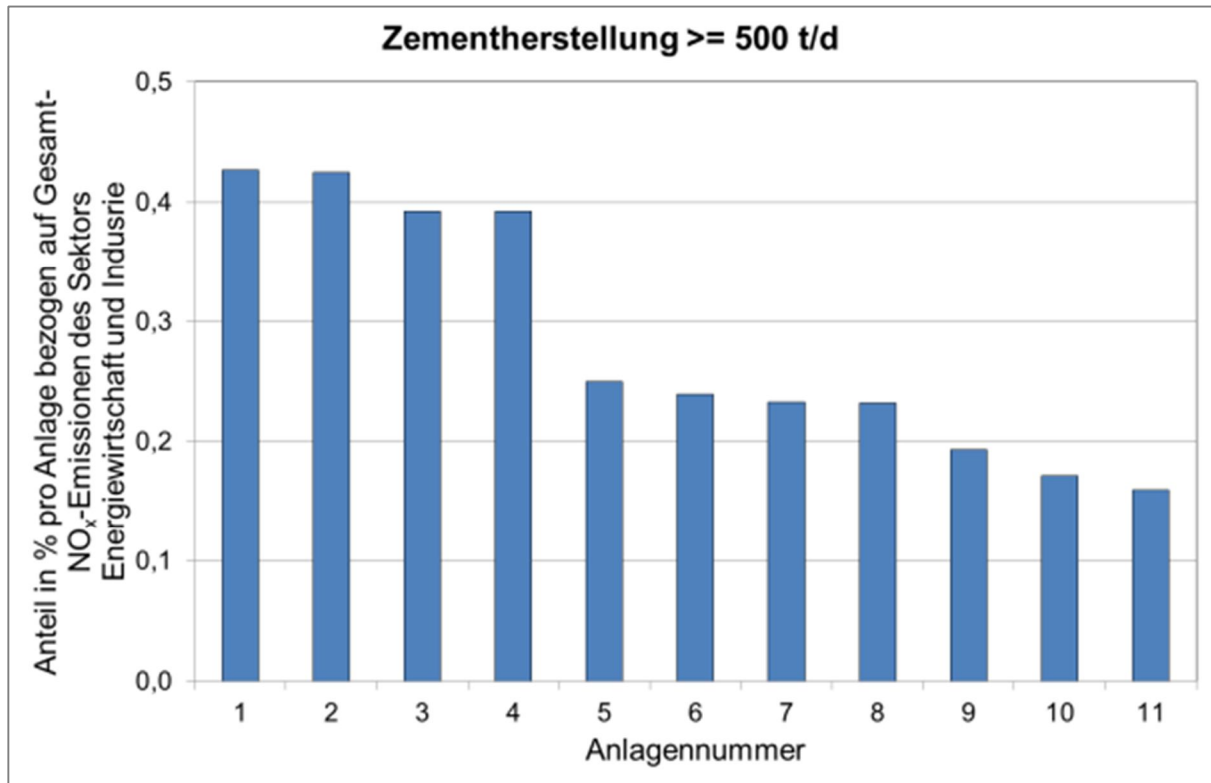


Bild 6.18: Anteil in % pro Anlage innerhalb der Anlagenart Zementherstellung >= 500 t/d, bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012)

Zu den primären NO<sub>x</sub>-Minderungsmaßnahmen in der Zementindustrie zählen beispielsweise: /UBA BVT-Ze 2010/

- NO<sub>x</sub>-arme Brenner,
- Flammenkühlung,
- gestufte Verbrennungsführung,
- Feuerung in der Ofenmitte,
- Zugabe von Mineralisatoren zur Verbesserung der Brennbarkeit des Rohmehls (mineralisierter Klinker)

Als sekundäre Minderungsmaßnahme wird in Europa vor allem das SNCR-Verfahren angewendet, welches in Deutschland schon zum Stand der Technik in der Branche gehört. In den vergangenen Jahren wurde dieses Verfahren in zahlreichen Untersuchungen (z.B. /IGF 2006/) weiter optimiert. Zudem wurde ein Demonstrationsprojekt zur Anwendung des High-Dust-SCR-Verfahrens an einer Zementofenanlage realisiert /UBA 2014b/. In diesem Projekt wurden umfangreiche Betriebsversuche und Langzeitmessungen durchgeführt.

Hierbei wurden die Leistungsfähigkeit des SCR-Verfahrens (zeitweise auch in Kombination mit dem SNCR-Verfahren) und die Auswirkungen auf den Prozess und auf andere Abgaskomponenten untersucht. Es zeigte sich, dass mit diesem Verfahren ein NO<sub>x</sub>-Emissionsniveau unterhalb von 200 mg/m<sup>3</sup> erreicht werden kann /UBA 2014b/.

### 6.4.3 Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen

Mit 4,6 %, bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“, stellt die Branche „Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen“ den viertgrößten Anteil der NO<sub>x</sub>-Emissionen dieses Sektors in NRW dar. Bild 6.19 zeigt, dass innerhalb dieser Branche der Anlagentyp „Thermische Abfallentsorgung für feste, flüssige, in Behältern gefasste gasförmige, gefährliche Abfälle oder Deponiegas“ den größten Anteil an den NO<sub>x</sub>-Emissionen der Branche besitzt.

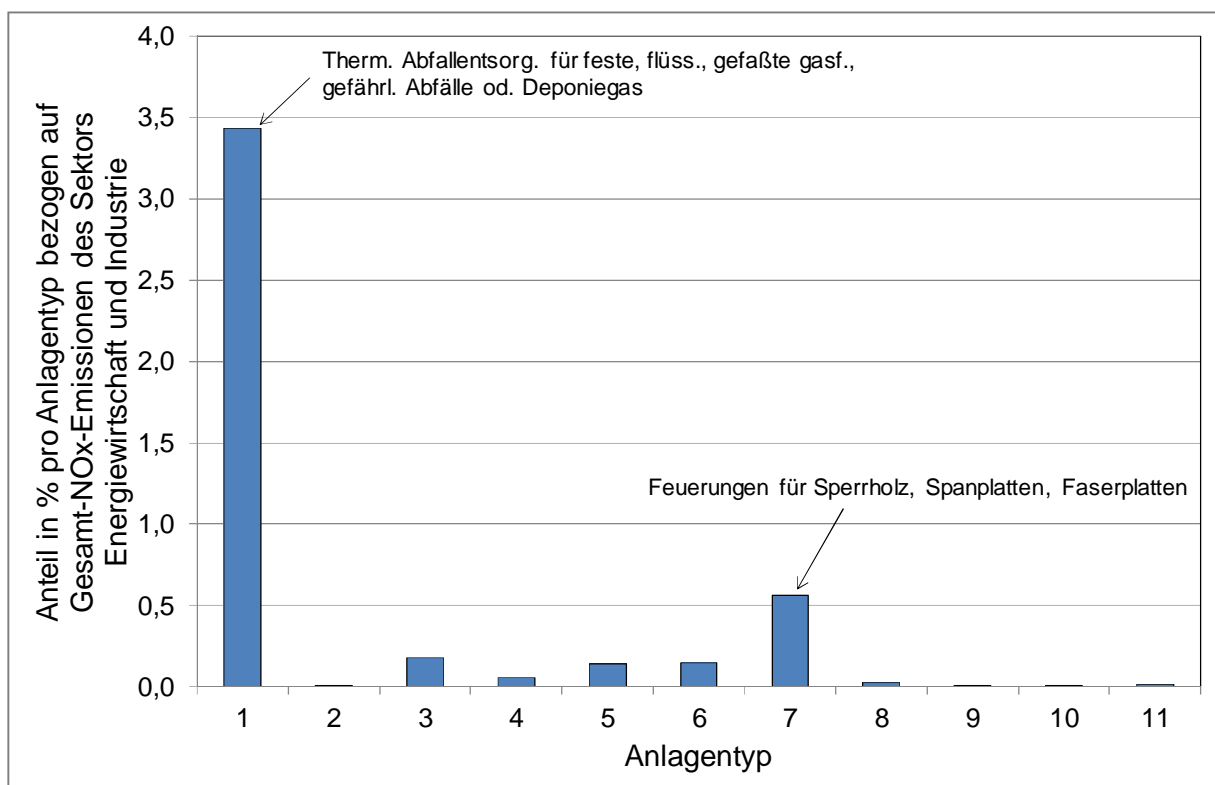
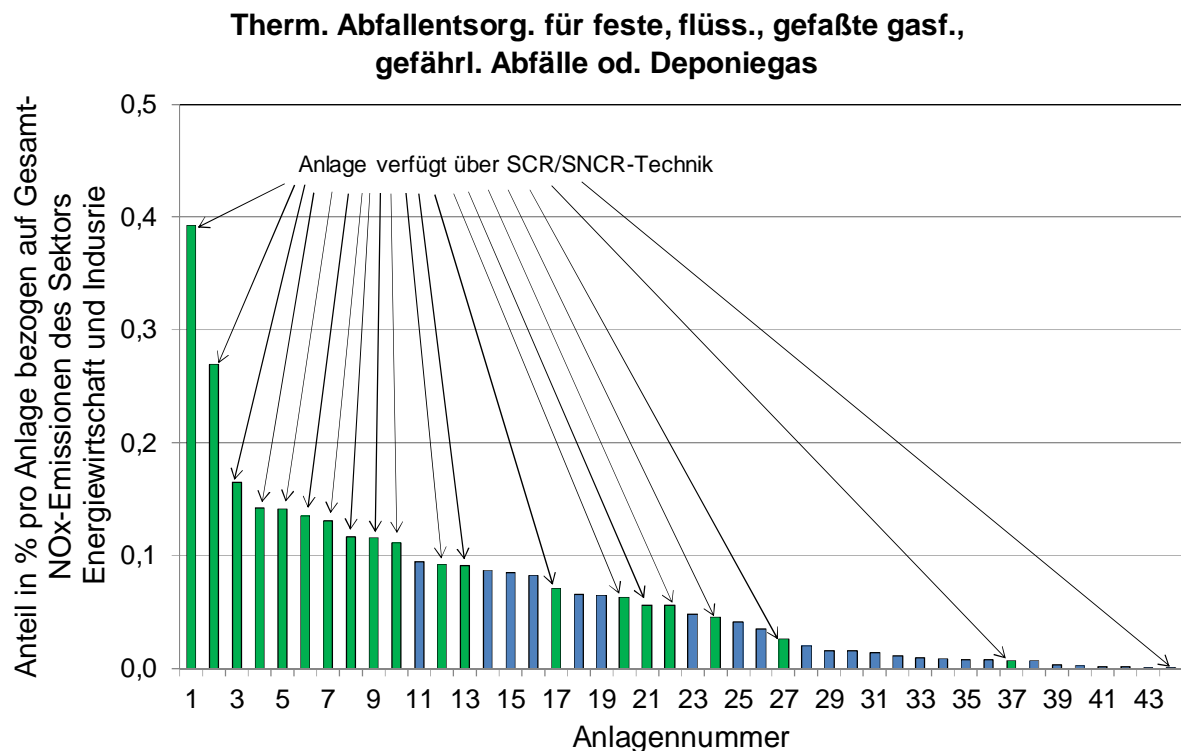


Bild 6.19: Anteil in % pro Anlagenart innerhalb der Branche „Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen“ bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012)

Bild 6.20 zeigt den NO<sub>x</sub>-Anteil aller einzelnen Anlagen (N=44) des Typs „Thermische Abfallentsorgung für feste, flüssige, in Behältern gefasste gasförmige, gefährliche Abfälle

oder Deponiegas“ bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie. Eine Liste dieser Anlagen ist im Anhang in Tab. A.11 zu finden. Festzuhalten ist, dass nach den Emissionsdaten von MKULNV, insgesamt 20 dieser 44 Anlagen mit einer SCR/SNCR-Technik ausgerüstet sind.



*Bild 6.20: Anteil in % pro Anlage innerhalb der Anlagenart „Thermische Abfallentsorgung für feste, flüssige, in Behältern gefasste gasförmige, gefährliche Abfälle oder Deponiegas“ bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012)*

In /UBA BVT-Ab 2012/ werden folgende Primärmaßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung beschrieben:

- Luftversorgung, Gasmischung und Temperatursteuerung,
- Abgaskreislaufführung,
- Sauerstoffzugabe,
- Stufenweise Verbrennung,
- Zugabe von Erdgas (Wiederverbrennung),
- Wassereindüsung in die Brennkammer.

In /UBA BVT-Ab 2012/ werden als Sekundärmaßnahmen zur NO<sub>x</sub>-Minderung die SCR/SNCR-Technik genannt. In /UBA 2011c/ wird beschrieben, dass aus den Jahresmittelwerten von Abfallverbrennungsanlagen tendenziell zu entnehmen ist, dass die Anlagen, die mit SCR-Technik ausgerüstet sind, durchgängig mit NO<sub>x</sub>-Reingaswerten von < 80 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N.</sub> betrieben werden können. Bei einer NO<sub>x</sub>-Rohgaskonzentration von 400 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N.</sub> welche für Abfallverbrennungsanlagen typisch ist, würden < 80 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N.</sub> einem Reduktionsgrad von ca. 80 % entsprechen.

Bei Abfallverbrennungsanlagen, die mit SNCR-Verfahren ausgerüstet sind, liegen die NO<sub>x</sub>-Konzentrationen in der Regel bei etwa 180 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N.</sub> oder manchmal auch knapp unter 150 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N.</sub> /Heide 2008/. Ein Konzentrationswert von 180 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N.</sub> entspricht bei einer NO<sub>x</sub>-Rohgaskonzentration von 400 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N.</sub> einem Reduktionsgrad von ca. 55 %.

Die Anlagen in Bild 6.20 unterliegen der 17. BImSchV (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen) vom 02.05.2013. Der NO<sub>x</sub>-Grenzwert für Neuanlagen wurde auf 200 mg/m<sup>3</sup><sub>i,N.</sub>, als Tagesgrenzwert, gesenkt. Für existierende Anlagen gibt es eine Übergangsfrist, sie müssen diesen Grenzwert erst ab 1.1.2019 einhalten. Die Anwendung des Grenzwertes auf die bestehenden Anlagen ergibt eine Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen für diese Anlagen von 237 t. Dies entspricht ca. 0,15 % bezogen auf den Sektor „Energiewirtschaft und Industrie“ und ca. 3,2 % bezogen auf die Branche „Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen“. Diese Minderungen müssen dem allgemeinen Trend der NO<sub>x</sub>-Emissionen zugeschrieben werden (vergl. Abschnitt 6.2.4.2).

#### **6.4.4 Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung**

Eine weitere Branche, die einen größeren Anteil der Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des hier behandelten Sektors ausmacht, ist die Branche „Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung“. Sie macht mit 3,9 % den fünftgrößten Einzelposten aus. In Bild 6.21 sind die prozentualen Anteile der einzelnen Anlagentypen dieser Branche aufgezeigt. Es ist zu sehen, dass die Anlagenart „Verarbeitung von Erdöl, Erdölerzeugnissen (Raffinerien)“ hier den größten Anteil ausmacht.

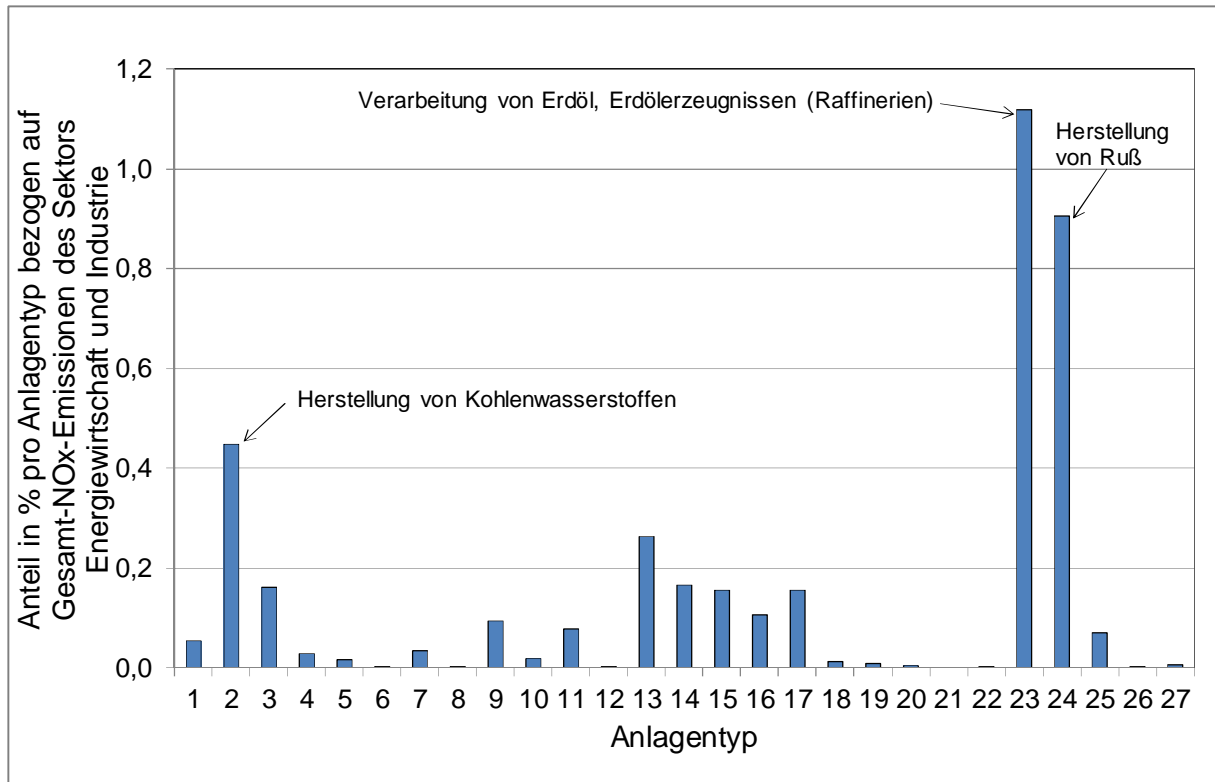


Bild 6.21: Anteil in % pro Anlagenart innerhalb der Branche „Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung“ bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012)

Die einzelnen Anlagen der Art „Verarbeitung von Erdöl, Erdölerzeugnissen (Raffinerien)“ sind in Bild 6.22 dargestellt. Der Anteil jeder einzelnen Anlage beträgt < 0,2 % bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emission des Sektors Energie und Industrie. Im Anhang in Tab. A.12 befindet sich eine Liste der betreffenden Anlagen. Lediglich zwei Anlagen verfügen über eine NO<sub>x</sub>-Abgasreinigungstechnik.

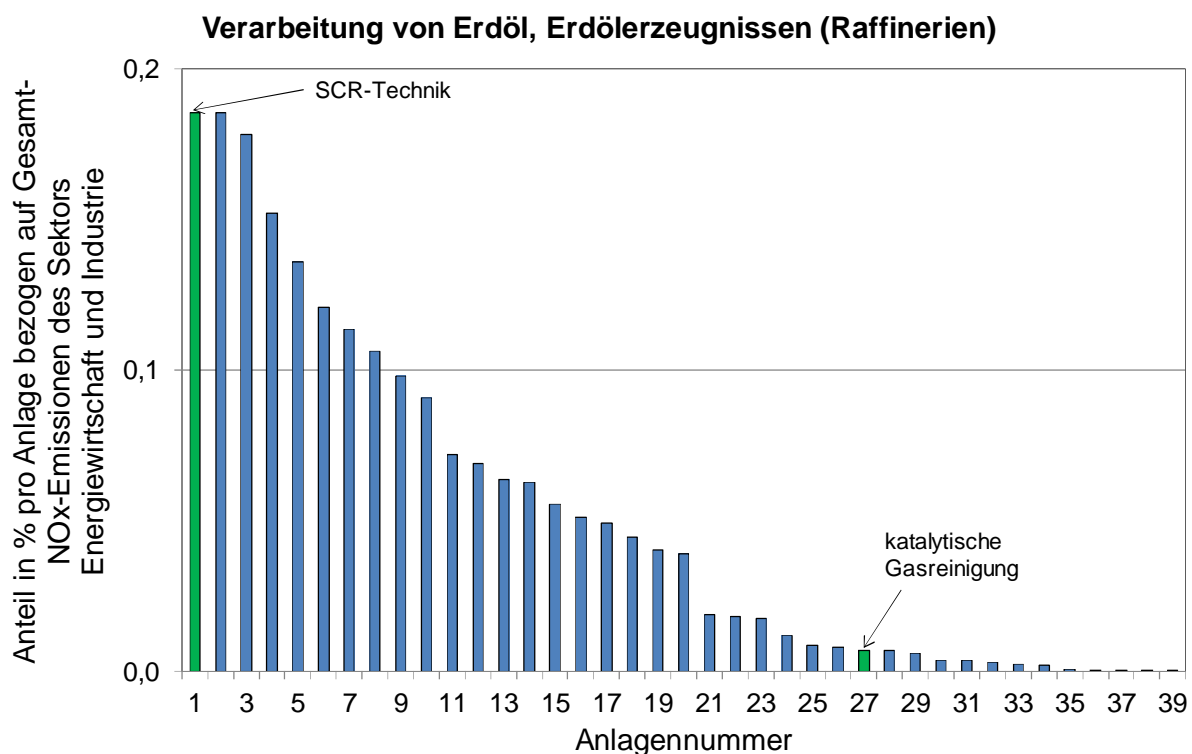


Bild 6.22: Anteil in % pro Anlage innerhalb Anlagenart „Verarbeitung von Erdöl, Erdölerzeugnissen (Raffinerien)“ bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors „Energiewirtschaft und Industrie“ (Bezugsjahr 2012)

Laut /UBA BVT-Ra 2006/ hängen die NO<sub>x</sub>-Emissionen einer Mineralölraffinerie oder Erdgasanlage stark ab von der Raffineriestruktur und der Art der eingesetzten Brennstoffe. Die Anzahl der Emissionsquellen und deren Beitrag zur Gesamtemission unterscheiden sich von Raffinerie zu Raffinerie stark. Die exakte Quantifizierung und Charakterisierung der Emissionsquellen in jedem Einzelfall ist eine der ersten in Betracht zu ziehenden Maßnahmen, um weitere Maßnahmen, beispielsweise zur NO<sub>x</sub>-Minderung, festzulegen /UBA BVT-Ra 2006/.

Bei Anlagen für katalytisches Cracken (FCC) liegen laut /UBA BVT-Ra 2006/, je nach Art der FCC-Anlage (vollständige oder partielle Verbrennung in Verbindung mit einem CO-Boiler) und Einsatzgut, die NO<sub>x</sub>-Konzentrationen am Eintritt des SCR-Katalysators zwischen 200 - 2000 mg/m<sup>3</sup><sub>i.N.</sub> (bezogen auf 3 % O<sub>2</sub>). In Abhängigkeit der Eintrittskonzentrationen sind NO<sub>x</sub>-Minderungsgrade von 85 - 90 % erreichbar.

Die Anlagen in Bild 6.22 unterliegen der TA Luft. Der Grenzwert für NO<sub>x</sub> ist auf 400 mg/m<sup>3</sup> begrenzt. Unter der Annahme, dass durch die Installation der SCR-Technik bei allen Anlagen in Bild 6.22 eine NO<sub>x</sub>-Reduktion von 90 % erzielt werden kann, ergibt sich ein Minderungspotenzial von 2.661 t. Dies entspricht ca. 1,9 % bezogen auf den Sektor „Energiewirtschaft und Industrie“ und ca. 41,6 % bezogen auf die Branche „Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung“.

### 6.4.5 Strategien: Prüfen von Primärmaßnahmen und Anwendung von Sekundärmaßnahmen bei Industrieanlagen

Aus Tab. 6.4 geht zusammenfassend hervor, bei welchen Anlagenarten (Anteil > 1 % an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energie und Industrie) aus dem Teilsektor Industrie vordergründig anzusetzen ist, um NO<sub>x</sub> zu mindern. Besonders hervorzuheben ist, dass bei der Anlagenart „Rösten, Schmelzen, und Sintern von Erzen“ lediglich eine Anlage (siehe Anhang Tab. A.9 Anlage Nr.1) für den relativ gesehen hohen Anteil der Branche Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung verantwortlich ist. Bei dieser Anlage ist das NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial am größten.

Tab. 6.4: Übersicht der relevanten Anlagenarten, Anzahl der Anlagen und Anteil in % an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen, bezogen auf den Sektor „Energiewirtschaft und Industrie“ für das Jahr 2012

Branche	Anlagenart	Anzahl N der vorhandenen Anlagen	Anteil in % an den Gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen im Sektor Energie/Industrie
Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung	Rösten, Schmelzen und Sintern von Erzen	3	4,6 %
Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe	Herstellung von Glas od. Glasfasern Schmelzleistung >=20 t/d	13	1,9 %
	Brennen von Kalkstein >=50 t/d	11	1,2 %
Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung	Verarbeitung von Erdöl, Erdölerzeugnissen (Raffinerien)	39	1,1 %
	<b>Summe:</b>	<b>66</b>	<b>8,8 %</b>

Festzuhalten ist, dass zu einer genaueren Bewertung der in Tab. 6.4 aufgeführten Anlagen die Produktivitätsleistung der einzelnen Anlagen bekannt sein müsste. Nur so könnten Anlagen mit relativ niedriger Produktivität und relativ hohen NO<sub>x</sub>-Emissionen identifiziert werden. Zu berücksichtigen ist aber auch die Tatsache, dass das Minderungspotenzial im Teilsektor Industrie im Vergleich zum Minderungspotenzial im Teilsektor Energiewirtschaft als gering anzusehen ist. Betrachtet man allein die Anzahl der Anlagenarten und der

einzelnen Anlagen, lässt sich daraus schließen, dass eine NO<sub>x</sub>-Minderung in diesem Teilsektor nur durch die Zusammenarbeit sehr vieler Beteiligter erreicht werden kann und zudem nur zu einer mit dem Teilsektor Energie vergleichsweise niedrigen NO<sub>x</sub>-Reduzierung bezogen auf die Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen führt. Bei allen Anlagen (insgesamt 66) in Tab. 6.4 müsste geprüft werden, inwieweit Primärmaßnahmen ausgeschöpft werden und inwieweit die nachträgliche Installation der SCR/SNCR-Technik sinnvoll ist.

#### **6.4.6 Minderungspotenzial: Anwendung von Sekundärmaßnahmen bei Industrieanlagen**

Im Rahmen dieses Gutachtens ist es nicht möglich bei allen Industrieanlagen zu prüfen, inwieweit die Primärmaßnahmen ausgeschöpft werden. Auch kann nicht für alle einzelnen Anlagenarten ermittelt werden, inwieweit eine SCR/SNCR- Technik bereits installiert ist. Daher wurde beispielhaft für die Anlagenarten

- Rösten, Schmelzen und Sintern von Erzen
- Verarbeitung von Erdöl, Erdölerzeugnissen (Raffinerien)

ein Minderungspotenzial von 9.347 t abgeschätzt, welches sich durch die Installation der SCR/SNCR-Technik bei allen Anlagen ergibt. Bei dieser Abschätzung ist berücksichtigt, dass ein Teil der Anlagen bereits über eine entsprechende Technik verfügen (s. Bild 6.20). In Bild 6.23 ist der Steckbrief für die Strategie 2.2 „Sekundärmaßnahmen bei Industrieanlagen“ aufgeführt. Aus den Daten vom MKULNV /MKULNV-GFA 2015/ geht hervor, dass bisher bei einem Großteil der betrachteten Anlagenarten die SCR/SNCR-Technik nicht installiert ist.



<b>IE 2.1 Strategie: Sekundärmaßnahmen bei Industrieanlagen</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Anlagenbetreiber der Anlagenarten Rösten, Schmelzen und Sintern von Erzen, Thermische Abfallentsorgung für feste, flüssige, in Behältern gefasste gasförmige, gefährliche Abfälle oder Deponiegase, Verarbeitung von Erdöl, Erdölzeugnissen (Raffinerien)		Industrieanlagen der Branchen Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen, Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe, Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Reduzierung der NO <sub>x</sub> -Konzentration durch Verwendung der SCR/SNCR-Technik in Industrieanlagen.			
<b>Wirkungsweise</b>			
<b>NO<sub>x</sub> -Emissionsminderung:</b> Emissionsminderung durch Anwendung der SCR/SNCR-Technik bei Industrieanlagen			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen</b>			
Umsetzungszeitraum	2012 (Basisfall)	2015 (aktualisierte Daten)	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	162.912	157.152	140.729
Minderung ggü. Trend [t]			9.347
Minderung ggü. Trend (Anteil)			7%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	NO <sub>x</sub> -Vermeidungskosten: Hohe Investitionskosten und Betriebskosten. Die Wirtschaftlichkeit ist besonders bei bestehenden Anlagen fraglich		
Wirkung auf PM10:	tendenziell positiv		
Wirkung auf Klima:	tendenziell positiv		
Wirkung auf Lärm	keine		
Wirkung auf Energieverfügbarkeit	tendenziell negativ		
Technologische Aspekte:	Anlagentechnik ist am Markt verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	Anpassung TA-Luft		
Ökonomische Aspekte:			
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	keine		
<b>Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse</b>	Große Anzahl der Anlagenarten und der einzelnen Anlagen (insgesamt 121), lässt sich daraus schließen, dass eine NO <sub>x</sub> -Minderung in diesem Teilssektor nur durch die Zusammenarbeit sehr vieler Beteiligten erreicht werden kann.		

*Bild 6.23: Steckbrief für die Strategie „Anwendung von Sekundärmaßnahmen in Industrieanlagen“*

## 6.5 Zusammenfassung

Der Sektor Energiewirtschaft und Industrie besitzt einen relativ hohen Anteil von 53 % an den gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen, die im Land Nordrhein-Westfalen freigesetzt werden. Über Emissionserklärungen sind insgesamt 6.648 einzelne NO<sub>x</sub>-Quellen erfasst, die wiederum 2.449 Anlagen zuzuordnen sind. Die Anlagen lassen sich in 128 Anlagentypen zusammenfassen und diese wiederum lassen sich 10 Branchen zuordnen. Die Branche mit dem mit Abstand größten Anteil an NO<sub>x</sub>-Emissionen (2.772 Quellen, 894 Anlagen, 17 Anlagenarten) ist die Branche „Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie“, welche 75 % der gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie freisetzt. Somit ist diese Branche für die Freisetzung von 40 % der gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen des Bundeslandes Nordrhein-Westfalens zuständig. Dominiert wird diese Branche von 11 Großkraftwerken, welche für 49 % der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft / Industrie verantwortlich sind, dies entspricht wiederum 26 % der gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen von Nordrhein-Westfalen.

NO<sub>x</sub> entsteht hauptsächlich bei Verbrennungsprozessen einerseits aus der Oxidation von im Brennstoff enthaltenen Stickstoffverbindungen, andererseits aber auch bei überstöchiometrischen Verbrennungsbedingungen und entsprechend hohen Temperaturen aus dem Luftstickstoff und dem Luftsauerstoff.

NO<sub>x</sub> lässt sich einerseits durch sogenannte Primärmaßnahmen reduzieren, indem die Verbrennungsbedingungen so gewählt werden, dass NO<sub>x</sub> nur in geringem Maße gebildet wird. Die Primärmaßnahmen können aber zu anderen unerwünschten Emissionen führen. Andererseits kommen bei großen Feuerungsanlagen zwei Verfahren zur Minderung von NO<sub>x</sub> zum Einsatz. Dies sind das SNCR- und das SCR-Verfahren. SNCR: Selektive nichtkatalytische Reduktion. Es kommt ein Reduktionsmittel zum Einsatz (Ammoniak oder Harnstoff), das das entstandene NO<sub>x</sub> zu Stickstoff reduziert. Bei SCR-Verfahren kommt zusätzlich zum Reduktionsmittel ein Katalysator zum Einsatz. Das SCR-Verfahren ist effektiver, größere NO<sub>x</sub>-Minderungen können erzielt werden, es ist durch den Einsatz und die Wartung der Katalysatoren aber auch mit höheren Kosten verbunden.

Zusätzlich wurde im Gutachten eine Trendentwicklung berücksichtigt. Einerseits wurden Grenzwertverschärfungen bei Anlagen die der 13. und 17. BImSchV unterliegen berücksichtigt. Bestandsanlagen müssen die neuen Grenzwerte bis spätestens 01.01.2019 einhalten. Andererseits wurde beim fossil befeuerten Kraftwerkspark berücksichtigt, dass unter Einbeziehung eines Szenarios das im Netzentwicklungsplan /NEP 2015a/ beschrieben ist, sowohl ältere Kraftwerke in den kommenden Jahren stillgelegt werden sollen, als auch neue Kraftwerke ans Netz gehen sollen. Die Zusammenfassung der einzelnen, den Trend hervorrufenden Ursachen wirkt sich in einer Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft / Industrie von 162.912 t/a im Basisjahr 2012 auf 140.729 t/a im Jahr 2025 aus. Dies entspricht einer Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft / Industrie von 16% und bezogen auf die gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen von Nordrhein-Westfalen von 8,4 %.

NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale wurden sowohl für die Energiewirtschaft als auch für die Industrie identifiziert. Das Minderungspotenzial durch Anwendung der Strategie *Optimierung der Primärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken* ergibt ein NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial von 8.072 t/a, was einer Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen (bezogen auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie) um 6 % entspricht. Eine weitere Strategie, die *Kombination von Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken*, ergibt ein NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial von 19.638 t/a, das einer NO<sub>x</sub>-Minderung von 14 % entspricht (bezogen auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie). Eine weitere Strategie in diesem Sektor wurde in der Energiewende identifiziert. Beruhend auf den Zahlen der Bundesnetzagentur /BNA 2015/ und des Netzentwicklungsplans /NEP 2015a/ wurde angenommen, dass geplante Kraftwerke nun doch nicht ans Netz gehen, aufgrund des stärkeren Ausbaus von erneuerbaren Energien. Diese Strategie führt zu einer weiteren Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen von 7.135 t/a. Dies entspricht einer NO<sub>x</sub>-Minderung von 5 % (bezogen auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie).

In unterschiedlichen Branchen wurden Anlagen identifiziert, die bisher weder mit SNCR- noch mit SCR-Technik ausgerüstet sind. Eine Anwendung dieser Technik auf die Hauptemittenten ergab ein weiteres NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial von 9.347 t/a. Dies entspricht einer NO<sub>x</sub>-Minderung von 7 % (bezogen auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie).

## 7 Potenzialanalyse Kleinfeuerungsanlagen

Der Beitrag von Feuerungsanlagen der Quellengruppe Haushalte und Gewerbe, Handel und Dienstleistungen (GHD) an den NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW ist vergleichsweise gering und beträgt rund 6,3 % bzw. 19.460 t, bei einer Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emission der dargestellten Quellengruppen von 308.313 t im Jahr 2012, siehe Bild 7.1 /Hoffmann 2014/. Allerdings liegt die Quellhöhe dieser Feuerungsanlagen in Bodennähe (meist in Höhen von ca. 8 bis 20 m), die Quelledichte ist in den Siedlungsgebieten aufgrund der dichten Bebauung z.T. relativ hoch und die Freisetzung konzentriert sich im Wesentlichen auf die Heizperiode und damit auf einen Zeitraum, in dem ungünstige Ausbreitungsbedingungen häufiger auftreten. Dies führt einerseits zu lokal höheren Anteilen an den NO<sub>2</sub>-Immissionskonzentrationen aus dieser Quellengruppe und andererseits wird ein Beitrag zur Erhöhung der (städtischen) Hintergrundkonzentration geliefert.

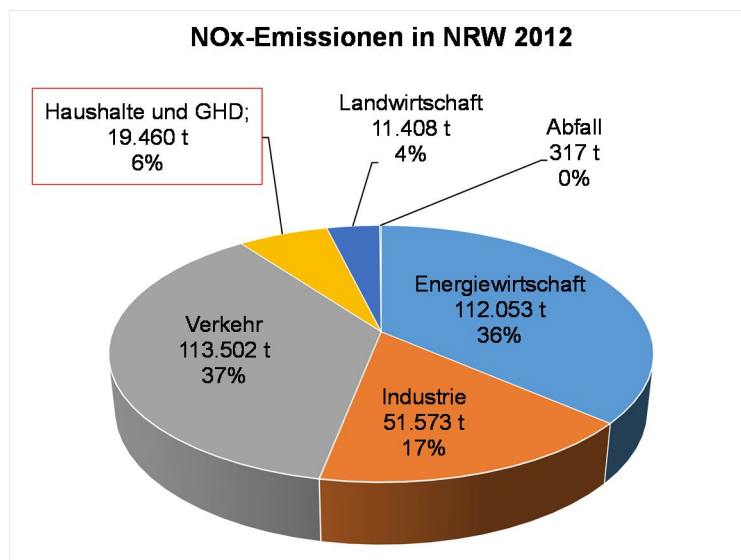


Bild 7.1: NO<sub>x</sub>-Emissionen in Nordrhein-Westfalen im Jahr 2012 für unterschiedliche Quellengruppen nach /Hoffmann 2014/

Vor allem aufgrund der lokalen Bedeutung dieser beiden bodennahen Quellengruppen Haushalte und GHD wurden mögliche NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale identifiziert und bewertet. Grundlage hierfür sind Bestandsdaten (Schornsteinfegerdaten) von Heizungsanlagen in Düsseldorf für das Jahr 2013, die in unterschiedlichem Detaillierungsgrad nach Art des Brennstoffes, Nennwärmeleistung der Anlage und Baujahr vom Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (MKULNV) für die Bearbeitung des Projektes zur Verfügung gestellt wurden. Entsprechend der vorliegenden Datengrundlage betreffen die Aussagen dieser Betrachtung nur Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV (Kurzbezeichnung: Kleinfeuerungsanlagen) in den Verbrauchergruppen Haushalte und GHD, wobei allerdings mangels Daten-

grundlage keine Unterscheidung dieser beiden Gruppen erfolgt. Für alle betrachteten Anlagen wird angenommen, dass diese in Haushalten installiert sind.

Ausgehend von den Bestandszahlen für das Bezugsjahr 2013 (Basisfall) in Düsseldorf wird untersucht, inwieweit durch bestimmte Strategien, z.B. eine Modernisierung der Anlagen (Austausch von z.B. alten Gasfeuerungen durch neue Geräte) und einem Wechsel des Brennstoffes (z.B. Heizöl EL wird durch Erdgas und Stückholz durch Holzpellets ersetzt), NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale erschlossen werden können. Der Austausch von Alt- in Neugeräte wird als Strategie 1 bezeichnet, der Brennstoffwechsel als Strategie 2.

Moderne Heizgeräte sind häufig mit Steuerungssystemen ausgestattet, die es ermöglichen, den Nutzungsgrad der Anlagen zu erhöhen und die Heizzeiten zu verringern. Auch verbesserte Wärmedämmung nach Gebäudesanierungen kann zu kürzeren Heizzeiten führen. Dies passiert jedoch nicht automatisch, die Bewohner müssen aktiv ihr Heizverhalten ändern und diese Möglichkeiten auch nutzen. Ergänzend zu Strategie 2 wird daher betrachtet, wie sich ein verbessertes Nutzerverhalten auf eine mögliche NO<sub>x</sub>-Minderung auswirkt. Dies wird als Strategie 3 untersucht. Die Wirkung aller drei Strategien wird jeweils in Bezug auf den Basisfall 2013 betrachtet.

Die Stickstoffoxidbildung in Kleinf Feuerungsanlagen verläuft im Wesentlichen über thermisch gebildetes NO und Brennstoff-NO und ist vor allem von der Anlagentechnik und der Brennstoffzusammensetzung abhängig. Überwiegend bildet sich Stickstoffmonoxid (meist > 95 %), ein geringen Anteil der Stickstoffoxidemissionen besteht aus NO<sub>2</sub>. Bei Gasfeuerungen im betrachteten Einsatzbereich entsteht Stickstoffmonoxid weitaus überwiegend durch die thermische NO-Bildung, die vor allem von den Verbrennungstemperaturen und dem Sauerstoffangebot abhängig ist. Durch eine Reduzierung der Verbrennungstemperaturen und der Sauerstoffkonzentration in der Flamme (z.B. durch Flammenkühlung oder durch eine Vormischung von Brennstoff und Verbrennungsluft) lassen sich die Stickstoffoxidemissionen von Gasgeräten deutlich reduzieren. Marktübliche Gasgeräte wurden ab ca. 1990 mit entsprechenden Techniken ausgerüstet.

Bei Ölfeuerungen (Heizöl EL) erfolgt die NO-Bildung sowohl über den thermischen Pfad als auch über den Brennstoffstickstoff, weshalb hier primäre Minderungsmaßnahmen schwieriger umzusetzen sind, da diese vor allem die thermische Stickstoffoxidbildung beeinflussen. Auch im Bereich der kleinen Ölfeuerungen wurden ab ca. 1990 Neuentwicklungen mit reduzierten NO<sub>x</sub>-Emissionen (z.B. Vormischbrenner, auch als Blaubrenner bezeichnet) angeboten. Durch die weitgehende Entschwefelung des Heizöl EL wird auch der Brennstoffstickstoffgehalt reduziert. Insgesamt ist allerdings davon auszugehen, dass Ölfeuerungen höhere NO<sub>x</sub>-Emissionen aufweisen als Gasgeräte.

Bei festen Brennstoffen spielt die thermische NO-Bildung in den betrachteten Feuerungsanlagen aufgrund der vergleichsweise geringen Verbrennungstemperaturen nur eine untergeordnete Rolle. Weitaus überwiegend erfolgt die NO-Bildung über den im Brennstoff vorhandenen Stickstoff. Das Niveau der NO<sub>x</sub>-Emissionen ist somit vor allem vom Stickstoff-

gehalt im Brennstoff abhängig. Allerdings beeinflussen auch die Anlagentechnik und die konkreten Betriebsbedingungen die NO<sub>x</sub>-Bildung.

Die Vorgehensweise bei der Berechnung der Emissionen im Basisfall und bei den Strategien 1 bis 3 orientiert sich hierbei an abgeschlossenen Projekten des IFK zur Ermittlung von Emissionsfaktoren für Deutschland, wobei spezifische Emissionsfaktoren für die jeweiligen Gerätetechniken, Leistungsklassen und Baualterstufen verwendet werden. Die Vorgehensweise ist ausführlich im Anhang beschrieben, dort sind auch die Tabellenwerte im Einzelnen aufgeführt. Im Folgenden werden die zusammengefassten Ergebnisse der Berechnungen vorgestellt und die vorgeschlagenen Strategien diskutiert.

## **7.1 Ermittlung des Anlagenbestandes**

### **7.1.1 Bezugsjahr 2013 (Basisfall)**

Die für das Projekt vom MKULNV /MKULNV 2015/ zur Verfügung gestellten Anlagendaten für Düsseldorf sind in der vorliegenden Struktur in Tab. 7.1 aufgeführt.

Die Anlagendaten entsprechen nicht genau der zur Berechnung des Emissionsaufkommens benötigten Struktur. Deshalb wurde auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Daten und mit Anlagen- und Berechnungsstrukturen aus abgeschlossenen Vorhaben zur Ermittlung von Emissionsfaktoren und vom Emissionsaufkommen in Deutschland eine entsprechend differenzierte Anlagenstruktur für Düsseldorf berechnet für:

- Heizöl EL (schwefelarme Qualität), unterschieden nach Ölöfen mit Verdampfungsbrennern, Heizkessel mit Ölgebläsebrennern und Ölbrennwertgeräte
- Brenngase (Erdgase und Flüssiggas) unterschieden nach Raumheizer, Heizkessel mit Gasbrennern (ohne/mit Gebläse), Brennwertgeräte, Durchlaufwasserheizer, Kombiwasserheizer und Vorratswasserheizer
- Feste Brennstoffe (Kohlen- und Holzbrennstoffe) unterschieden nach Dauerbrandöfen, Kachelöfen, Kamine, Kaminöfen, Pelletöfen, Heizkessel (handbeschickt für Stückholz und mechanisch beschickt für Holzpellets und Hackschnittel), Badeöfen und Herde.

Die zugrunde gelegten Strukturen des Anlagenbestandes für Deutschland werden aufgrund der großen Anlagenzahl stark vom Anlagenbestand in Nordrhein-Westfalen geprägt, allerdings wirken sich in der deutschlandweiten Anlagenstruktur bei Öl- und Gasfeuerungen auch die vergleichsweise jüngeren Bestandstrukturen der ostdeutschen Bundesländer aus. Hier wurden Öl- und Gasfeuerungen für die Gebäudeheizung und die Warmwassererzeugung in wesentlichen Umfang erst ab ca. 1990 eingesetzt.

Tab. 7.1: Daten der installierten Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf im Jahr 2013 /MKULNV 2015/

Brennstoff / Anlagenart / Baujahre			Nennwärmeleistung	Düsseldorf	
				Anzahl	Anteil in %
Gas	Zentralheizungen	Baujahr bis Dezember 1997	1 - 25 kW	34.436	25
			> 25 - 50 kW	4.209	3,0
			> 50 - 100 kW	2.741	2,0
			> 100 kW	2.007	1,4
			<b>insgesamt</b>	<b>43.393</b>	<b>31</b>
		Baujahr ab Januar 1998	1 - 25 kW	39.503	28
			> 25 - 50 kW	2.988	2,1
			> 50 - 100 kW	1.840	1,3
			> 100 kW	1.563	1,1
			<b>insgesamt</b>	<b>45.894</b>	<b>33</b>
	Gas-Brennwertheizungen			15.242	11
	<b>Summe Zentralheizungen</b>			<b>104.529</b>	<b>75</b>
	Einzelfeuerstätten	bis 50 kW	Raumheizer	3.677	2,6
			Vorratwasserspeicher	1.659	1,2
			Durchlaufwasserheizer	12.444	8,9
<b>insgesamt</b>			<b>17.780</b>	<b>13</b>	
größer 50 kW		Vorratwasserspeicher u. Durchlaufwasserh.	32	0,02	
		<b>insgesamt</b>	<b>32</b>	<b>0,02</b>	
<b>Summe Einzelfeuerstätten</b>			<b>17.812</b>	<b>13</b>	
<b>Summe Gas</b>			<b>122.341</b>	<b>88</b>	
Öl	Zentralheizungen	Baujahr bis Dezember 1997	11 - 25 kW	1.042	0,75
			> 25 - 50 kW	1.700	1,2
			> 50 - 100 kW	1.045	0,75
			> 100 kW	992	0,71
			<b>insgesamt</b>	<b>4.779</b>	<b>3,4</b>
		Baujahr ab Januar 1998	11 - 25 kW	993	0,71
			> 25 - 50 kW	1.093	0,78
			> 50 - 100 kW	633	0,45
			> 100 kW	672	0,48
			<b>insgesamt</b>	<b>3.391</b>	<b>2,4</b>
	Öl-Brennwertheizungen			228	0,16
<b>Summe Zentralheizungen</b>			<b>8.398</b>	<b>6,0</b>	
Feste Brennstoffe	Zentralheizungen *	1 - 15 kW	24	0,02	
		> 15 - 50 kW	63	0,05	
		> 50 kW	31	0,02	
		<b>insgesamt</b>	<b>118</b>	<b>0,08</b>	
	Einzelfeuerstätten **	4 - 10 kW	8.845	6,3	
<b>Summe Feste Brennstoffe</b>			<b>8.963</b>	<b>6,4</b>	
<b>Summe Feuerungsanlagen 1. BImSchV</b>			<b>139.702</b>	<b>100</b>	

\* feste Brennstoffe (Kohle, Koks, Scheitholz, Pellet)

\*\* Zimmeröfen, Kaminöfen, offene Kamine für feste Brennstoffe

In Tab. 7.2 ist die neu berechnete Struktur der in Düsseldorf installierten Feuerungsanlagen für den Basisfall (Bezugsjahr 2013) und die Anteile der jeweiligen Baualterstufen aufgeführt. Bei Bauarten mit unterschiedlichen Leistungsklassen (z.B. Heizkessel mit Ölgebläse-brennern) sind die über die Leistungsklassen gemittelten Anteile aufgeführt.

In den zur Verfügung gestellten Schornsteinfegerdaten /MKULNV 2015/ waren keine Angaben zur Anzahl der installierten Ölöfen mit Verdampferbrennern enthalten. Da es nicht plausibel ist, dass in Düsseldorf diese Bauart nicht installiert ist, wurde anhand des Anteils von Ölverdampferbrennern am Gesamtbestand entsprechend dem Verhältnis in /Struschka et al. 2012/ eine Anlagenanzahl abgeschätzt. Somit erhöht sich die Gesamtzahl der installierten Anlagen auf 141.103 Stück gegenüber den 139.702 Stück aus den Schornsteinfegerdaten.

Bei den Gasfeuerungen lag für Zentralheizungen in den Schornsteinfegerdaten /MKULNV 2015/ keine Aufteilung nach Gasbrennern mit bzw. ohne Gebläse vor. Bei den Einzelfeuerstätten wurde in den Schornsteinfegerdaten nicht nach Kombi- und Durchlaufwasserheizern unterschieden, angegeben waren hier nur Durchlaufwasserheizer bzw. für Anlagen > 50 kW ein Summenwert für Vorrats- und Durchlaufwasserheizer. Die Aufteilung der Schornsteinfegerdaten in die neu berechnete Bestandsstruktur erfolgte anhand der entsprechenden prozentualen Anteile der Feuerungsanlagen in /Struschka et al. 2012/.

Bei Anlagen für feste Brennstoffe erfolgte bei den Schornsteinfegerdaten lediglich eine Unterscheidung zwischen Zentralheizungen und Einzelfeuerstätten, die Anteile einzelner Bauarten wurden nicht aufgeführt. Eine Aufteilung auf die einzelnen Bauarten der Feuerungen für feste Brennstoffe erfolgte entsprechend den Anteilen dieser am Gesamtbestand der Anlagen für feste Brennstoffe nach /Struschka et al. 2012/.



Tab. 7.2: Berechnete Struktur der Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf im Jahr 2013 für den Basisfall

Bestand an Feuerstätten nach 1. BImSchV in Düsseldorf in Stück		Basisfall 2013	hiervon (mittlere) Anteile in % der Baualterstufen		
			bis 1988/89	1990 - 1997	1998 - 2013
Heizöl EL	Ölöfen mit Verdampfungsbrennern	1.401	20	66	14
	Heizkessel mit Ölgebläsebrenner	8.170	33	26	42
	Ölbrennwertgeräte	228	-	0	100
	<b>Summe</b>	<b>9.799</b>	<b>30</b>	<b>31</b>	<b>39</b>
Brenngase	Gasbrenner mit Gebläse (Heizkessel)	9.084	20	29	51
	Gasbrenner ohne Gebläse (Heizkessel)	80.203	17	32	51
	Kombiwasserheizer	9.126	10	85	5
	Durchlaufwasserheizer	3.318	3	91	5
	Vorratswasserheizer	1.691	93	6	1
	Raumheizer	3.677	13	74	12
	Brennwertgeräte	15.242	0	0	100
	<b>Summe</b>	<b>122.341</b>	<b>15</b>	<b>34</b>	<b>51</b>
<i>Baualterstufen Anlagen für feste Brennstoffe</i>			<i>hiervon (mittlere) Anteile in % der Baualterstufen</i>		
			<i>bis 1994</i>	<i>1995 - 2010</i>	<i>2010 - 2013</i>
Festbrennstoffe (Kohlen- und Holzbrennstoffe)	Heizkessel - handbeschickt	100	17	69	14
	Heizkessel für Pellets	16	0	63	38
	Heizkessel - mechanisch beschickt	2	50	50	0
	Dauerbrandöfen	934	59	34	7
	Kachelöfen (mit Heizeinsatz oder als Grundofen)	2.397	56	36	8
	Kaminöfen	2.711	7	62	31
	Pelletöfen	31	0	35	65
	Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)	2.028	59	33	8
	Badeöfen	56	43	46	11
	Herde (und Heizungsherde)	688	62	30	8
<b>Summe</b>	<b>8.963</b>	<b>42</b>	<b>43</b>	<b>15</b>	
<b>Gesamtbestand der Feuerstätten</b>		<b>141.103</b>	<b>18</b>	<b>34</b>	<b>48</b>

### 7.1.2 Anlagenbestand für die Strategien

Um im Bereich der Kleinf Feuerungsanlagen mögliche NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale zu identifizieren und zu bewerten, werden folgende drei Strategien untersucht:

**Strategie 1:** Modernisierung der Anlagen

**Strategie 2:** Brennstoffwechsel

**Strategie 3:** Verbessertes Nutzerverhalten in Verbindung mit Strategie 2.

Aufgrund der langen Vorlaufzeiten durch ggf. notwendige Änderungen der rechtlichen Rahmenbedingungen, der Verabschiedung von Fördermaßnahmen und von vergleichsweise langen Übergangsregelungen ist nicht zu erwarten, dass Strategien im Bereich der Kleinfeuerungsanlagen vor dem Jahr 2025 voll zur Geltung kommen.

Bei der **Strategie 1** soll betrachtet werden, welchen Einfluss der Austausch von Altanlagen auf das Emissionsaufkommen hat. Hierbei wurde für Ölfeuerungen angenommen, dass die Baualtersstufe „bis 1988/89“ vollständig ersetzt wird. Die hierin enthaltenen Anlagen wurden der Baualtersstufe „1990 - 1997“ zugerechnet. Ein Ersatz dieser Anlagen durch die Baualtersstufe „1998 - 2013“ wurde aufgrund der Datenlage nicht durchgeführt. Durch die direkte Kopplung von Emissionsdaten an die Gerätebauart, den anteiligen Endenergieverbrauch, die Altersstufe und die Lastfälle führen Lücken bei den Emissionswerten in einer Baualtersstufe dazu, dass bei komplett fehlenden Emissionswerten kein Emissionsaufkommen berechnet bzw. der Emissionsfaktor unter Berücksichtigung der Altersstruktur ohne diese Baualtersstufe für die keine Emissionswerte vorliegen gebildet wird. Hierdurch ist zu vermuten, dass das NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial etwas unterschätzt wird, da moderne Ölfeuerungen vermutlich auch in der Praxis geringere NO<sub>x</sub>-Emissionen aufweisen als die Baualtersstufe „1990 - 1997“. Dies kann aufgrund fehlender Emissionsdaten zahlenmäßig nicht belegt werden.

Bei Gasfeuerungen wurde angenommen, dass nur noch Geräte in der Baualtersstufe „1998 - 2013“ vorhanden sind.

Bei Feuerungen für feste Brennstoffe wurde analog zu Ölfeuerungen verfahren, auch hier konnten die Altanlagen in der Baualtersstufe „bis 1994“ aufgrund der Datenlage nicht der jüngsten Baualtersstufe „2010 - 2013“ zugerechnet werden, sondern wurden in die Baualtersstufe „1995 - 2010“ integriert.

Da bei allen Bauarten ein Ersatz der Anlagen in derselben Kategorie erfolgte, ändert sich bei Umsetzung der Strategie 1 weder die Anlagenzahl noch der berechnete Endenergieverbrauch im Vergleich zum Basisfall.

Bei der **Strategie 2** soll betrachtet werden, welchen Einfluss ein Brennstoffwechsel auf das Emissionsaufkommen hat. Hierbei wird angenommen, dass Ölfeuerungen vollständig durch Gasfeuerungen ersetzt werden. Außerdem wird angenommen, dass es nur noch Gasfeuerungen der Baualtersstufe „1998 - 2013“ gibt, d.h. alle Gasanlagen modernisiert sind.

Bei den festen Brennstoffen wird angenommen, dass nur noch Pelletfeuerungen in den Baualtersstufen „1995 - 2010“ und „2010 - 2013“ in Betrieb sind. Hierbei wurden Stückholz- und Hackschnitzelkessel durch Pelletkessel und Einzelfeuerstätten für Stückholz durch Pelletöfen ersetzt. Bei Kohlekesseln und Einzelfeuerstätten für Kohle wurde analog verfahren, d.h. diese wurden ebenfalls durch Pelletkessel bzw. Pelletöfen ersetzt.

Die Umsetzung der Strategie 2 erfolgte derart, dass der berechnete Endenergieverbrauch im Vergleich zum Basisfall unverändert bleibt. Da die unterschiedlichen Bauarten auch unterschiedliche mittlere Nennwärmeleistungen und Vollbenutzungsstunden aufweisen, ergibt sich ein anderer Anlagenbestand.

Bei der **Strategie 3** soll betrachtet werden, wie sich ein verbessertes Nutzerverhalten (Ausnutzung der Steuerungsmöglichkeiten moderner Feuerungsanlagen und höhere Wärmedämmung) auf das Emissionsaufkommen auswirkt. Gegenüber Strategie 2 bleibt der Anlagenbestand hierbei unverändert. Es wurde angenommen, dass, ausgehend von Strategie 2, die jeweiligen Vollbenutzungsstunden der verschiedenen Gerätebauarten um 10 % abnehmen, wodurch sich auch der Endenergieverbrauch proportional reduziert. Neuere Untersuchungen im Gebäudebestand geben Hinweise darauf, dass Einsparpotenziale von Effizienzsteigerungen (durch z.B. neue Anlagentechniken oder einen verbesserten Wärmestandard) nicht oder nur teilweise in der Praxis verwirklicht werden /BINE 2015/, weshalb hier die Effizienzsteigerung als separate Strategie aufgeführt wird. Zur Umsetzung des technischen Potenzials in eine effektive Verbrauchsminderung sind ggf. unterstützende Maßnahmen notwendig.

In Tab. 7.3 sind die berechneten Strukturen der Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf für die Strategie 1 und in Tab. 7.4 für die Strategie 2 bzw. 3 dargestellt.

Tab. 7.3: Struktur der Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf für die Strategie 1

Bestand an Feuerstätten nach 1. BImSchV in Düsseldorf in Stück		Strategie 1	hiervon (mittlere) Anteile in % der Baualterstufen bis 1988/89		
			1990 - 1997	1998 - 2013	
Heizöl EL	Ölöfen mit Verdampfungsbrennern	1.401	0	86	14
	Heizkessel mit Ölgebläsebrenner	8.170	0	58	42
	Ölbrennwertgeräte	228	-	0	100
	<b>Summe</b>	<b>9.799</b>	<b>0</b>	<b>61</b>	<b>39</b>
Brenngase	Gasbrenner mit Gebläse (Heizkessel)	9.084	0	0	100
	Gasbrenner ohne Gebläse (Heizkessel)	80.203	0	0	100
	Kombiwasserheizer	9.126	0	0	100
	Durchlaufwasserheizer	3.318	0	0	100
	Vorratswasserheizer	1.691	0	0	100
	Raumheizer	3.677	0	0	100
	Brennwertgeräte	15.242	0	0	100
	<b>Summe</b>	<b>122.341</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
<i>Baualterstufen Anlagen für feste Brennstoffe</i>			<i>hiervon (mittlere) Anteile in % der Baualterstufen bis 1994</i>		
			1995 - 2010	2010 - 2013	
Festbrennstoffe (Kohlen- und Holzbrennstoffe)	Heizkessel - handbeschickt	100	0	86	14
	Heizkessel für Pellets	16	0	63	38
	Heizkessel - mechanisch beschickt	2	0	100	0
	Dauerbrandöfen	934	0	93	7
	Kachelöfen (mit Heizeinsatz oder als Grundöfen)	2.397	0	92	8
	Kaminöfen	2.711	0	69	31
	Pelletöfen	31	0	35	65
	Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)	2.028	0	92	8
	Badeöfen	56	0	89	11
	Herde (und Heizungsherde)	688	0	92	8
	<b>Summe</b>	<b>8.963</b>	<b>0</b>	<b>85</b>	<b>15</b>
<b>Gesamtbestand der Feuerstätten</b>		<b>141.103</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>90</b>

Tab. 7.4: Struktur der Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf für die Strategie 2 und 3

Bestand an Feuerstätten nach 1. BImSchV in Düsseldorf in Stück		Strategie 2 bzw. 3	hiervon (mittlere) Anteile in % der Baualterstufen		
			bis 1988/89	1990 - 1997	1998 - 2013
Heizöl EL	Ölöfen mit Verdampfungsbrennern	0	0	0	0
	Heizkessel mit Ölgebläsebrenner	0	0	0	0
	Ölbrennwertgeräte	0	-	0	0
	<b>Summe</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Brenngase	Gasbrenner mit Gebläse (Heizkessel)	10.054	0	0	100
	Gasbrenner ohne Gebläse (Heizkessel)	85.234	0	0	100
	Kombiwasserheizer	9.126	0	0	100
	Durchlaufwasserheizer	3.318	0	0	100
	Vorratswasserheizer	1.691	0	0	100
	Raumheizer	6.012	0	0	100
	Brennwertgeräte	15.471	0	0	100
	<b>Summe</b>	<b>130.907</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>100</b>
<i>Baualterstufen Anlagen für feste Brennstoffe</i>			<i>hiervon (mittlere) Anteile in % der Baualterstufen</i>		
			<i>bis 1994</i>	<i>1995 - 2010</i>	<i>2010 - 2013</i>
Festbrennstoffe (Kohlen- und Holzbrennstoffe)	Heizkessel - handbeschickt	0	0	0	0
	Heizkessel für Pellets	171	0	85	15
	Heizkessel - mechanisch beschickt	0	0	0	0
	Dauerbrandöfen	0	0	0	0
	Kachelöfen (mit Heizeinsatz oder als Grundöfen)	0	0	0	0
	Kaminöfen	0	0	0	0
	Pelletöfen	3.970	0	87	13
	Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)	0	0	0	0
	Badeöfen	0	0	0	0
	Herde (und Heizungsherde)	0	0	0	0
	<b>Summe</b>	<b>4.141</b>	<b>0</b>	<b>87</b>	<b>13</b>
<b>Gesamtbestand der Feuerstätten</b>		<b>135.048</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>97</b>

## 7.2 Endenergieverbrauch

Die Berechnung des Endenergieverbrauchs der Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Düsseldorf erfolgte anhand des Anlagenbestandes einer Bauart, der Anzahl an Vollbenutzungsstunden und der mittleren Nennwärmeleistung. In Tab. 7.5 ist der berechnete Endenergieverbrauch für die betrachteten Brennstoffe für den Basisfall und die Strategien 1 bis 3 dargestellt. Im Basisfall und bei der Strategie 1 entfallen rund 99 % des

Endenergieverbrauchs auf Heizöl EL (ca. 15 %) und Brenngase (ca. 84 %), lediglich ca. 1 % auf feste Brennstoffe. Anlagen für feste Brennstoffe haben im Basisfall und bei Strategie 1 einen Anteil von ca. 6,4 % am Gesamtbestand der Anlagen nach 1. BImSchV. Die gerätebezogenen Energieverbräuche der Feuerungsanlagen sind im Anhang im Detail aufgeführt.

Tab. 7.5: Endenergieverbräuche für Düsseldorf für Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV - eigene Berechnungen anhand des Anlagenbestandes für das Jahr 2013 (Basisfall) und die Strategien 1 bis 3

Endenergieverbrauch in Düsseldorf für Anlagen nach 1. BImSchV	Basisfall 2013 [TJ]	Strategie 1 [TJ]	Strategie 2 [TJ]	Strategie 3 [TJ]
Heizöl	1.969	1.969		
<i>davon Heizöl EL</i>	1.969	1.969		
Brenngase	11.269	11.269	13.238	11.914
<i>davon Erdgas H und L</i>	11.269	11.269	13.238	11.914
Steinkohlen	6,0	6,0		
Steinkohlenkoks	0,4	0,4		
Steinkohlenbriketts	0,1	0,1		
Braunkohlenbriketts	17	17		
<i>davon Braunkohlenbriketts</i>	17	17		
Holzbrennstoffe	114	114	138	124
<i>davon Pellets</i>	3,3	3,3	138	124
<i>davon naturbelassenes Holz</i>	111	111		
<b>Summe</b>	<b>13.376</b>	<b>13.376</b>	<b>13.376</b>	<b>12.038</b>

### 7.3 Emissionsfaktoren und Emissionsaufkommen

In Tab. 7.6 sind für die betrachteten Feuerungsanlagen in Düsseldorf die berechneten sektoralen Emissionsfaktoren und das sektorale Emissionsaufkommen für die Abgas-komponenten NO<sub>x</sub> (Summe aus NO und NO<sub>2</sub>, angegeben als NO<sub>2</sub>) und Partikel (Gesamtstaub) zusammengefasst dargestellt. Die Grundlagen und Einzelheiten zur Berechnung sowie die gerätebezogenen Angaben sind im Anhang aufgeführt.

Bei festen Brennstoffen führen verbesserte Verbrennungsbedingungen zu höheren NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren, was sich vor allem bei Holzbrennstoffen und Braunkohlenbriketts im Vergleich von Strategie 1 zum Basisfall zeigt.

Tab. 7.6: Sektorale Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen nach 1. BImSchV in Düsseldorf im Jahr 2013 für den Basisfall und die Strategien 1 bis 3

<b>Anlagen 1. BImSchV Basisfall 2013</b>	<b>EEV TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> kg/TJ</b>	<b>Partikel kg/TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> t</b>	<b>Partikel t</b>
Heizöl (HEL)	1.969	43	0,10	85	0,20
Brenngase	11.269	21	0,03	231	0,34
Steinkohlen	6	76	18	0,46	0,11
Steinkohlenkoks	0,4	48	16	0,02	0,01
Steinkohlenbriketts	0,1	50	265	0,01	0,03
Braunkohlenbriketts	17	80	83	1,4	1,4
Holzbrennstoffe	114	64	105	7,3	12
<b>Summe / Mittelwert</b>	<b>13.376</b>	<b>24</b>	<b>1,1</b>	<b>325</b>	<b>14</b>

<b>Anlagen 1. BImSchV Strategie 1</b>	<b>EEV TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> kg/TJ</b>	<b>Partikel kg/TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> t</b>	<b>Partikel t</b>
Heizöl (HEL)	1.969	34	0,10	65	0,20
Brenngase	11.269	11	0,03	124	0,34
Steinkohlen	6	74	18	0,44	0,11
Steinkohlenkoks	0,4	48	16	0,02	0,01
Steinkohlenbriketts	0,1	50	265	0,01	0,03
Braunkohlenbriketts	17	92	114	1,6	2,0
Holzbrennstoffe	114	72	112	8,3	13
<b>Summe / Mittelwert</b>	<b>13.376</b>	<b>15</b>	<b>1,2</b>	<b>200</b>	<b>15</b>

<b>Anlagen 1. BImSchV Strategie 2</b>	<b>EEV TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> kg/TJ</b>	<b>Partikel kg/TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> t</b>	<b>Partikel t</b>
Heizöl (HEL)					
Brenngase	13.238	13	0,03	166	0,40
Steinkohlen					
Steinkohlenkoks					
Steinkohlenbriketts					
Braunkohlenbriketts					
Holzbrennstoffe	138	86	24	12	3,3
<b>Summe / Mittelwert</b>	<b>13.376</b>	<b>11</b>	<b>0,23</b>	<b>178</b>	<b>3,7</b>

<b>Anlagen 1. BImSchV Strategie 3</b>	<b>EEV TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> kg/TJ</b>	<b>Partikel kg/TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> t</b>	<b>Partikel t</b>
Heizöl (HEL)					
Brenngase	11.914	13	0,03	150	0,36
Steinkohlen					
Steinkohlenkoks					
Steinkohlenbriketts					
Braunkohlenbriketts					
Holzbrennstoffe	124	86	24	11	3,0
<b>Summe / Mittelwert</b>	<b>12.038</b>	<b>11</b>	<b>0,23</b>	<b>160</b>	<b>3,3</b>

Da sich die sektoralen Emissionsfaktoren (z.B. für Brenngase) aus den nach den Endenergieverbräuchen gewichteten gerätebezogenen Emissionsfaktoren berechnen, ergeben sich für die Strategien 2 und 3 etwas andere Emissionsfaktoren im Vergleich zur Strategie 1. Ursache ist hier der veränderte Anlagenbestand (Verteilung von Öl-, Kohle- und Stückholzfeuerungen auf Gas- und Pelletfeuerungen, wodurch sich auch die Anteile der einzelnen Gerätebauarten innerhalb des Energieträgers ändern).

Eine Verbesserung der Verbrennungsbedingungen führt auch zu niedrigeren Konzentrationen von Produkten unvollständiger Verbrennung (z.B. CO und Ruß und Teere). Abnehmende Ruß- und Teerkonzentrationen im Abgas führen zu sinkenden Gesamtstaubkonzentrationen, wenn durch die geänderte Anlageneinstellung kein starker Konzentrationsanstieg von anorganischen Stäuben im Abgas erfolgt (z.B. Austrag von Aschepartikeln bei zu hohen Geschwindigkeiten im Bereich des Brennstoffbettes). Der Anstieg des Emissionsfaktors für Partikel bei Holzbrennstoffen und Braunkohlenbriketts bei der Strategie 1 im Vergleich zum Basisfall ist allerdings nicht hierauf zurück zu führen, sondern die Ursache liegt in der veränderten Datenbasis durch den Wegfall der Altgeräte.

Dies ergibt sich durch die direkte Kopplung von Emissionsdaten an die Gerätebauart, den anteiligen Endenergieverbrauch, die Altersstufe und die Lastfälle. Grundsätzlich ergibt sich das berechnete Emissionsaufkommen u.a. auf Basis der verfügbaren Emissionsmesswerte, die auf Prüfständen unter definierten Randbedingungen oder in Felduntersuchungen unter Praxisbedingungen ermittelt werden. Liegen z.B. in einer Gerätebauart für eine betrachtete Baualterstufe, relativ viele Prüfstandsergebnisse mit vergleichsweise niedrigen Konzentrationen vor, so ergibt sich für diese Baualterstufe ein entsprechend niedriger Emissionsfaktor.

## 7.4 Zusammenfassung Potenzialanalyse

Anhand der Bestandsdaten für Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf wurde beispielhaft untersucht, inwieweit NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale für diese bodennahe Quellengruppe vorhanden sind und welche Minderungsbeiträge möglich sein könnten. Auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Schornsteinfegerdaten und auf Basis abgeschlossener Projekte des Umweltbundesamtes (UBA) zur Ermittlung des Emissionsaufkommens in Deutschland wurde für Düsseldorf der Anlagenbestand für das Basisjahr 2013 in der zur Emissionsberechnung benötigten Struktur mit hohem Differenzierungsgrad erstellt. Hierdurch ist es möglich, die Auswirkungen von Änderungen im Anlagenbestand auf die Emissionsfaktoren und das Emissionsaufkommen der Quellengruppe zu beschreiben.

In Kleinf Feuerungsanlagen in Düsseldorf werden im Wesentlichen Brenngase (rund 84 %) und Heizöl EL (rund 15 %) verfeuert. Bezogen auf den berechneten Brennstoffeinsatz insgesamt (ca. 13.376 TJ) haben feste Brennstoffe (Stein- und Braunkohlen sowie Holz) nur einen



Anteil von ca. 1 %. Vor diesem Hintergrund wurden drei Strategien untersucht um mögliche NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale zu identifizieren und zu bewerten:

- Strategie 1:** Modernisierung der Anlagen (Anlagen der ältesten Baualterstufen werden ersetzt)
- Strategie 2:** Brennstoffwechsel (Heizöl EL wird ersetzt durch Erdgas, Kohle und Stückholz werden ersetzt durch Holzpellets) (Baualterstufen der Gas- und Pelletfeuerungen wie bei Strategie 1)
- Strategie 3:** Verbessertes Nutzerverhalten: Verminderung der Vollbenutzungsstunden um 10 % bei modernen Anlagen (in Verbindung mit Strategie 2).

Aufgrund des hohen Anteils von Brenngasen (Erdgase und Flüssiggas) am Endenergieverbrauch hat dieser Energieträger einen wesentlichen Einfluss auf die Auswirkungen der betrachteten Strategien bezüglich des NO<sub>x</sub>-Emissionsaufkommens.

In Bild 7.2 sind die Auswirkungen der betrachteten Strategien 1 bis 3 bezüglich des Endenergieverbrauchs (EEV) und des Aufkommens an NO<sub>x</sub> am Beispiel für Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Düsseldorf in Bezug auf den Basisfall (2013 - entspricht 100 %) dargestellt.

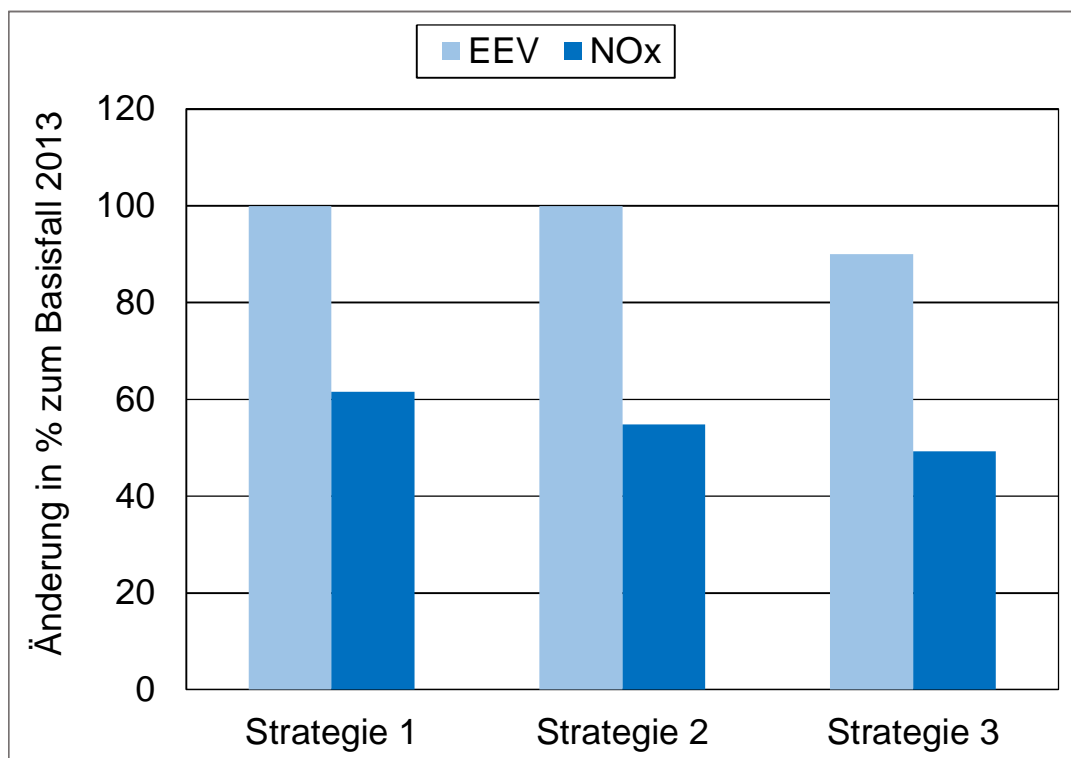


Bild 7.2: Vergleich der Strategien 1 bis 3 bezüglich des Endenergieverbrauchs (EEV) und des Aufkommens an NO<sub>x</sub> in Düsseldorf für Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Bezug auf den Basisfall für das Jahr 2013 (entspricht 100 %)

Durch eine Modernisierung der Kleinf Feuerungsanlagen (Strategie 1) würde nach diesen Berechnungen das NO<sub>x</sub>-Emissionsaufkommen um rund 40 % abnehmen. Verursacht wird dies vor allem durch die geringeren NO<sub>x</sub>-Emissionen moderner Gasgeräte. Allerdings weisen auch moderne Feuerungen für Heizöl geringere NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren auf, der Einfluss auf das Emissionsaufkommen ist aber aufgrund des niedrigeren Endenergieverbrauchs geringer als bei den Gasgeräten.

Werden die Ölfeuerungen durch Gasfeuerungen ersetzt (Strategie 2), nimmt das NO<sub>x</sub>-Emissionsaufkommen nochmals ab, da die Emissionsfaktoren für Gasfeuerungen niedriger sind als bei den Ölfeuerungen.

Bei einer Reduzierung des Endenergieverbrauchs um 10 % durch die höhere Effizienz moderner Heizanlagen (Feuerungsanlage + Regelungstechnik) und energiesparendes Nutzerverhalten in Strategie 3 gehen die Emissionen proportional zurück, mit dem Vorteil, dass auch die Brennstoffkosten entsprechend abnehmen.

## 7.5 Übertragbarkeit des NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzials auf NRW

Inwieweit die beispielhaft für Düsseldorf ermittelten Minderungspotentiale für NO<sub>x</sub> für die Strategien 1 bis 3 auf den Anlagenbestand von Nordrhein-Westfalen übertragen werden können, konnte in diesem Projekt nicht umfänglich betrachtet werden. Das erzielbare Minderungspotential hängt im Detail von der genauen Struktur des Anlagenbestandes in NRW ab, so dass davon auszugehen ist, dass sich in der Höhe und in der Verteilung etwas andere Minderungspotentiale für NRW ergeben würden. Im Vergleich zu Anlagendaten von 14 weiteren Städten in NRW /MKULNV 2015/ wird ersichtlich, dass sich die Anlagenstruktur in Düsseldorf von den Mittelwerten der insgesamt 15 Städte aus NRW unterscheidet, siehe Tab. 7.7 (Städteliste siehe Tabelle).

Der Vergleich mit den Mittelwerten der 15 erfassten Städte zeigt, dass in Düsseldorf Gasfeuerungen mit einem Anteil von ca. 88 % am aufgeführten Gerätebestand insgesamt häufiger installiert sind (Mittelwert 15 Städte: ca. 74 %), Gasbrennwertgeräte aber einen geringeren Anteil haben. Ölfeuerungen und Feuerungen für feste Brennstoffe sind nur etwa halb so häufig eingebaut wie im Mittel der 15 Städte.

Da Gasfeuerungen in der Regel niedrigere NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren aufweisen als Ölfeuerungen oder Feuerungen für feste Brennstoffe ist das Minderungspotenzial auch vom Anlagenbestand an Gasfeuerungen abhängig. Vergleichsweise hohe Anteile von Gasfeuerungen, wie z.B. in Düsseldorf, führen in der Tendenz zu geringeren Minderungspotenzialen. Höhere Anteile von Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe und von Ölfeuerungen (z.B. Mittelwert der 15 Städte aus NRW) würden in der Tendenz zu höheren Minderungspotenzialen führen. Allerdings wirken sich die Anlagenzahlen nicht direkt proportional auf das Minderungspotenzial aus, da sich das Emissionsaufkommen aus dem

gerätespezifischen Endenergieverbrauch und dem gerätespezifischen Emissionsfaktor ergibt, und somit u.a. die mittlere Nennwärmeleistung der Bauart mit berücksichtigt wird.

Tab. 7.7: Zusammengefasste Daten der installierten Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf im Vergleich zu den Mittelwerten aus 15 Städten in NRW <sup>1)</sup> /MKULNV 2015/

Brennstoff	Anlagenart	Baujahre NWL	Nennwärme- leistung	Anzahl		Anteil in %	
				Düsseldorf	Mittelwert 15 Städte		
Gas	Zentral- heizungen	bis Dez. 1997	<i>insgesamt</i>	43.393	31	28	
		ab Jan.1998	<i>insgesamt</i>	45.894	33	22	
		Gas-Brennwertgeräte			15.242	11	15
		<b>Summe Zentralheizungen</b>			<b>104.529</b>	<b>75</b>	<b>65</b>
	Einzel- feuer- stätten	≤ 50 kW	<i>insgesamt</i>	17.780	13	9	
		> 50 kW	<i>insgesamt</i>	32	0	0	
		<b>Summe Einzelfeuerstätten</b>			<b>17.812</b>	<b>13</b>	<b>9</b>
	<b>Summe Gas</b>				<b>122.341</b>	<b>88</b>	<b>74</b>
Öl	Zentral- heizungen	bis Dez. 1997	<i>insgesamt</i>	4.779	3	7	
		ab Jan.1998	<i>insgesamt</i>	3.391	2	4	
		Öl-Brennwertgeräte			228	0	0
	<b>Summe Öl</b>			<b>8.398</b>	<b>6</b>	<b>12</b>	
Feste Brenn- stoffe	Zentralheizungen *		<i>insgesamt</i>	118	0	0	
	Einzelfeuerstätten **		4 - 10 kW	8.845	6	14	
	<b>Summe Feste Brennstoffe</b>			<b>8.963</b>	<b>6</b>	<b>14</b>	
<b>Summe Feuerungsanlagen 1. BImSchV</b>				<b>139.702</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	

NWL Nennwärmeleistung

\* feste Brennstoffe (Kohle, Koks, Scheitholz, Pellet)

\*\* Zimmeröfen, Kaminöfen, offene Kamine für feste Brennstoffe

<sup>1)</sup> Düsseldorf, Duisburg, Essen, Kleve, Krefeld, Mettmann, Mönchengladbach, Mülheim, Neuss, Oberhausen, Remscheid, Solingen, Viersen, Wesel, Wuppertal (insgesamt 1,4 Mio. Anlagen)

Die Bewertung der Übertragbarkeit des beispielhaft für Düsseldorf ermittelten Minderungspotenziale für NO<sub>x</sub> für die Strategien 1 bis 3 auf den Anlagenbestand von Nordrhein-Westfalen bezieht sich nur auf die Emissionskomponente NO<sub>x</sub>. Da das Emissionsaufkommen von Gesamtstaub wesentlich von den Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe bestimmt wird, ergibt sich für diese Komponente u.U. eine andere Bewertung.

## 7.6 Mögliche Maßnahmen zur Ausschöpfung des Potenzials

Bei den vorgeschlagenen Maßnahmen zur Ausschöpfung des NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzials können alle Rechtsebenen und alle Bereiche des Rechtswesens betroffen sein. Deshalb kann hier nur eine Ersteinschätzung erfolgen, inwieweit die Maßnahme bestehende Rechtsnormen tangieren, ein Rechtsgutachten ist im Rahmen der vorliegenden Arbeiten nicht vorgesehen.

Im Folgenden erfolgt eine Bewertung und kurze Diskussion der Strategien 1 bis 3 anhand ihrer Maßnahmensteckbriefe (Bild 7.3 bis Bild 7.5). Hierbei wurde in einer ersten Abschätzung angenommen, dass durch die Maßnahmen das Minderungspotenzial auch vollständig ausgeschöpft wird. Eine Angabe zur tatsächlich erreichbaren Minderung bei Umsetzung einer bestimmten Maßnahme kann, u.a. aufgrund der Datenlage, nicht erfolgen.

Mögliche Maßnahmen zur Umsetzung der Strategie 1 (Modernisierung der Heizgeräte) bis zum Jahr 2025 könnten durch eine Verschärfung der 1. BImSchV, der Energieeinsparverordnung EnEV oder durch eine länderspezifische Regelung für den Gebäudebestand erfolgen. Bei der 1. BImSchV könnten für Öl- und Gasfeuerungen die Abgasverluste stärker begrenzt werden oder es könnte ein überwachungspflichtiger Grenzwert für NO<sub>x</sub> eingeführt werden. Bei Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe könnte eine Begrenzung der Abgasverluste neu eingeführt werden. Um einen weitgehenden Austausch älterer Feuerungsanlagen innerhalb der nächsten 10 Jahre zu erreichen, müssten allerdings Übergangsregelungen mit vergleichsweise kurzen Fristen getroffen werden. Außerdem müsste der Vollzug dieser Regelungen mit möglichst wenigen Ausnahmen sichergestellt werden. Der Austausch von Altanlagen könnte auch durch die Änderung der EnEV unterstützt werden, indem z.B. die maximale Nutzungsdauer der Heizkessel von derzeit 30 Jahren reduziert wird und diese Regelung auch auf Heizkessel für feste Brennstoffe ausgeweitet wird.

Um den Altanlagentausch voranzubringen, wären auch länderspezifische Regelungen denkbar, die auf den Endenergieverbrauch im Gebäudebestand und die dort installierte Anlagentechnik abzielt (in Analogie z.B. zum Erneuerbare-Wärme-Gesetz von Baden-Württemberg - EWärmeG).

Für die flächenhafte Umsetzung der Strategie 2 (Brennstoffwechsel) müssten den Betreibern/Eigentümern von Heizanlagen die Nutzung bestimmter Brennstoffe vorgeschrieben bzw. das mögliche Brennstoffband stark eingeschränkt werden. Inwieweit dies rechtlich in der Fläche und nicht nur in einem eng begrenzten Gebiet eines Bebauungsplanes oder einer Stadt (z.B.: Ordnungsbehördliche Verordnung über den Betrieb von Einzelraumfeuerungsanlagen für feste Brennstoffe (Aachener Festbrennstoffverordnung – FBStVO vom 29.09.2010 bzw. Düsseldorfer Festbrennstoffverordnung – FBStVO vom 06.06.2012)) überhaupt durchsetzbar ist, kann im Rahmen dieser Arbeit nicht bewertet werden.

Eine Verbesserung des Nutzerverhaltens wirkt sich aufgrund des weniger verbrannten Brennstoffes direkt auf das Emissionsaufkommen für alle Verbrennungsprodukte aus. Mit

modernen Heizkesseln können bei entsprechender Ausstattung der Geräte, einem fachgerechtem Einbau sowie angepasster Geräteeinstellung und einem energiesparenden Nutzerverhalten in der Regel auch hohe Nutzungsgrade erreicht werden. Allerdings weisen Praxisuntersuchungen darauf hin, dass das vorhandene technische Potenzial nicht immer voll genutzt wird. Hier könnte die Strategie 3 ansetzen, die durch Beratungen und entsprechende Informationen auf mögliche Einsparpotenziale hinweist und konkrete Vorschläge und Anregungen macht. Dieser Vorschlag ist im Grundsatz nicht neu, aber die Erfahrungen zeigen, dass sich eine Effizienzsteigerung in der Praxis nur langsam umsetzen lässt, da hier das Nutzerverhalten eine wesentliche Rolle spielt.

<b>KF 1 Strategie: Modernisierung der Heizgeräte</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Bundesregierung (Änderung der 1. BImSchV, Verschärfung der Energieeinsparverordnung - EnEV), länderspezifische Regelung für Gebäudebestand, Vollzug sicherstellen		Betreiber / Eigentümer von Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Am Beispiel für die Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Düsseldorf berechnet: Austausch aller Feuerungsanlagen mit Baujahren vor 1989 (Öl- und Gasfeuerungen) und von 1994 (Feuerungen für feste Brennstoffe) durch moderne Geräte			
<b>Wirkungsweise</b>			
NO <sub>x</sub> -Emissionen von älteren Gas- und Ölfeuerungen höher als von modernen Geräten			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen (Düsseldorf)</b>			
Umsetzungszeitraum	2013	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Basisfall [t]	325		325
Minderung ggü. Basisfall [t]			125
Minderung ggü. Basisfall (Anteil)			38%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	Austausch Feuerungsanlagen, ggf. weitere bauliche Maßnahmen. Einschätzung qualitativ: gering bis hoch im Einzelfall		
Wirkung auf PM10:	positiv		
Wirkung auf Klima:	positiv		
Wirkung auf Lärm	keine		
Technologische Aspekte:	Anlagentechnik ist am Markt verfügbar		
Rechtliche Aspekte:	Änderungen / Verschärfungen bestehender Gesetze / Verordnungen sind notwendig. Erlass von Landesgesetz um den Austausch der Altanlagen zu beschleunigen		
Ökonomische Aspekte:	Investitionen werden vorgezogen, positive Beschäftigungseffekte bei Herstellern und Handwerk, höhere Steuereinnahmen		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen			
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	Bei Änderungen / Verschärfungen bestehender Gesetze / Erlass von Landesgesetz müssen Bundestag und Bundesrat bzw. Landtag zustimmen, ggf. auch die Europäische Kommission		

*Bild 7.3: Steckbrief zur Strategie „Modernisierung der Heizgeräte“*

<b>KF 2 Strategie: Brennstoffwechsel</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Landesregierung		Betreiber / Eigentümer von Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Am Beispiel für die Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Düsseldorf berechnet: Ölfeuerungen werden durch Gasfeuerungen und Kohle- sowie Stückholzfeuerungen durch Holzpelletfeuerungen ersetzt. Baualterstufen der Gas- und Pelletfeuerungen wie bei Strategie 1			
<b>Wirkungsweise</b>			
NO <sub>x</sub> -Emissionen bei Gas geringer als bei Öl, bei Pellets geringer als bei Kohle/Holz			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen (Düsseldorf)</b>			
Umsetzungszeitraum	2013	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Basisfall [t]	325		325
Minderung ggü. Basisfall [t]			147
Minderung ggü. Basisfall (Anteil)			45%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	Austausch Feuerungsanlagen, ggf. weitere bauliche Maßnahmen. Einschätzung qualitativ: gering bis hoch im Einzelfall		
Wirkung auf PM10:	positiv		
Wirkung auf Klima:	positiv		
Wirkung auf Lärm	keine		
Technologische Aspekte:	Anlagentechnik / Brennstoffe sind grundsätzlich am Markt verfügbar, ggf. Ausbau Erdgasnetz		
Rechtliche Aspekte:	Erlass / Änderung von Landesgesetz um Brennstoffwechsel zu erreichen		
Ökonomische Aspekte:	Investitionen werden erzwungen, positive Beschäftigungseffekte bei Herstellern und Handwerk, höhere Steuereinnahmen		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	schließt Strategie KF 1 mit ein		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse	Nutzung bestimmter Brennstoffe wird vorgeschrieben		

Bild 7.4: Steckbrief zur Strategie „Brennstoffwechsel“

<b>KF 3 Strategie: Verbessertes Nutzerverhalten</b>			
<b>Akteure für mögliche Maßnahmen zur Umsetzung</b>		<b>Zielgruppe</b>	
Energieberatung, Handwerk, Verbraucherberatung		Betreiber / Eigentümer von Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV	
<b>Kurzbeschreibung</b>			
Am Beispiel für die Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Düsseldorf berechnet: Verminderung der Vollbenutzungsstunden um 10 % bei modernen Anlagen (in Verbindung mit Strategie 2 bzw. entsprechender Wirkung bei Strategie 1)			
<b>Wirkungsweise</b>			
Reduktion der Emissionen durch Verbesserung des Nutzerverhaltens			
<b>Wirkung auf NO<sub>x</sub>-Emissionen (Düsseldorf)</b>			
Umsetzungszeitraum	2013 (Basisfall)	2020	2025
NO <sub>x</sub> -Emissionen Trend [t]	325		325
Minderung ggü. Trend [t]			165
Minderung ggü. Trend (Anteil)			51%
<b>Weitere Aspekte</b>			
<b>NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten</b>	Gering, ggf. Inanspruchnahme von Beratung bzw. Fachhandwerk zur Optimierung der Anlageneinstellung		
Wirkung auf PM10:	positiv		
Wirkung auf Klima:	positiv		
Wirkung auf Lärm	keine		
Technologische Aspekte:	Moderne Heizgeräte bieten i.d.R. die technischen Voraussetzungen, um höhere Nutzungsgrade zu erreichen. Damit diese in der Praxis auch realisiert werden, sind ggf. flankierende Maßnahmen notwendig.		
Rechtliche Aspekte:			
Ökonomische Aspekte:	Zusätzlicher möglicher positiver Aspekt der Strategie KF 2 (bzw. KF 1)		
Schnittstellen mit anderen Maßnahmen	schließt Strategie KF 2 mit ein		
Rechtliche Durchsetzbarkeit / Risiken / Hemmnisse			

Bild 7.5: Steckbrief zur Strategie „Verbessertes Nutzerverhalten“

Da die Strategien 1 bis 3 jeweils aufeinander aufbauen, zeigt die Strategie 1 das höchste NO<sub>x</sub>-Minderungspotenzial und wäre aus dieser Sicht vorrangig zu verfolgen. Bei Strategie 2 wäre eine hohe positive zusätzliche Wirkung zur PM10-Minderung durch den Ersatz von Kohle- und Stückholzfeuerungen durch Pelletsfeuerungen zu erwarten. Für die Umsetzung beider Strategien sind jedoch Maßnahmen notwendig, die eine Vielzahl von Betreibern / Eigentümern der Feuerungsanlagen direkt betreffen und ggf. hohe Kosten durch den Austausch der Heizanlagen und sonstige notwendige Änderungen (z.B. Schornstein-sanierung) verursachen. Ggf. kann das Land prüfen lassen, ob eine gezielte Förderung bestimmter Energieträger (ggf. gekoppelt mit Anforderungen an die dann eingesetzte Heiztechnologie) unterstützend wirkt. Inwieweit dies umsetzbar ist, muss politisch bewertet werden, auch im Hinblick auf den Emissions- und Immissionsanteil der in diesem Teilbericht betrachteten Feuerungsanlagen.

## 8 Trendentwicklung

In den vorherigen Kapiteln wurden die besonders relevanten Quellengruppen Straßenverkehr und Schiffsverkehr, Energieversorgung und Industrie sowie Haushalte und GHD (Kleinf Feuerungsanlagen) jeweils einzeln betrachtet. Für jede Quellengruppe wurde dargestellt:

- Trendentwicklung: Welche Entwicklung der Emissionen bis zum Jahr 2025 aus heutiger Sicht zu erwarten ist, wenn bereits beschlossene Maßnahmen umgesetzt, aber keine zusätzlichen Maßnahmen beschlossen werden.
- Minderungspotenziale: Welche über den Trend hinausgehenden Strategien und Maßnahmen zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen geeignet sind, und wie groß die erreichbaren Minderungen in den Prognosejahren 2020 und 2025 gegenüber der Trendentwicklung sind.

In diesem Kapitel werden die erwarteten Trendentwicklungen für die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Quellengruppen zusammengeführt, und es wird untersucht, welche Auswirkungen sich daraus auf die NO<sub>2</sub>-Belastungen im Hintergrund in NRW sowie an zwei typischen Belastungsschwerpunkten ergeben. Eine vergleichende Betrachtung der Minderungspotenziale der zusätzlich betrachteten Strategien wird im folgenden Kapitel 9 dargestellt.

### 8.1 NO<sub>x</sub>-Emissionen

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen der einzelnen Quellengruppen in NRW für das Basisjahr 2012/2013 (entsprechend den jeweiligen Emissionskatastern des Landes NRW, vgl. Kapitel 5, 6 und 7) sowie in der Trendentwicklung für die Prognosejahre 2020 und 2025 sind in Tab. 8.1 ausgewiesen. Für die Trendentwicklung wurde unterstellt, dass bereits beschlossene Maßnahmen umgesetzt werden, die Minderungspotenziale der in den vorherigen Kapiteln analysierten zusätzlichen Maßnahmen sind nicht berücksichtigt. In Bild 8.1 ist die Trendentwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW nach Quellengruppen grafisch dargestellt.

Für die Quellengruppe „Straßenverkehr“ basiert die hier dargestellte Trendentwicklung auf Prognosen der Flottenentwicklung und der Fahrleistungsentwicklung in NRW, wie in Kapitel 5.2.2 dargestellt. Für die Quellengruppe „Energieversorgung/Industrie“ wurde die Trendentwicklung aus den Prognosen zum Netzentwicklungsplan und Grenzwertverschärfungen bei Industrieanlagen (Zementindustrie, Abfallverbrennungsanlagen) abgeleitet, wie in Kapitel 6.2.4 dargestellt. Dabei wurde angesetzt, dass die Emissionsminderungen aufgrund von Grenzwertverschärfungen im Sektor „Industrie“ bereits im Jahr 2020 erreicht werden, die Minderungen im Sektor „Energieversorgung“ jedoch erst im Jahr 2025.

Für die anderen Quellengruppen wurde auf bundesweite Prognosen zurückgegriffen: Die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus Binnenschifffahrt, Schienenverkehr, Flugverkehr, Offroad wurden nach TREMOD /IFEU 2012a/, /IFEU 2012b/, /IFEU 2013/, /IFEU 2014/, unter Benutzung von



Daten des Statistischen Bundesamts /DESTATIS 2014/ fortgeschrieben, die der Kleinf Feuerungsanlagen und der Landwirtschaft nach „Luftqualität 2020/2030“ /UBA 2014a/.

In der Trendentwicklung gehen die NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW bis zum Jahr 2020 gegenüber 2012 um ca. 17 % zurück, bis zum Jahr 2025 um knapp 28 %. Im Straßenverkehr werden die stärksten Rückgänge erwartet. Sie liegen bis zum Jahr 2020 gegenüber dem Jahr 2012 bei ca. 50 % und bis zum Jahr 2025 bei ca. 67 %. Diese starken Rückgänge sind bedingt durch einerseits hohe Anforderungen der Euronormstufen Euro 6 und Euro VI (Leicht- und Schwerverkehr) und andererseits eine im Vergleich zu anderen Quellengruppen schnell verlaufende Erneuerung bei der Flottenentwicklung. Dadurch besteht bereits im Prognosejahr 2020 ein hoher Anteil der Flotte aus Fahrzeugen, welche die Anforderungen an EU 6 bzw. EU VI erfüllen (s. Kapitel 5, Abschnitt 5.2.2).

Auch für die übrigen Quellengruppen werden in der Trendentwicklung Reduktionen der NO<sub>x</sub>-Emissionen prognostiziert, die im Bereich von -4 % (Kleinf Feuerungsanlagen) bis zu -50 % (Offroadverkehr) liegen. Nur für die Landwirtschaft wird eine Zunahme der NO<sub>x</sub>-Emissionen bis 2025 prognostiziert (+6 %).

Den höchsten Anteil zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen NRW trägt, wie auch schon im Analysejahr 2012, auch zukünftig der Sektor Energieversorgung/Industrie bei (64 % in 2025), gefolgt vom Straßenverkehr (12 % in 2025).

Tab. 8.1: Trendentwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW nach Quellengruppen

Trendentwicklung NRW	2012 / 2013		2020			2025		
	NO <sub>x</sub> -Emi [kt/a]	Anteil	NO <sub>x</sub> -Emi [kt/a]	Diff. ggü. 2012 / 2013	Anteil	NO <sub>x</sub> -Emi [kt/a]	Diff. ggü. 2012 / 2013	Anteil
Straßenverkehr	80,0	26,0%	39,8	-50,3%	15,6%	26,7	-66,7%	12,0%
Schiffsverkehr	21,2	6,9%	19,7	-6,9%	7,7%	15,7	-25,7%	7,1%
Schienenverkehr	2,7	0,9%	2,5	-6,7%	1,0%	2,4	-11,0%	1,1%
Flugverkehr	1,9	0,6%	1,7	-12,0%	0,7%	1,6	-19,5%	0,7%
Offroadverkehr	7,6	2,5%	4,7	-38,3%	1,8%	3,8	-50,0%	1,7%
Kleinf Feuerungsanlagen	19,5	6,3%	19,2	-1,4%	7,5%	18,8	-3,6%	8,5%
Energieerzeugung und Industrie	162,9	53,0%	155,5	-4,6%	60,9%	140,7	-13,6%	63,5%
Landwirtschaft	11,4	3,7%	12,1	5,8%	4,7%	12,1	5,8%	5,4%
<b>gesamt</b>	<b>307,2</b>	<b>100,0%</b>	<b>255,1</b>	<b>-16,9%</b>	<b>100,0%</b>	<b>221,7</b>	<b>-27,8%</b>	<b>100,0%</b>

Zum Vergleich mit Tab. 8.1 sind in Tab. 8.2 die entsprechenden Prognosen für Deutschland gesamt nach /UBA 2014a/ ausgewiesen. Die dort prognostizierten Emissionsminderungen gegenüber dem Jahr 2012 liegen in gleicher Größenordnung wie die hier abgeleiteten. Für fast alle Quellengruppen werden Abnahmen prognostiziert, bei den Quellengruppen „sonstige Industrie“ und „Landwirtschaft“ geht das UBA von Zunahmen zwischen 2012 und 2020 bzw. 2025 aus.

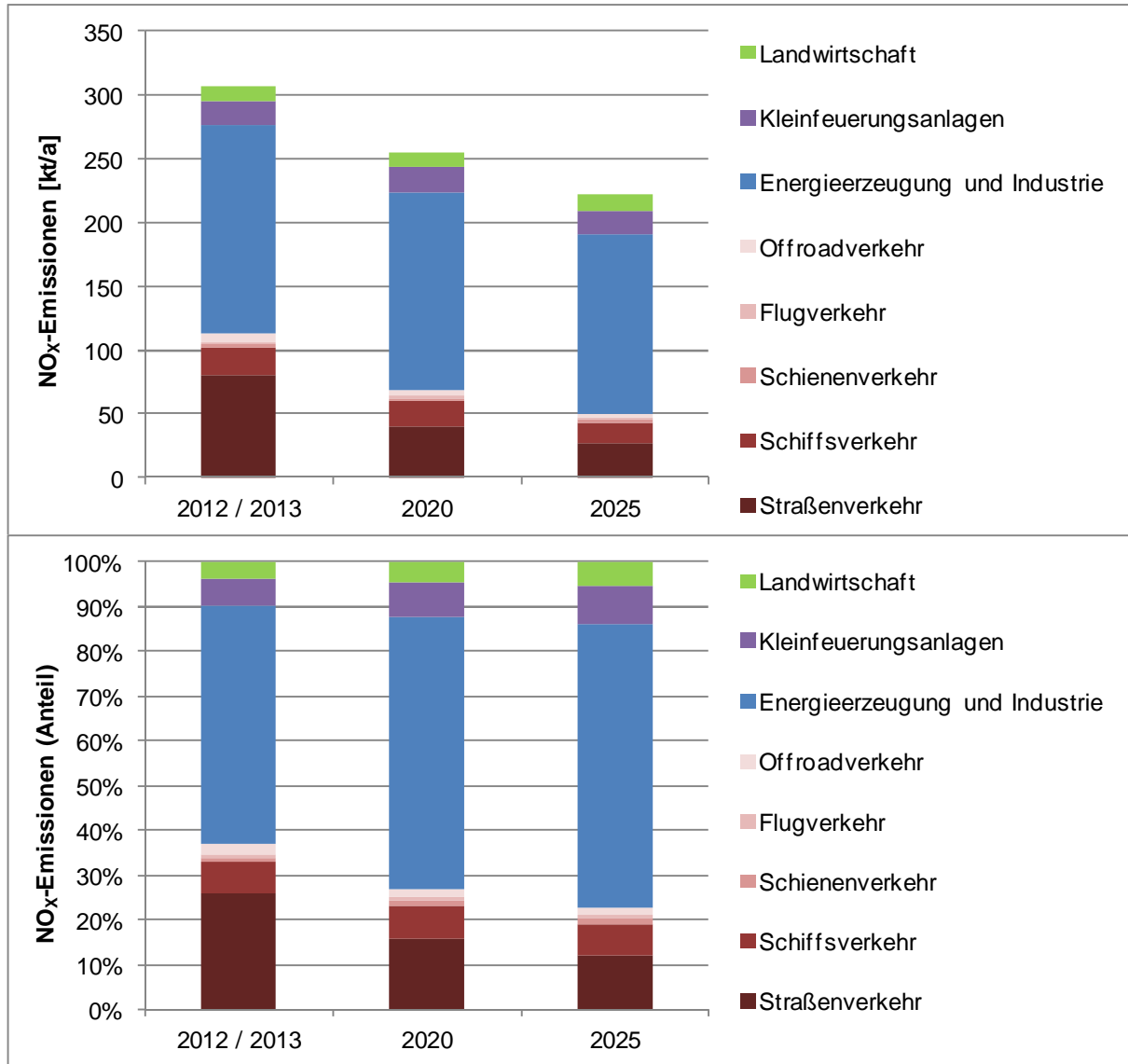


Bild 8.1: Trendentwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW nach Quellengruppen

Tab. 8.2: Trendentwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen in Deutschland gesamt nach Quellengruppen nach /UBA 2014a/

Trendentwicklung BRD	2012		2020			2025		
	NO <sub>x</sub> -Emi [kt/a]	Anteil	NO <sub>x</sub> -Emi [kt/a]	Diff. ggü. 2012	Anteil	NO <sub>x</sub> -Emi [kt/a]	Diff. ggü. 2012	Anteil
Straßenverkehr	438	34,5%	227	-48,2%	22,4%	163	-62,8%	17,6%
sonstiger Verkehr	155	12,2%	126	-18,4%	12,4%	116	-24,9%	12,5%
Kleinf Feuerungsanlagen	88	7,0%	87	-1,4%	8,6%	85	-3,6%	9,2%
Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie	304	24,0%	268	-11,9%	26,5%	258	-15,2%	27,8%
sonstige Industrie	178	14,0%	193	8,7%	19,1%	194	9,2%	20,9%
Landwirtschaft	106	8,4%	112	5,7%	11,1%	112	5,7%	12,1%
<b>gesamt</b>	<b>1.269</b>	<b>100,0%</b>	<b>1.013</b>	<b>-20,1%</b>	<b>100,0%</b>	<b>928</b>	<b>-26,8%</b>	<b>100,0%</b>

## 8.2 Exkurs: Auswirkungen der höheren realen Abgasemissionen bei Euro 6 Diesel-Pkw auf die Emissionsprognosen

Ausgehend von den USA wurde im September 2015 eine Manipulation von Abgaswerten offengelegt, insbesondere bei Euro 6 Diesel-Pkw. Die Auswirkung dieser Entwicklungen kann im Rahmen dieses Projekts nicht mehr im Einzelnen analysiert und berücksichtigt werden. Jedoch soll die Größenordnung der möglichen Auswirkungen höherer realer NO<sub>x</sub>-Emissionen anhand einer Szenariobetrachtung abgeschätzt werden.

Die Emissionsberechnung für die Quellengruppe Straßenverkehr wird auf Basis des HBEFA (Handbuch für Emissionen des Straßenverkehrs, HBEFA 3.2) durchgeführt. Die Emissionsfaktoren des HBEFA entsprechen nicht den Emissionsgrenzwerten, sondern basieren auf Messungen, teilweise im Labor, teilweise im realen Straßenverkehr. Je länger Fahrzeuge einer bestimmten Euronorm-Stufe bereits im Straßenverkehr vertreten sind, desto mehr Messungen und desto mehr Informationen sind verfügbar.

Für neue Versionen des HBEFA werden die Emissionsfaktoren stets der verbesserten Datenlage angepasst: In Version 3.2 gab es deutliche Zunahmen der Emissionsfaktoren für NO<sub>x</sub> bei Euro 5 Diesel-Pkw, weil die aufgrund der Verschärfung der Abgasgrenzwerte erwartete Reduktion der Real-Emissionen geringer ausgefallen war als zunächst erwartet.

Für die typische innerstädtische Verkehrssituation „urban, distributor 50, heavy“ (innerstädtische Hauptverkehrsstraße mit einem Tempolimit von 50 km/h und dichtem Verkehr) z. B. liegen die Emissionsfaktoren nach HBEFA3.2 für Euro 5 Diesel-Pkw im Mittel um ca. einen Faktor 4 höher als der Grenzwert. Da es auch Fahrzeuge gibt, die den Grenzwert einhalten, müssen die Emissionen bei einigen Fahrzeugen noch deutlich darüber liegen. Die im Realbetrieb im Vergleich zum Grenzwert höheren NO<sub>x</sub>-Emissionen sind in HBEFA3.2 für Euro 5 Fahrzeuge bereits enthalten. Dies entspricht auch der Einschätzung von *ermes* (European Research Group on Mobile Emission Sources) /ERMES 2015/, einer Gruppe, die auf europäischer Ebene Forschung und Anwendung zu Verkehrsemissionen koordiniert.

Für Euro 6 Fahrzeuge lagen bei der Ableitung der Emissionsfaktoren für HBEFA3.2 noch nicht viele Messungen vor. Es wurde daher eine Prognose für Euro 6 unter Berücksichtigung der Erfahrungen mit Euro 5 vorgenommen. Das heißt, es wurde angenommen, dass die Emissionen für die Mehrzahl der in Serie produzierten Fahrzeuge noch höher liegen als die der ersten vorliegenden Prototypen. Trotzdem müssen aus heutiger Sicht die Emissionsfaktoren für die aktuellen Euro 6 Diesel-Pkw möglicherweise nach oben korrigiert werden.

Ab Ende 2017 werden die ersten Neuzulassungen von Pkw der Stufe Euro 6c erfolgen. Für diese muss die Einhaltung der Grenzwerte auf öffentlichen Straßen nachgewiesen sein (*real driving emissions*, Kapitel 5, Abschnitt 5.2.1.4), hierfür sind die Emissionsfaktoren nach HBEFA3.2 aus heutiger Sicht tendenziell eher etwas zu hoch.

Für das Szenario „Euro 6 korrigiert“ wurden daher pessimistisch die Emissionen der Euro 6 Diesel-Pkw um 90 % erhöht und die Emissionen der Stufe Euro 6c konstant gelassen. Dieses Szenario untersucht also die möglichen Auswirkungen einer Unterschätzung der Emissionen von Euro 6 Diesel-Pkw im HBEFA3.2. Dadurch würden sich die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs

- im Jahr 2020 insgesamt von 40 kt auf 43 kt, d.h. um ca. 8 % und
- im Jahr 2025 insgesamt von 26,7 kt auf 28,4 kt, d.h. um ca. 7 %

gegenüber dem Trend erhöhen. Die Minderungen in diesem pessimistischen Szenario gegenüber den Emissionen des Jahres 2012 (80 kt) würden dann im Jahr 2020 47 % (statt 50 % beim Trend-Szenario) bzw. im Jahr 2025 64 % (statt 67 % beim Trend-Szenario) betragen. In Bild 8.2 sind die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Szenarios „Euro 6 korrigiert“ für den Straßenverkehr im Vergleich mit der Trendentwicklung dargestellt.

Die Korrektur führt also zu insgesamt höheren NO<sub>x</sub>-Emissionen als im Gutachten angesetzt, die Gesamtaussagen des Gutachtens würden dadurch jedoch nicht grundsätzlich geändert.

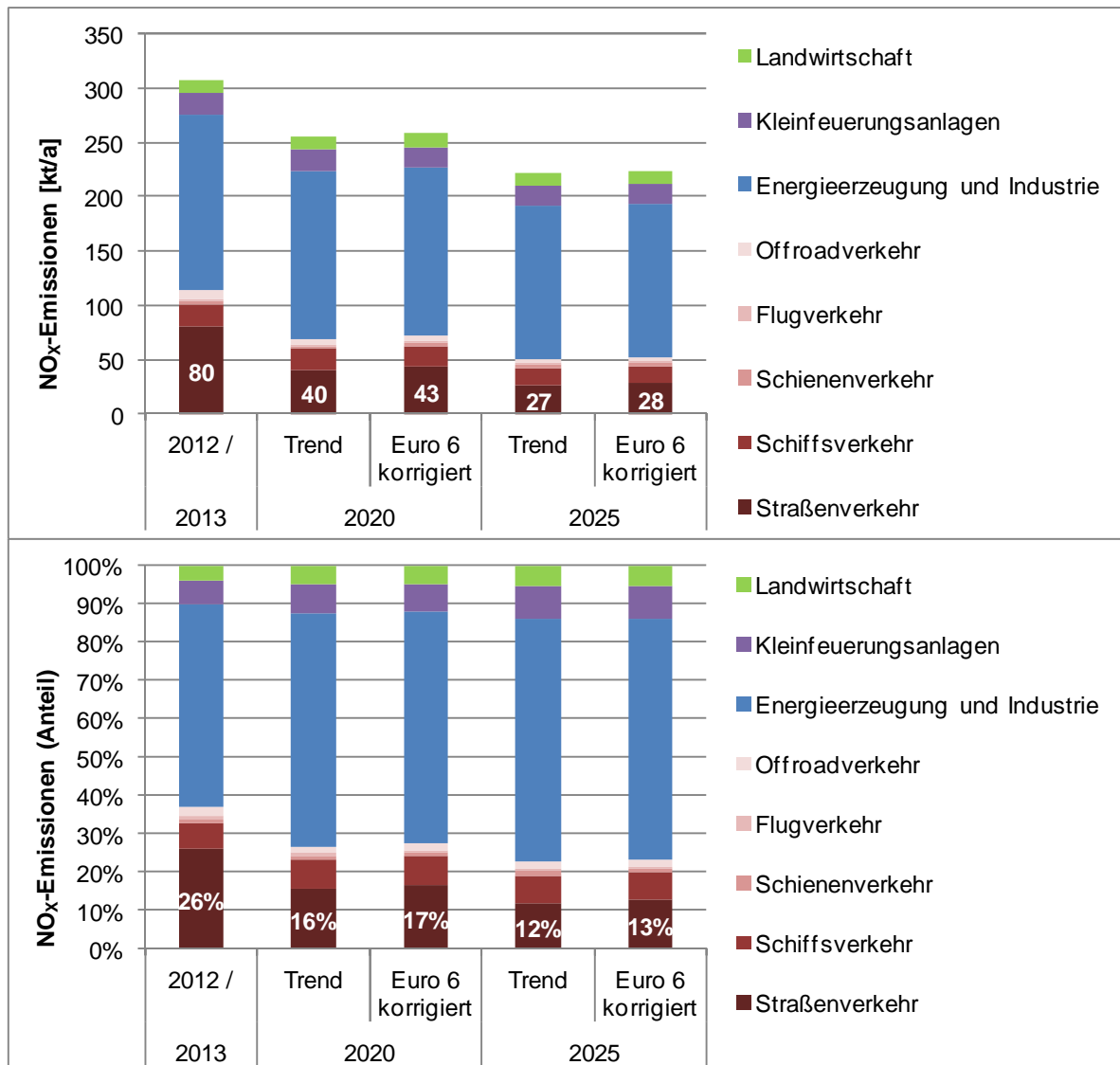


Bild 8.2: NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW nach Quellengruppen: Szenario „Euro 6 korrigiert“ im Vergleich mit der Trendentwicklung

### 8.3 NO<sub>2</sub>-Immissionen

Im Folgenden werden die Auswirkungen der oben abgeleiteten Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen in der Trendentwicklung auf die NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung abgeschätzt.

#### 8.3.1 Regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung

Zur Abschätzung der Trendentwicklung für die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW wurde auf die in Kapitel 3, Bild 3.22 dargestellten Ergebnisse aus EURAD-Modellrechnungen zurückgegriffen. Dort sind jeweils für die Bereiche NRW West, Rhein/Ruhr und NRW Ost die Anteile aller relevanten Quellengruppen an der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung im Jahr

2012 angegeben. Diese Anteile wurden bestimmt, indem bei sonst vollständigem Modell unter Berücksichtigung aller relevanten Prozesse (inklusive Ozonchemie) in den EURAD-Modellrechnungen die entsprechenden NO<sub>x</sub>-Emissionen abgeschaltet, d.h. um 100 % reduziert, wurden. Die Auswirkungen der Ozonchemie sind daher in allen Rechnungen enthalten. Die Wirkungen der zukünftigen veränderten NO<sub>x</sub>-Emissionen der einzelnen Quellengruppen auf die NO<sub>2</sub>-Immissionen werden durch Übertragung der prozentualen Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen auf den NO<sub>2</sub>-Immissionsbeitrag dieser Quellengruppe abgeschätzt.

Für die zukünftige Entwicklung des NO<sub>2</sub>-Imports wurde Folgendes angenommen: Wie in Kapitel 3 gezeigt wurde, gehen die NO<sub>x</sub>-Emissionen in den Nachbarländern von NRW in ähnlicher Größenordnung zurück wie in NRW. Es ist daher davon auszugehen, dass auch der NO<sub>2</sub>-Import sich in der Trendentwicklung tendenziell reduzieren wird. Für die Minderung des Imports wurde daher die Minderung angesetzt, die nach „Luftqualität 2020/2030“ /UBA 2014a/ für den regionalen Hintergrund im bundesweiten Mittel bestimmt wurde.

Die unter diesen Annahmen bestimmte Trendentwicklung für die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW ist in Bild 8.3 (oben) dargestellt.

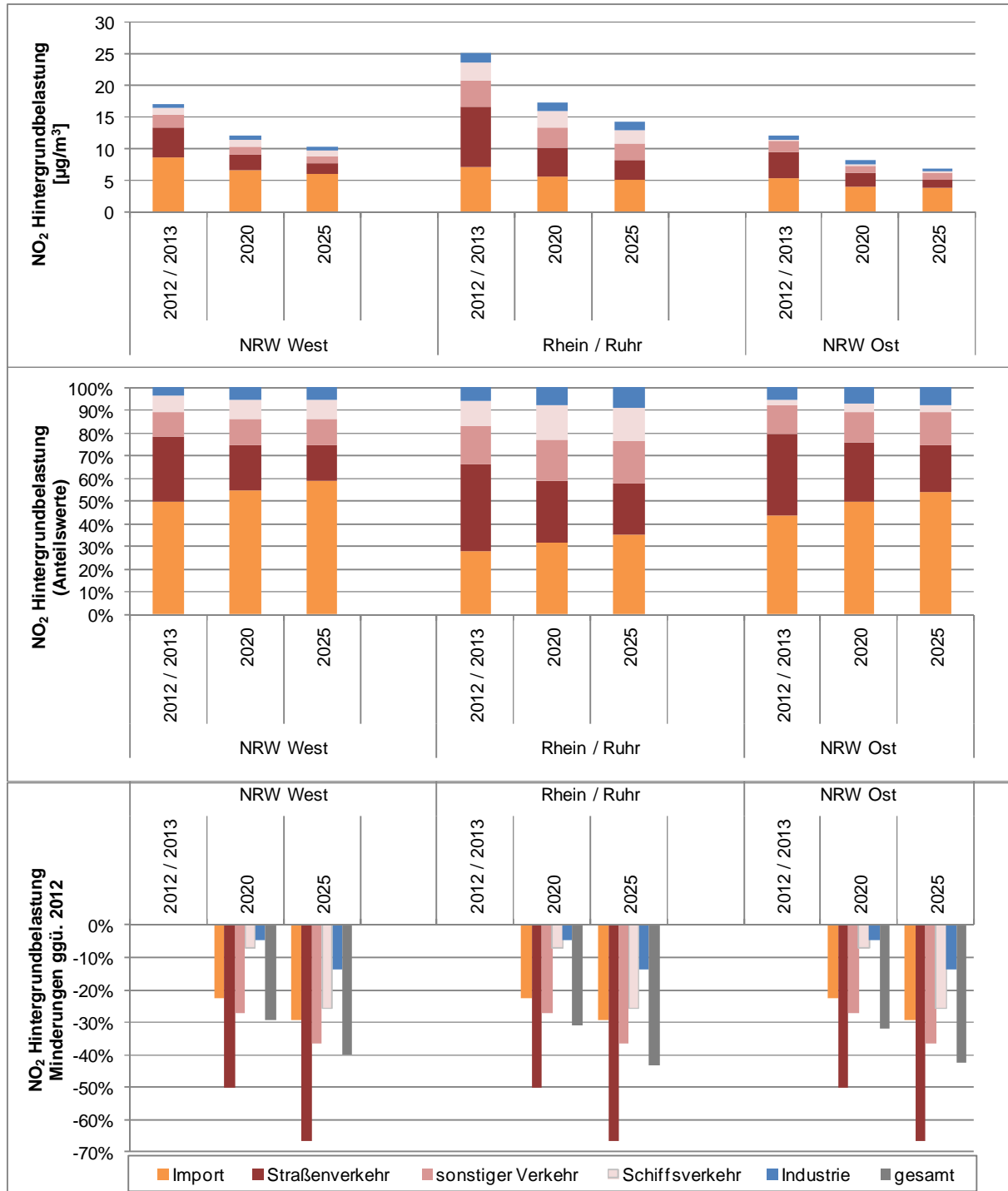


Bild 8.3: Trendentwicklung der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW mit Beiträgen der relevanten Quellengruppen sowie des Imports (oben); Trendentwicklung der Anteilswerte der Quellengruppen (Mitte); Minderungen der Beiträge in der Trendentwicklung ggü. 2012 (unten)

In NRW West wird damit ein Rückgang der für 2012 bestimmten regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung von ca. 17 µg/m<sup>3</sup> auf ca. 12 µg/m<sup>3</sup> im Jahr 2020 bzw. auf ca. 10 µg/m<sup>3</sup> im Jahr 2025 erwartet, im Rhein/Ruhrgebiet von ca. 25 µg/m<sup>3</sup> auf ca. 17 µg/m<sup>3</sup> bzw. auf ca. 14 µg/m<sup>3</sup>, in NRW Ost von ca. 12 µg/m<sup>3</sup> auf ca. 8 µg/m<sup>3</sup> bzw. auf ca. 7 µg/m<sup>3</sup> (Bild 8.3 oben).

In Bild 8.3 (Mitte) sind die relativen Beiträge der betrachteten Quellengruppen sowie des Imports an der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in den Regionen NRW West, Rhein/Ruhr und NRW Ost dargestellt. Es ist gut zu erkennen, dass in der Trendentwicklung überall der Anteil des Straßenverkehrs abnimmt und der Anteil des Imports zunimmt.

In Bild 8.3 (unten) sind die Minderungen der Beiträge der betrachteten Quellengruppen und des Imports in der Trendentwicklung gegenüber dem Jahr 2012 dargestellt. Aufgrund der für NRW gesamt berechneten Minderungen der Quellengruppen müssen diese für die Regionen gleich ausgewiesen werden. Da jedoch die Beiträge der Quellengruppen in den Regionen unterschiedlich sind, ergeben sich dennoch (geringfügig) unterschiedliche prozentuale Minderungen bei der Gesamtbelastung.

Im Vergleich sind die in der Trendentwicklung prognostizierten Minderungen für den Beitrag des Straßenverkehrs an der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung am höchsten und für den Beitrag der Industrie am geringsten. Für die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung insgesamt ergeben sich in der Trendprognose für das Jahr 2020 Minderungen von ca. 30 % gegenüber dem Basisjahr 2012. Für das Jahr 2025 werden Minderungen von ca. 40 % prognostiziert.

Nach den Prognosen des UBA („Luftqualität 2020/2030“, /UBA 2014a/) sind für Deutschland gesamt im Mittel Reduktionen der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung von 23 % im Jahr 2020 sowie von 29 % im Jahr 2025 gegenüber 2012 zu erwarten.

### **8.3.2 Immissionen am Belastungsschwerpunkt**

Obwohl in der hier vorliegenden Untersuchung der Schwerpunkt auf der Analyse der Entwicklung der Hintergrundbelastung liegt, wurden zusätzlich auch Analysen für typische Belastungsschwerpunkte durchgeführt. Im Folgenden wird daher die Trendentwicklung der NO<sub>2</sub>-Belastung bis 2025 zunächst beispielhaft für die Gladbecker Straße in Essen und die Corneliusstraße in Düsseldorf abgeschätzt. Die Ergebnisse werden dann auf alle verkehrsbeeinflussten Luftqualitätsmessstationen in NRW extrapoliert.

#### **Vorgehen**

Da sich nach der Freisetzung der NO<sub>x</sub>-Emissionen ein Gleichgewicht zwischen NO und NO<sub>2</sub> einstellt, können Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen nicht direkt in Minderungen der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen übertragen werden. Bei der Abschätzung der NO<sub>2</sub>-Trendentwicklung für den regionalen Hintergrund wurde auf EURAD-Modellrechnungen zurückgegriffen, in denen die hier relevante Photochemie vollständig enthalten ist. Für lokale Betrachtungen liegen solche Modellrechnungen nicht vor, so dass auf einen Screening-Ansatz (vereinfachtes Schätzverfahren) zurückgegriffen wird, der in der Luftreinhalteplanung häufig für Belastungsschwerpunkte angewandt wird, an denen die lokale Zusatzbelastung ausschließlich durch die Emissionen einer Quellengruppe verursacht wird. Ein typischer Anwendungsfall ist eine Straßenschlucht mit hoher Verkehrsbelastung.



Dabei wird die Immissionsbelastung an einer Verkehrsmessstation aufgeteilt in die lokale verkehrsbedingte Zusatzbelastung und die Summe der übrigen Belastungsanteile (Hintergrundbelastung). Die Differenz der Immissionsbelastung am Belastungsschwerpunkt und der Hintergrundbelastung stellt die Immissions-Zusatzbelastung dar, die durch den Verkehr im betrachteten Straßenabschnitt verursacht wird. Im Rahmen des Screening-Verfahrens wird davon ausgegangen, dass sich für NO<sub>x</sub> die emissionsseitigen Maßnahmenwirkungen direkt in der verkehrsbedingten NO<sub>x</sub>-Immissions-Zusatzbelastung wiederfinden und weitere Parameter (Bebauung, Meteorologie) unverändert bleiben (d. h. es wird vereinfachend ein linearer Zusammenhang zwischen Emission und Immissions-Zusatzbelastung unterstellt).

Damit können die prozentualen Änderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen im Vergleich zu 2012 auf die lokalen verkehrsbedingten NO<sub>x</sub>-Immissions-Zusatzbelastungen übertragen werden. Durch Addition der jeweils modifizierten lokalen verkehrsbedingten NO<sub>x</sub>-Immissions-Zusatzbelastung und der NO<sub>x</sub>-Hintergrundbelastung können die Immissions-Gesamtbelastungen für die Trendentwicklung und die Strategien abgeschätzt werden. Zur Berücksichtigung der Umwandlungsrate von NO<sub>x</sub> in NO<sub>2</sub> wird der Ansatz nach /ROMBERG 1996/ herangezogen.

### **Beispiele für Belastungsschwerpunkte**

Beispielhaft wurden die beiden innerstädtischen verkehrsbeeinflussten Luftqualitätsmessstationen an der Corneliusstraße in Düsseldorf und an der Gladbecker Straße in Essen betrachtet. Als Hintergrundbelastung wurden für Düsseldorf die Messwerte der Hintergrundstation Düsseldorf Lörick herangezogen. Für Essen wurde ein Mittelwert der Hintergrundstationen Wesel-Feldmark, Essen Vogelheim, Duisburg Walsum, Essen Schuir, Bottrop Welheim und Mülheim Styrum gebildet.

Die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte 2012 und 2014 an der Corneliusstraße und der Gladbecker Straße und die zugehörigen Hintergrundkonzentrationen sind in Bild 8.4 dargestellt. Zusätzlich sind die auf dieser Basis nach dem Screening-Verfahren bestimmten lokalen NO<sub>2</sub>-Belastungen mit aufgenommen.

Für die Trendprognosen wurden, wie oben erläutert, die lokalen verkehrsbedingten NO<sub>x</sub>-Immissions-Zusatzbelastungen entsprechend der Emissionen der Trendentwicklung reduziert. Für den Hintergrund wurde eine Reduktion analog zur Reduktion der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in der Region Rhein/Ruhr (Abschnitt 8.3.1) angesetzt. Die NO/NO<sub>2</sub>-Konversion wurde nach /ROMBERG 1996/ durchgeführt.

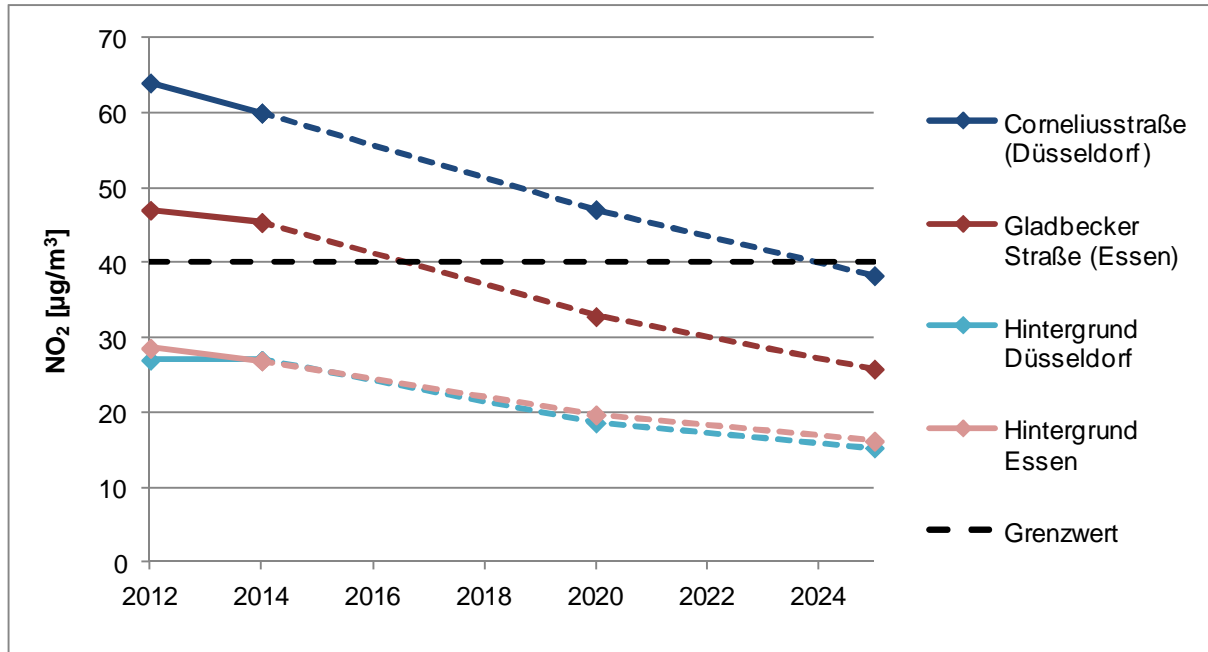


Bild 8.4: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte 2012 und 2014 der Luftqualitätsmessstationen Corneliusstraße in Düsseldorf und Gladbecker Straße in Essen sowie der zugehörigen Hintergrundstationen mit Trendprognosen für 2020 und 2025

Für die Corneliusstraße in Düsseldorf wird für das Jahr 2020 eine NO<sub>2</sub>-Belastung von 47 µg/m<sup>3</sup> prognostiziert, die damit noch über dem Grenzwert für den Jahresmittelwert von 40 µg/m<sup>3</sup> liegt. Im Jahr 2025 wird eine Belastung von 38 µg/m<sup>3</sup> erwartet, das heißt, der Grenzwert wird knapp unterschritten. In der Gladbecker Straße in Essen wird die NO<sub>2</sub>-Belastung gemäß Trendprognose mit 33 µg/m<sup>3</sup> bereits im Jahr 2020 den Grenzwert deutlich unterschreiten, für 2025 wird ein Wert von 26 µg/m<sup>3</sup> erwartet.

### 8.3.3 Grobabschätzung: Extrapolation auf alle Verkehrsmessstationen in NRW

Im folgenden Abschnitt sollen die gewonnenen Ergebnisse für die Corneliusstraße in Düsseldorf durch eine grobe Abschätzung auf alle Verkehrsmessstationen in NRW extrapoliert werden.

Es ist nicht das Ziel dieser Abschätzung, Ergebnisse für einzelne Messstationen abzuleiten. Dazu müssten für jede Messstation einzeln mittels Verursacheranalysen die Anteile der unterschiedlichen Quellengruppen an der Gesamtbelastung bestimmt und entsprechend der Trendprognose fortgeschrieben werden. Stattdessen soll hier eine grobe Abschätzung gegeben werden, wie sich die Zahl der Messstationen mit Grenzwertüberschreitungen in der Trendprognose aus heutiger Sicht entwickeln kann.

In Bild 8.5 sind die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte aller Verkehrsmessstationen in NRW 2014 /UBA 2015c/ sortiert nach Größe dargestellt. Bei den vier am höchsten belasteten Messstationen in NRW handelt es sich um die Stationen an der Euskirchener Straße in Düren (Jahresmittelwert NO<sub>2</sub> 2014: 64 µg/m<sup>3</sup>), am Clevischen Ring in Köln (Jahresmittelwert NO<sub>2</sub> 2014: 63 µg/m<sup>3</sup>), an der Corneliusstraße in Düsseldorf (Jahresmittelwert NO<sub>2</sub> 2014: 60 µg/m<sup>3</sup>) und in Düsseldorf Bilk (Jahresmittelwert NO<sub>2</sub> 2014: ebenfalls 60 µg/m<sup>3</sup>). Die zuvor einzeln untersuchten Stationen Corneliusstraße und Gladbecker Straße sind jeweils farblich hervorgehoben.

Zur Extrapolation für die Trendprognosen 2020 und 2025 wurden die gemessenen Konzentrationen aller Stationen prozentual genauso stark gemindert wie die der Corneliusstraße. Dies ist eine grobe Näherung, da der Anteil des lokalen Straßenverkehrs nicht für alle Stationen gleich ist. Da aber alle betrachteten Stationen an verkehrsbeeinflussten Standorten stehen, wird diese Näherung für eine Grobabschätzung als gerechtfertigt angesehen. Für die Gladbecker Straße kann die Abweichung der auf Basis der Grobschätzung abgeleiteten Prognose von der Trendprognose angegeben werden: Die Grobschätzung für 2020 liegt um 2,5 µg/m<sup>3</sup> zu hoch, die Grobschätzung für 2025 um 2,9 µg/m<sup>3</sup>.

Die entsprechend für die Trendprognosen 2020 und 2025 extrapolierten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte der Verkehrsmessstationen in NRW sind vergleichend zu den Messwerten 2014 in Bild 8.5 dargestellt.

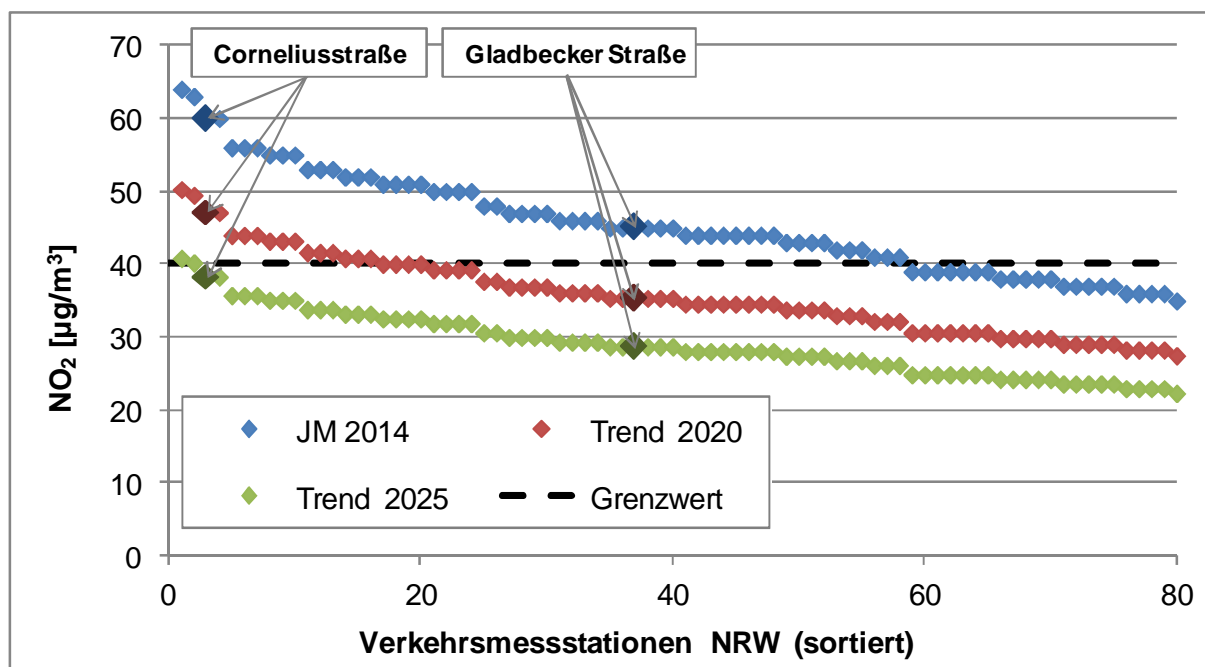


Bild 8.5: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte aller Verkehrsmessstationen in NRW 2014 (Quelle: /UBA 2015c/) sortiert nach Größe im Vergleich mit der Grobschätzung für die Trendprognose (2020 und 2025)

In Bild 8.5 ist außerdem der Luftqualitätsgrenzwert für den Jahresmittelwert von NO<sub>2</sub> (40 µg/m<sup>3</sup>) eingetragen, so dass jeweils die Anzahl an Stationen mit Grenzwertüberschreitungen abgelesen werden kann. Von 80 verkehrsbeeinflussten Luftqualitätsstationen wiesen bzw. weisen

- 2014 58 Stationen (knapp drei Viertel aller Stationen),
- im Trend 2020 noch 20 Stationen (ein Viertel aller Stationen),
- im Trend 2025 nur noch eine Station (und zwar der Clevische Ring in Köln)<sup>24</sup>

Grenzwertüberschreitungen auf.

Diese Grobschätzung für NRW stimmt gut überein mit Untersuchungen des IIASA im Auftrag der EU mit dem GAINS-Modell /IIASA 2014/. Betrachtet wurde ein europaweites Ensemble aus den 496 höchstbelasteten Luftqualitätsmessstationen aus der EEA AirBase. Nach /IIASA 2014/ kann im Jahr 2025 an 92 % der betrachteten Luftqualitätsmessstationen der Luftqualitätsgrenzwert für NO<sub>2</sub> wahrscheinlich eingehalten werden, an 6 % der Stationen ist die Einhaltung unsicher und an 2 % der Stationen kann der Grenzwert wahrscheinlich nicht eingehalten werden. Auch eine Untersuchung von AVISO im Auftrag des VDA für Deutschland gesamt kommt zu vergleichbaren Ergebnissen /AVISO 2016/.

---

<sup>24</sup> Die Grenzwertüberschreitung an der Euskirchener Straße in Düren wird aufgrund Ostumgehung Düren im Zuge der Fertigstellung der Bundesstraße B56n im Jahr 2025 voraussichtlich behoben sein.

## 9 Minderungspotenziale von Strategien und Maßnahmen

In Kapitel 8 wurde die aus heutiger Sicht bei Umsetzung aller bereits beschlossenen Maßnahmen erwartete Trend-Entwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen und NO<sub>2</sub>-Immissionen in NRW bis zum Jahr 2025 dargestellt. Im Vergleich dazu werden in diesem Kapitel sowohl emissions- wie auch immissionsseitig die Auswirkungen der in den Kapiteln 5 bis 7 für die Quellengruppen einzeln analysierten Strategien und Maßnahmen zusammengeführt.

Abschließend werden alle Maßnahmen in einer Matrix vergleichend gegenübergestellt und bewertet.

### 9.1 Potenziale zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW

Der Trendentwicklung der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW werden im Folgenden die Minderungspotenziale der betrachteten Strategien gegenübergestellt. Sie sind in Tab. 9.1 aufgeführt. Es ist jeweils das NO<sub>x</sub>-Emissionsminderungspotenzial bezogen auf die Summe der NO<sub>x</sub>-Emissionen aller Quellengruppen in NRW gesamt ausgewiesen. Für detailliertere Angaben zu den einzelnen Maßnahmen innerhalb der Strategien und deren Minderungspotenzial sei auf die entsprechenden Kapitel verwiesen.

Für alle Quellengruppen sind zusätzlich zu den Minderungspotenzialen der betrachteten Strategien Gesamtreduktionen angegeben. Diese sind geringer als die Summe der Minderungspotenziale der Strategien. Dies hat folgende Gründe:

- Zum Teil schließen Strategien einander ein. So ist z.B. das Minderungspotenzial der Strategie IE1.1 (Primärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken) bereits im Potenzial der Strategie IE1.2 (Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken) enthalten.
- Minderungspotenziale der Strategien, die auf die gleiche Gesamtsumme zielen, wurden jeweils prozentual angesetzt: Beim Straßenverkehr z.B. wurde für die Gesamtreaktion zunächst die Verkehrsmenge gemindert und dann die Minderung durch die Flottenverbesserung prozentual für die verbleibenden Emissionen bestimmt usw. Analog wurde im Sektor Energieversorgung zur Bestimmung der Gesamtreaktion zunächst die Minderung durch die Energiewende angesetzt und dann die Minderung durch Primär- und Sekundärmaßnahmen prozentual für die verbleibenden Emissionen bestimmt.

Tab. 9.1: Potenziale zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW gegenüber der Trendentwicklung in den Prognosejahren 2020 und 2025 für die betrachteten Strategien

	2020	2025
<b>Trendentwicklung NO<sub>x</sub>-Emissionen [t] NRW gesamt</b>	<b>255.116</b>	<b>221.736</b>
<b>Minderungspotenziale Strategien Straßenverkehr [t]</b>		
V1.1 Förderung der Elektromobilität (NRW gesamt ohne Modellstadt)	343 -0,1%	1.051 -0,5%
V1.2 Förderung alternativer Kraftstoffe	215 -0,1%	313 -0,1%
V1.3 Weitere Flottenverbesserung	2.869 -1,1%	1.294 -0,6%
V2.1 Veränderung des Modal Split im Personennahverkehr	654 -0,3%	895 -0,4%
V2.2 Veränderung des Modal Split im Personenfernverkehr	66 0,0%	45 0,0%
V2.3 Veränderung des Modal Split im Güterverkehr	0 0,0%	0 0,0%
V2.4 Reduktion des innerstädtischen Verkehrs	1.626 -0,6%	1.052 -0,5%
V3.1 Abbau von Stausituationen	166 -0,1%	105 0,0%
V3.2 Förderung von kraftstoffsparendem Fahren	429 -0,2%	295 -0,1%
V3.3 Geschwindigkeitsbeschränkungen	2.628 -1,0%	1.859 -0,8%
<b>Gesamtreduktion</b>	<b>8.246 -3,2%</b>	<b>6.213 -2,8%</b>
<b>Minderungspotenziale Strategien Schiffsverkehr [t]</b>		
V4.1 Flottenverbesserung	473 -0,2%	1.039 -0,5%
V4.2 Förderung alternativer Kraftstoffe und Antriebe	1.007 -0,4%	988 -0,4%
V4.3 Optimierung Fahrgeschwindigkeit	394 -0,2%	511 -0,2%
<b>Gesamtreduktion</b>	<b>1.821 -0,7%</b>	<b>2.409 -1,1%</b>
<b>Minderungspotenziale Strategien Industrie/Energieversorgung [t]</b>		
IE1.1 Primärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken		8.072 -3,6%
IE1.2 Primär- u. Sekundärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken		19.638 -8,9%
IE1.3 Energiewende		7.135 -3,2%
IE2.1 Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Industrieanlagen		9.347 -4,2%
<b>Gesamtreduktion</b>		<b>35.342 -15,9%</b>
<b>Gesamtreduktion für alle Quellengruppen [t]</b>	<b>10.066 -3,9%</b>	<b>43.964 -19,8%</b>

Beim Vergleich der Minderungspotenziale der Strategien für die verschiedenen Quellengruppen fällt Folgendes auf:

- Im Verkehrsbereich, und hier insbesondere beim Straßenverkehr, werden bereits in der Trendentwicklung vergleichsweise hohe Reduktionen der NO<sub>x</sub>-Emissionen erwartet. Durch zusätzliche Maßnahmen, die i.d.R. in Teilgebieten wirken (z.B. nur innerstädtisch in Umweltzonengebieten), sind nur noch geringe Minderungen (Größenordnung maximal 1 % der Gesamtemissionen aller Quellengruppen in NRW für einzelne Strategien) zu erreichen. Die stärksten Minderungen können durch beschleunigte Flottenverbesserung („Blaue Umweltzone“), durch Reduktion des innerstädtischen Verkehrs („City-Maut“) sowie durch ein Tempolimit auf Autobahnen erreicht werden. Insgesamt sind durch Kombination der Strategien bei der Quellengruppe Straßenverkehr Minderungen von ca. 3 % gegenüber dem Trend zu erreichen, bilanziert für NRW gesamt.
- Im Bereich Industrie und Energieversorgung werden in der Trendentwicklung geringere Rückgänge prognostiziert. Aufgrund der längeren Lebensdauern der eingesetzten Technik in diesem Bereich werden Wirkungen von Maßnahmen auch

erst für das Prognosejahr 2025 erwartet. Die Minderungspotenziale sind dann jedoch höher: Im Bereich Industrie und Energieversorgung sind Minderungen von ca. 16 % der Gesamtemissionen erreichbar.

Für alle Quellengruppen lässt sich im Jahr 2025 insgesamt durch die untersuchten Strategien/Maßnahmen ein zusätzliches Gesamt-Minderungspotenzial der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW von ca. 20 % ableiten.

## **9.2 Potenziale zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen im Wirkungsbereich der Maßnahmen (innerstädtisch)**

Die in Tab. 9.1 ausgewiesenen Minderungspotenziale gelten für die Summe der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW. Die betrachteten Maßnahmen wirken jedoch nicht flächendeckend, sondern jeweils in den Gebieten, in denen sie umgesetzt werden, stärker: Ein Tempolimit auf Autobahnen wirkt sich insbesondere in der Umgebung der Autobahnen aus, auf denen es zuvor keine Beschränkung gab, und „Blaue Umweltzonen“ wirken insbesondere in städtischen Bereichen.

Da die Messstationen in NRW, an denen Überschreitungen des Grenzwerts für den Jahresmittelwert von NO<sub>2</sub> gemessen werden, ausschließlich innerorts an verkehrsbeeinflussten Standorten stehen, werden im Folgenden die Minderungspotenziale der innerstädtisch wirksamen Strategien zur Reduktion der Emissionen des Straßenverkehrs jeweils in ihren Wirkungsbereichen betrachtet. In Tab. 9.2 sind die prozentualen, innerstädtischen Minderungen bezogen auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in den Prognosejahren 2020 und 2025 jeweils gegenüber der Trendentwicklung für den städtischen Wirkungsbereich und für NRW gesamt ausgewiesen.

Tab. 9.2: Minderungspotenziale für NRW gesamt sowie in den Wirkungsbereichen (jeweils bezogen auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs) gegenüber der Trendentwicklung in den Prognosejahren 2020 und 2025 für die innerstädtisch wirkenden Strategien zur Reduzierung der Verkehrsemissionen

Strategie	Wirkungsbereich	Minderungspotenzial ggü. der Trendentwicklung (Quellengruppe Straßenverkehr)				
		in NRW gesamt		im Wirkungsbereich		
		2020	2025	2020	2025	
V1.1	Förderung der Elektromobilität	NRW: IGO > AGO > BAB	-0,9%	-3,9%	-1,4%	-6,6%
	Modellstadt Elektromobilität	Bereich der Modellstadt	-1,4%	-8,1%	-2,8%	-18,0%
V1.3	Weitere Flottenverbesserung	Bereich der UZ	-7,2%	-4,9%	-55,1%	-37,1%
V2.1	Veränderung Modal Split Personennahverkehr	innerstädtisch	-1,6%	-3,4%	-4,1%	-8,9%
V2.4	Reduktion des innerstädtischen Verkehrs	Bereich der City-Maut	-4,1%	-3,9%	-27,0%	-27,0%
V3.1	Abbau von Stausituationen	Straßenzug	-0,4% <sup>(1)</sup>	-0,4% <sup>(1)</sup>	-11,4% <sup>(1)</sup>	-11,4% <sup>(1)</sup>
V3.2	Förderung von kraftstoffsparendem Fahren	NRW gesamt	-1,1%	-1,1%	-1,1%	-1,1%

<sup>(1)</sup> nur unter optimalen Bedingungen erreichbar

Es ist deutlich zu erkennen, dass z.B. die Maßnahme „Blaue Umweltzone“ (diese Maßnahme dominiert die Minderung der Strategie 1.3 im Straßenverkehr „Weitere Flottenverbesserung“) insbesondere innerstädtisch wirkt. In ihrem Wirkungsbereich kann sie im Jahr 2020 zu Minderungen der Emissionen von ca. 55 % führen. Im Jahr 2025 ist ihre Wirkung aufgrund der ohnehin stattfindenden Flottenentwicklung geringer, liegt aber immer noch bei ca. 37 %. Die City-Maut und die „Modellstadt Elektromobilität“ sind ebenfalls Maßnahmen, die in ihrem innerstädtischen Wirkungsbereich zu deutlich höheren Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen führen als gemittelt über NRW gesamt.

Die in Tab. 9.2 für die Strategie V3.1 (Abbau von Stausituationen) ausgewiesene Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen von 11,4 % für den Straßenzug kommt i.W. durch die Wirkung der Maßnahme V3.1.1 (Umweltsensitive Verkehrssteuerung, verkehrsadaptive Signalsteuerung) zustande. Die ausgewiesene hohe Wirkung dieser Maßnahme beruht auf einem Feldversuch in Graz. Sie ist im Einzelfall zu prüfen und kann nur unter optimalen Bedingungen für den betroffenen Streckenzug erzielt werden.

### 9.3 Potenziale zur Minderung der NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW

Analog zum Vorgehen zur Ermittlung der Reduktionen der NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung aufgrund der Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen für die Trendentwicklung (vergl. Kap. 8.3.1) wurden auch die Wirkungen der Strategien zur NO<sub>x</sub>-Minderung auf die NO<sub>2</sub>-



Hintergrundbelastung in NRW ermittelt. In Tab. 9.3, Tab. 9.4 und Tab. 9.5 sind die Auswirkungen der durch die betrachteten Strategien erzielbaren NO<sub>x</sub>-Emissionsminderungen auf die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW jeweils für die Gebiete NRW West, Rhein/Ruhr und NRW Ost für die Jahre 2020 und 2025 ausgewiesen. Dies betrifft die Strategien der Quellengruppe Verkehr (Straßenverkehr und Binnenschifffahrt) und der Quellengruppe Energieversorgung/Industrie. Die zusätzlich zum Trend im regionalen Hintergrund erreichbaren Immissionsminderungen sind überall gering, sie liegen für die einzelnen Strategien in der Größenordnung von bis zu 0,34 µg/m<sup>3</sup> bzw. bis zu 2 %.

Tab. 9.3: Wirkungen der betrachteten NO<sub>x</sub>-Minderungsstrategien auf die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW West im Vergleich zur Trendentwicklung

NRW West: regionale NO <sub>2</sub> -Hintergrundbelastung [µg/m <sup>3</sup> ]						
	2020	Diff ggü. Trend, abs.	Diff ggü. Trend, rel.	2025	Diff ggü. Trend, abs.	Diff ggü. Trend, rel.
Trend	12,02			10,23		
V1.1 Förderung der Elektromobilität	12,00	-0,02	-0,2%	10,16	-0,06	-0,6%
V1.2 Förderung alternativer Kraftstoffe	12,01	-0,01	-0,1%	10,21	-0,02	-0,2%
V1.3 Weitere Flottenverbesserung	11,85	-0,17	-1,4%	10,15	-0,08	-0,8%
V2.1 Veränderung des Modal Split im Personennahverkehr	11,98	-0,04	-0,3%	10,17	-0,05	-0,5%
V2.4 Reduktion des innerstädtischen Verkehrs	11,93	-0,10	-0,8%	10,16	-0,06	-0,6%
V3.1 Abbau von Stausituationen	12,01	-0,01	-0,1%	10,22	-0,01	-0,1%
V3.2 Förderung von kraftstoffsparendem Fahren	12,00	-0,03	-0,2%	10,21	-0,02	-0,2%
V3.3 Geschwindigkeitsbeschränkungen	11,86	-0,16	-1,3%	10,11	-0,11	-1,1%
V4.1 Flottenverbesserung (Binnenschiff)	12,00	-0,03	-0,2%	10,17	-0,06	-0,6%
V4.2 Alternative Kraftstoffe und Antriebe (Binnenschiff)	11,97	-0,05	-0,5%	10,17	-0,05	-0,5%
V4.3 Optimierung Fahrgeschwindigkeit (Binnenschiff)	12,00	-0,02	-0,2%	10,20	-0,03	-0,3%
IE 1.1 Primärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken	12,02			10,20	-0,03	-0,3%
IE 1.2 Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken	12,02			10,15	-0,08	-0,7%
IE 1.3 Energiewende	12,02			10,20	-0,03	-0,3%
IE 2.1 Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Industrieanlagen	12,02			10,19	-0,04	-0,4%
<b>gesamt</b>	<b>11,43</b>	<b>-0,60</b>	<b>-5,0%</b>	<b>9,58</b>	<b>-0,64</b>	<b>-6,3%</b>

Tab. 9.4: Wirkungen der betrachteten NO<sub>x</sub>-Minderungsstrategien auf die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung im Gebiet Rhein / Ruhr im Vergleich zur Trendentwicklung

<b>Rhein / Ruhr: regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung [µg/m<sup>3</sup>]</b>						
	<b>2020</b>	Diff ggü. Trend, abs.	Diff ggü. Trend, rel.	<b>2025</b>	Diff ggü. Trend, abs.	Diff ggü. Trend, rel.
Trend	17,25			14,19		
V1.1 Förderung der Elektromobilität	17,21	-0,04	-0,2%	14,06	-0,12	-0,9%
V1.2 Förderung alternativer Kraftstoffe	17,23	-0,03	-0,1%	14,15	-0,04	-0,3%
V1.3 Weitere Flottenverbesserung	16,92	-0,34	-2,0%	14,04	-0,15	-1,1%
V2.1 Veränderung des Modal Split im Personennahverkehr	17,18	-0,08	-0,4%	14,08	-0,11	-0,7%
V2.4 Reduktion des innerstädtischen Verkehrs	17,06	-0,19	-1,1%	14,06	-0,12	-0,9%
V3.1 Abbau von Stausituationen	17,23	-0,02	-0,1%	14,18	-0,01	-0,1%
V3.2 Förderung von kraftstoffsparendem Fahren	17,20	-0,05	-0,3%	14,15	-0,03	-0,2%
V3.3 Geschwindigkeitsbeschränkungen	16,94	-0,31	-1,8%	13,97	-0,22	-1,5%
V4.1 Flottenverbesserung (Binnenschiff)	17,19	-0,06	-0,4%	14,05	-0,14	-1,0%
V4.2 Alternative Kraftstoffe und Antriebe (Binnenschiff)	17,12	-0,13	-0,8%	14,06	-0,13	-0,9%
V4.3 Optimierung Fahrgeschwindigkeit (Binnenschiff)	17,20	-0,05	-0,3%	14,12	-0,07	-0,5%
IE1.1 Primärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken	17,25			14,12	-0,07	-0,5%
IE1.2 Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken	17,25			14,02	-0,17	-1,2%
IE1.3 Energiewende	17,25			14,13	-0,06	-0,4%
IE2.1 Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Industrieanlagen	17,25			14,11	-0,08	-0,6%
<b>gesamt</b>	<b>16,04</b>	<b>-1,22</b>	<b>-7,1%</b>	<b>12,82</b>	<b>-1,36</b>	<b>-9,6%</b>

Tab. 9.5: Wirkungen der betrachteten NO<sub>x</sub>-Minderungsstrategien auf die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW Ost im Vergleich zur Trendentwicklung

<b>NRW Ost: regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung [µg/m<sup>3</sup>]</b>						
	<b>2020</b>	Diff ggü. Trend, abs.	Diff ggü. Trend, rel.	<b>2025</b>	Diff ggü. Trend, abs.	Diff ggü. Trend, rel.
Trend	8,19			6,89		
V1.1 Förderung der Elektromobilität	8,17	-0,02	-0,2%	6,83	-0,06	-0,8%
V1.2 Förderung alternativer Kraftstoffe	8,18	-0,01	-0,1%	6,87	-0,02	-0,2%
V1.3 Weitere Flottenverbesserung	8,04	-0,15	-1,9%	6,82	-0,07	-1,0%
V2.1 Veränderung des Modal Split im Personennahverkehr	8,15	-0,03	-0,4%	6,84	-0,05	-0,7%
V2.4 Reduktion des innerstädtischen Verkehrs	8,10	-0,09	-1,1%	6,83	-0,06	-0,8%
V3.1 Abbau von Stausituationen	8,18	-0,01	-0,1%	6,88	-0,01	-0,1%
V3.2 Förderung von kraftstoffsparendem Fahren	8,17	-0,02	-0,3%	6,87	-0,02	-0,2%
V3.3 Geschwindigkeitsbeschränkungen	8,05	-0,14	-1,7%	6,79	-0,10	-1,4%
V4.1 Flottenverbesserung (Binnenschiff)	8,18	-0,01	-0,1%	6,87	-0,01	-0,2%
V4.2 Alternative Kraftstoffe und Antriebe (Binnenschiff)	8,17	-0,01	-0,2%	6,88	-0,01	-0,2%
V4.3 Optimierung Fahrgeschwindigkeit (Binnenschiff)	8,18	-0,01	-0,1%	6,88	-0,01	-0,1%
IE1.1 Primärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken	8,19			6,86	-0,03	-0,4%
IE1.2 Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken	8,19			6,82	-0,07	-1,1%
IE1.3 Energiewende	8,19			6,86	-0,03	-0,4%
IE2.1 Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Industrieanlagen	8,19			6,85	-0,04	-0,5%
<b>gesamt</b>	<b>7,72</b>	<b>-0,47</b>	<b>-5,7%</b>	<b>6,39</b>	<b>-0,50</b>	<b>-7,2%</b>

Die Gesamtwirkung auf die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung, die sich aus der Kombination aller Strategien ergibt (emissionsseitig in der letzten Zeile von Tab. 9.1 ausgewiesen), liegt zwischen -0,5 µg/m<sup>3</sup> (NRW Ost, 2020) und -1,2 µg/m<sup>3</sup> (Rhein/Ruhr, 2020). Die prozentualen Veränderungen bewegen sich zwischen -5 % und -10 %.

Der Grund dafür, dass die Wirkungen der NO<sub>x</sub>-Emissionsminderungen durch die betrachteten Strategien auf die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung so gering sind, ist Folgender: Von den Quellengruppen in NRW hat der Straßenverkehr den größten Einfluss auf die regionale Hintergrundbelastung (zwischen 28 % und 38 %, s Kapitel 3, Bild 3.22). Die Minderungsstrategien im Straßenverkehr wirken jedoch insbesondere innerstädtisch und damit nur gering im regionalen Hintergrund (s. Tab. 9.2). Die Emissionen aus dem Bereich Energieversorgung/Industrie, die durch die betrachteten Strategien auch in Summe für NRW deutlich gemindert werden (ca. -16 % in 2025, s. Tab. 9.1), haben nur einen geringen Anteil an der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung (ca. 5 %), so dass die höheren emissionsseitigen Minderungen immissionsseitig ebenfalls nur schwach wirken.

## **9.4 Potenziale zur Minderung der NO<sub>2</sub>-Immissionen an Belastungsschwerpunkten**

Wie in Abschnitt 9.2 dargestellt, wirken insbesondere die Strategien zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs deutlich stärker innerstädtisch und damit lokal an Belastungsschwerpunkten als in Summe für NRW. Daher sollen für die in Tab. 9.2 aufgeführten innerstädtisch wirkenden Strategien neben den Wirkungen auf die regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastungen auch die Wirkungen an einem innerstädtischen verkehrsbeeinflussten Belastungsschwerpunkt untersucht werden.

### **9.4.1 Beispiel: Corneliusstraße Düsseldorf**

Im Rahmen der Trendprognose wurden in Kap. 8.3.2 zwei Belastungsschwerpunkte betrachtet, die Gladbecker Straße in Essen und die Corneliusstraße in Düsseldorf. Da gemäß der Trendprognose an der Gladbecker Straße in Essen der Luftqualitätsgrenzwert für NO<sub>2</sub> bereits im Prognosejahr 2020 mit hoher Wahrscheinlichkeit eingehalten wird, werden die Minderungspotenziale der Strategien im Verkehrsbereich am Beispiel der Corneliusstraße in Düsseldorf beschrieben.

Die NO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale für die verkehrsbedingte lokale Zusatzbelastung, die in der Corneliusstraße durch die in Tab. 9.2 aufgelisteten Strategien erzielt werden können, wurden analog zur Trendprognose mit dem Screening-Verfahren ermittelt. Für die Belastung im städtischen Hintergrund wurde, ebenfalls analog zur Trendprognose, der Messwert der Hintergrundstation Düsseldorf Lörick angesetzt und für die betrachteten Strategien nach Tab. 9.4 (regionaler Hintergrund Rhein/Ruhr) gemindert. Die resultierenden städtischen NO<sub>2</sub>-

Hintergrundbelastungen und die Zusatzbelastungen durch den lokalen Kfz-Verkehr sind für die Prognosejahre 2020 und 2025 jeweils im Vergleich zum Trend in Bild 9.1 dargestellt.

Am lokalen Belastungsschwerpunkt sind die Wirkungen der betrachteten Minderungsstrategien auf die NO<sub>2</sub>-Belastung deutlich stärker als für den Hintergrund.

Im Jahr 2020 wird in der Trendprognose (NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert: 47 µg/m<sup>3</sup>) der Grenzwert an der Corneliusstraße noch nicht eingehalten. Die Strategie V1.3 (Weitere Flottenverbesserung, dominierende Maßnahme: „Blaue Umweltzone“) führt zu zusätzlichen Minderungen von knapp 13 µg/m<sup>3</sup> (davon 12 µg/m<sup>3</sup> durch die „Blaue Umweltzone“), so dass mit Realisierung dieser Strategie der Grenzwert mit großer Wahrscheinlichkeit einzuhalten ist.

Ansonsten kann nur durch die Kombination mehrerer Strategien wie z.B. V2.4 (Reduktion des innerstädtischen Verkehrs, dominierende Maßnahme: Einführung einer City Maut (vgl. Kap 9.2), Minderung der NO<sub>2</sub>-Immissionen um knapp 6 µg/m<sup>3</sup>) mit weiteren Strategien wie V3.1 Abbau von Stau (dominierende Maßnahme: umweltsensitive/verkehrsadaptive Verkehrssteuerung (vgl. Kap. 9.2), Minderung der NO<sub>2</sub>-Immissionen um ca. 2 µg/m<sup>3</sup>) die Einhaltung des Grenzwertes für 2020 erreicht werden.

Im Jahr 2025 kann bereits in der Trendprognose (NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert: 38 µg/m<sup>3</sup>) der Grenzwert eingehalten werden, durch die Strategien zur Minderung der Emissionen des Straßenverkehrs können noch zusätzliche Minderungen von bis zu 7 µg/m<sup>3</sup> (bei Strategie V1.3) erzielt werden. Durch Kombination aller betrachteten Maßnahmen kann 2025 ein NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert von 23 µg/m<sup>3</sup> erreicht werden.

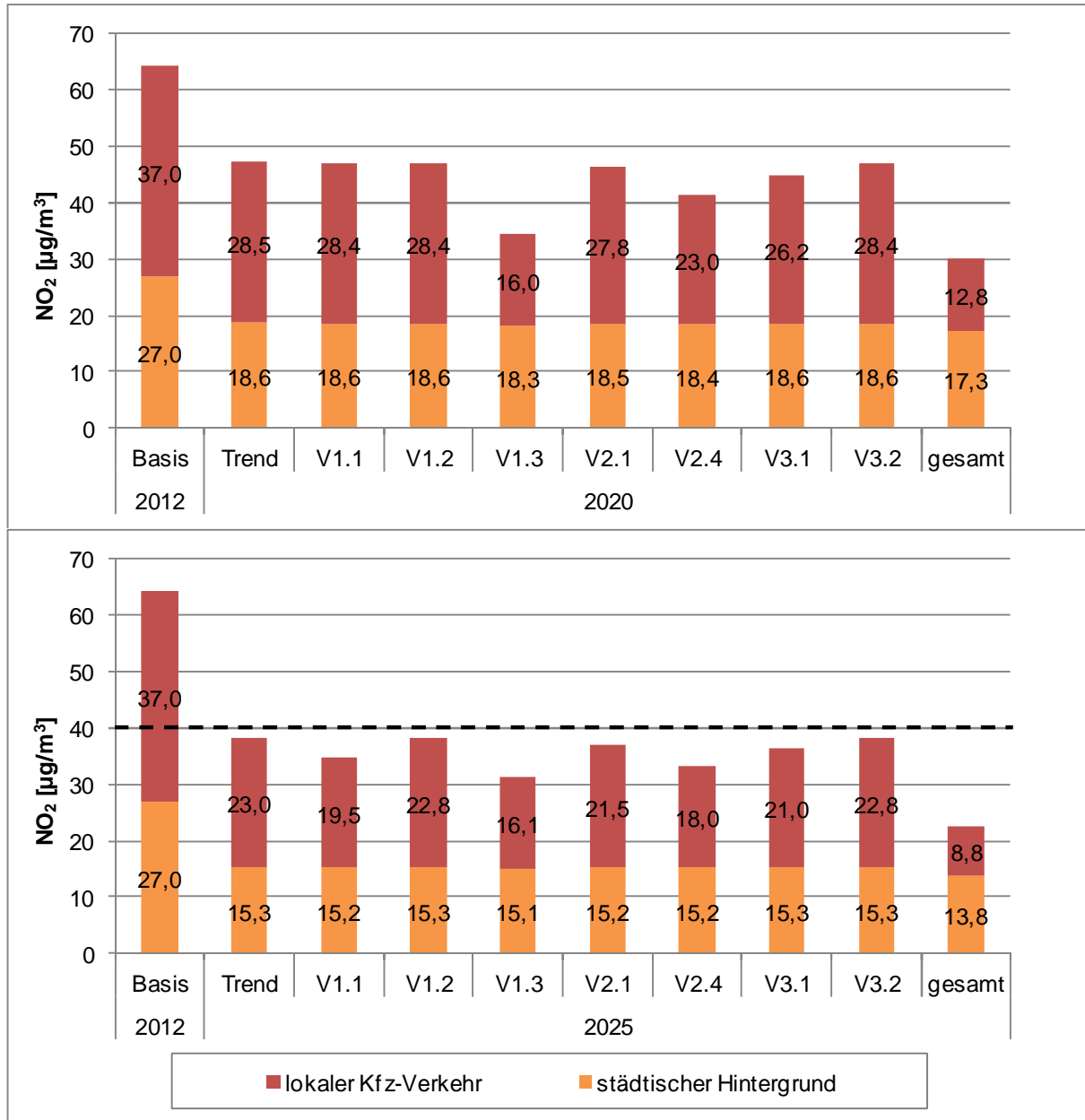


Bild 9.1: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte 2012 sowie Trendprognosen für 2020 und 2025 im Vergleich mit den Wirkungen der Strategien aus Tab. 9.2 am Beispiel des verkehrsbeeinflussten Belastungsschwerpunktes Corneliusstraße in Düsseldorf

### 9.4.2 Grobabschätzung: Extrapolation auf alle Verkehrsmessstationen in NRW für Strategie V1.3

Analog zu Kap. 8.3.3 für die Trendprognose wird im Folgenden eine grobe Schätzung durchgeführt, wie sich die Strategie V1.3 (weitere Flottenverbesserung, Maßnahme mit höchstem Minderungspotenzial: Umweltzone Blau) auf die Anzahl der Verkehrsmessstationen mit Grenzwertüberschreitungen in NRW auswirkt.

Wie schon in Bild 8.5 sind in Bild 9.2 die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte aller Verkehrsmessstationen in NRW 2014 /UBA 2015c/ sortiert nach Größe sowie die Trendprognosen für 2020 und 2025 dargestellt. Zusätzlich dargestellt ist in Bild 9.2 die analog abgeleitete Grobschätzung für 2020 bei Umsetzung der Strategie V1.3. Außerdem ist wieder der Luftqualitätsgrenzwert für den Jahresmittelwert von NO<sub>2</sub> (40 µg/m<sup>3</sup>) eingetragen.

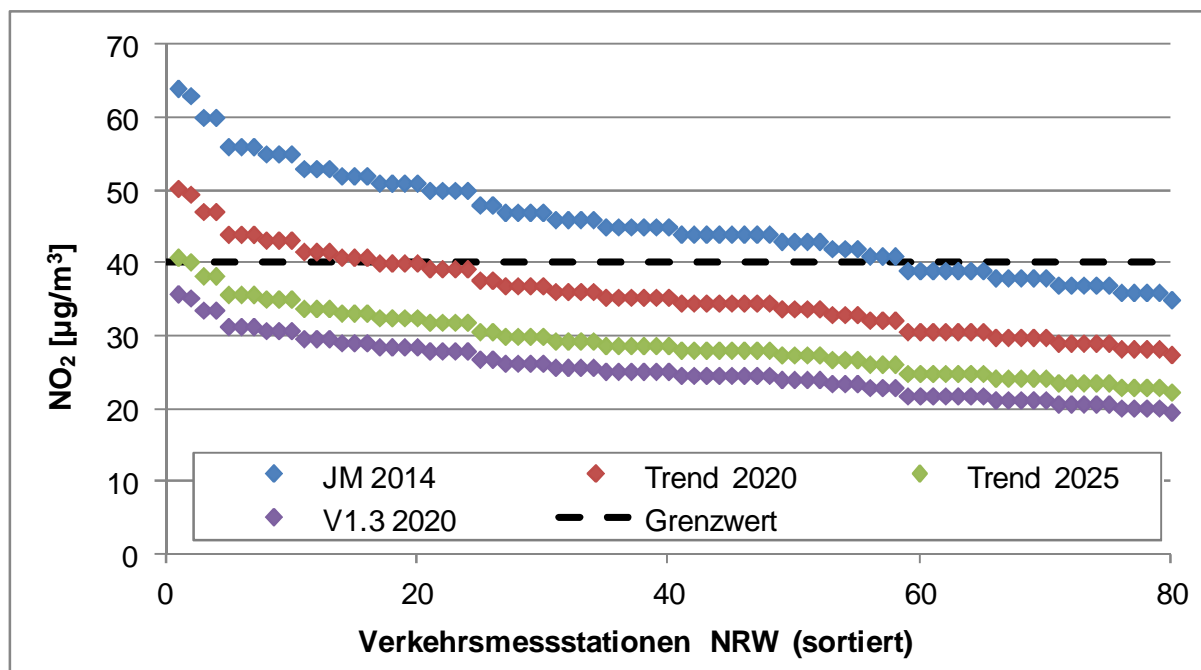


Bild 9.2: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte aller Verkehrsmessstationen in NRW 2014 (Quelle: /UBA 2015c/) sortiert nach Größe, sowie Grobschätzung für die Trendprognose (2020 und 2025) und Umsetzung der Strategie V1.3 für 2020

Während ohne zusätzliche Maßnahmen erst im Jahr 2025 an nahezu allen Luftqualitätsstationen in NRW der Grenzwert für den Jahresmittelwert von NO<sub>2</sub> eingehalten werden kann, wird aus heutiger Sicht erwartet, dass durch Einführung von Blauen Umweltzonen bereits im Jahr 2020 der Grenzwert überall eingehalten werden kann.

## 9.5 Auswirkungen auf die NO<sub>2</sub>-Immissionsbelastung außerhalb von NRW

Im Folgenden wird abgeschätzt, wie sich die Emissionsminderungen der betrachteten Strategien auf die NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung außerhalb von NRW auswirken. Dazu wird auf die Modellrechnung mit LOTOS-EUROS zum Export von Stickstoffoxiden aus NRW zurückgegriffen (s. Kapitel 3, Bild 3.24).

Diese Modellrechnung zeigt, dass NRW in alle Himmelsrichtungen Stickstoffoxide exportiert, jedoch entsprechend der vorherrschenden Windrichtung vornehmlich in Richtung Nordosten (Niedersachsen). In einem Bereich bis ca. 40 km Entfernung von NRW tragen die NO<sub>x</sub>-

Emissionen aus NRW ca. 20 % zur dortigen regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung bei, im Bereich bis ca. 100 km Entfernung sind es noch ca. 10 %.

In der Modellrechnung wurde nicht nach den unterschiedlichen Quellengruppen differenziert, sondern der Einfluss des NRW-Exports wurde für die Summe aller Emissionen bestimmt. Mangels weiterer Differenzierungsmöglichkeit wird unterstellt, dass die Anteile der einzelnen Quellengruppen zur NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung außerhalb von NRW denen der NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW entsprechen.

Mit diesen Annahmen können für die Minderungspotenziale der betrachteten Strategien nach Tab. 9.1 die resultierenden prozentualen Minderungen der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung außerhalb von NRW im Bereich bis 40 km und bis 100 km Entfernung grob abgeschätzt werden.

Für die Strategien im Verkehrssektor liegen diese Minderungen jeweils im Bereich von unter einem Prozent. Bei der Energieversorgung/Industrie können insgesamt Minderungen der NO<sub>2</sub>-Immissionen außerhalb von NRW im Bereich bis 40 km von ca. 3 % erreicht werden.

Durch Kombination aller Strategien aller Quellengruppen kann die regionale NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung außerhalb von NRW im Bereich bis 40 km Entfernung im Prognosejahr 2025 insgesamt um ca. 4 % gemindert werden.

## 9.6 Bewertung der Minderungspotenziale

Wie die Ausführungen in den vorherigen Kapiteln gezeigt haben, unterscheiden sich die betrachteten Quellengruppen im Hinblick auf die räumliche Emissionsstruktur deutlich, insbesondere die beiden größten Quellengruppen:

- Im Bereich Energieversorgung/Industrie werden die Emissionen von wenigen großen Emittenten, insbesondere von Braunkohlekraftwerken, dominiert: Knapp die Hälfte der Emissionen aus der Energieversorgung werden von nur elf Anlagen freigesetzt. Hier kann durch wenige Maßnahmen (Nachrüsten oder Abschalten einzelner Anlagen) eine große Einsparung erreicht werden.
- Im Bereich Straßenverkehr werden die Emissionen durch viele einzelne Fahrzeuge freigesetzt, die sich in Otto- und Dieselfahrzeuge, in Pkw, leichte und schwere Nutzfahrzeuge unterschiedlicher Euronorm-Stufen aufteilen. Maßnahmen zur Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen wirken zudem häufig räumlich begrenzt, z.B. auf Autobahnen oder in Ballungsräumen. Durch einzelne Maßnahmen können in Summe für NRW deshalb jeweils nur geringe Minderungen der Emissionen erzielt werden.

Hinzu kommt, dass die betrachteten Quellengruppen auf unterschiedliche Weise zur NO<sub>2</sub>-Belastung im regionalen Hintergrund sowie an Belastungsschwerpunkten in NRW beitragen. Maßnahmen zur Reduktion der NO<sub>x</sub>-Emissionen wirken sich entsprechend unterschiedlich

aus. Nichtsdestotrotz sollten in allen Bereichen parallel Anstrengungen zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen unternommen werden.

Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, die Maßnahmen für die betrachteten Quellengruppen zunächst nur jeweils innerhalb der Quellengruppen zu vergleichen.

In Tab. 9.6 sind die Ergebnisse zu allen betrachteten Strategien und Maßnahmen, die hinsichtlich ihrer Wirkung auf die NO<sub>x</sub>-Emissionen quantifiziert werden konnten, in einer Ergebnismatrix zusammengefasst. Angegeben ist jeweils

- die **absolute** NO<sub>x</sub>-Minderung in Tonnen durch die Maßnahme zusätzlich zum Trend in den Jahren 2020 und 2025 in **Summe für NRW**,
- die **prozentuale** NO<sub>x</sub>-Minderung durch die Maßnahme zusätzlich zum Trend in den Jahren 2020 und 2025, jeweils als Anteil an Emissionen der Quellengruppe, in **Summe für NRW**,
- die **prozentuale** NO<sub>x</sub>-Minderung durch die Maßnahme zusätzlich zum Trend in den Jahren 2020 und 2025, jeweils als Anteil an Emissionen der Quellengruppe im **Wirkungsbereich** der Maßnahme (nur für die Emissionen des Straßenverkehrs, da nur noch an verkehrsbeeinflussten Luftqualitätsstationen Grenzwertüberschreitungen auftreten),
- die **NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten** (qualitativ: niedrig, mittel, hoch),
- der technologische und der rechtliche **Horizont** sowie
- die Wirkung der Maßnahmen auf die **Partikelemissionen**, auf das **Klima** und auf die **Lärmemissionen**.

Des Weiteren enthält die Matrix auch eine Rangreihung für die einzelnen Maßnahmen, die unter Berücksichtigung

1. der erzielbaren Emissionsminderung im Vergleich zu den gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen NRW,
2. der erzielbaren Emissionsminderung im Vergleich zu den NO<sub>x</sub>-Emissionen im städtischen Wirkungsbereich der jeweiligen Maßnahmen und
3. der erzielbaren Reduktion an der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung

abgeleitet wurde. Von den berücksichtigten Größen beziehen sich zwei (Größe 1 und Größe 3) auf die Minderung in der Fläche und nur eine (Größe 2) auf die Minderung innerstädtisch am Belastungsschwerpunkt. Damit die Wirkung am Belastungsschwerpunkt, die für die Einhaltung der Luftqualitätsgrenzwerte besonders wichtig ist, nicht unterrepräsentiert wird, wurde Größe 2 in der kombinierten Rangreihung doppelt gewichtet.

Es wurde hierbei ausschließlich das Jahr 2025 betrachtet, damit auch die Maßnahmen, die einen längerfristigen Zeithorizont haben, in geeigneter Weise berücksichtigt werden können.

Im Folgenden werden zunächst die quantifizierten Maßnahmen innerhalb der einzelnen Quellengruppen verglichen. Eine zusammenfassende Bewertung schließt sich dann in Abschnitt 9.6.4 an.



Strategie	Kürzel	Maßnahme (wenn einzeln quantifizierbar) oder betrachtete Variante	NO <sub>x</sub> -Min ggü. Trend in t 2020	NO <sub>x</sub> -Min ggü. Trend in t 2025	NO <sub>x</sub> -Min ggü. Trend 2020, Anteil an Emissionen der Quellengruppe	NO <sub>x</sub> -Minderung bezogen auf NRW gesamt 2025	NO <sub>x</sub> -Min ggü. Trend 2025, Anteil an Emissionen der Quellengruppe	NO <sub>x</sub> -Min ggü. Trend im städtischen Wirkungsbereich 2020, Anteil an Emissionen der Quellengruppe	NO <sub>x</sub> -Min ggü. Trend im städtischen Wirkungsbereich 2025, Anteil an Emissionen der Quellengruppe	Minderung NO <sub>2</sub> Immission HG NRW Rhein/Ruhr 2025	NO <sub>x</sub> -Vermeidungskosten	Horizont technologisch	Horizont rechtlich	Wirkung auf PM	Wirkung auf Klima	Wirkung auf Lärm	Rang-reihung bezügl. Wirksamkeit gesamt
<b>Verkehr (V)</b>																	
<b>Straßenverkehr</b>																	
1.1 Förderung der Elektromobilität	V1.1	1.1.1 und 1.1.2: Variante 1: Zielvereinbarung erreicht, 100% BEV (Battery Electric Vehicle)	343	1.051	-0,9%	-0,47%	-3,9%	-1,4%	-6,6%	-0,9%	hoch	verfügbar	keine Änderung erforderlich	positiv	positiv / neutral	positiv	4
		1.1.1 und 1.1.2: Variante 2: Zielvereinbarung erreicht, 25% BEV (Battery Electric Vehicle), Rest: Hybride	95	282	-0,2%	-0,13%	-1,1%	-0,4%	-1,9%	-0,2%							10
		1.1.3 Entwicklung Modellstadt "Elektromobilität", Maximalabschätzung: alle Städte in NRW Modellstädte	551	2.160	-1,4%	-0,97%	-8,1%	-2,8%	-18,0%	-1,8%							1
1.2 Förderung alternativer Kraftstoffe	V1.2	1.2.1 Förderung der Marktentwicklung durch monetäre Anreize	215	313	-0,5%	-0,14%	-1,2%	-0,5%	-1,2%	-0,2%	hoch	verfügbar	keine Änderung erforderlich	positiv	positiv / neutral	positiv	13
		1.2.2 Entwicklung einer Modellstadt "Erdgasmobilität"															
1.3 Weitere Flottenverbesserung	V1.3	1.3.1 Einführung einer Umweltzone blau	2.405	1.013	-6,1%	-0,46%	-3,8%	-55,1%	-37,1%	-0,6%	niedrig	verfügbar	Änderung 35. BImSchV durch Bund	positiv	neutral	neutral	2
		1.3.3 Steuerliche Maßnahmen	463	281	-1,2%	-0,13%	-1,1%	-1,2%	-1,1%	-0,2%			Diessel- / Dienstwagenbesteuerung durch Bund	positiv	positiv / neutral	neutral	20
		2.1.1 Förderung Car Sharing	40	45	-0,1%	-0,02%	-0,2%	-0,1%	-0,2%	0,0%			mittel	verfügbar	Privilegierung	positiv	positiv
2.1 Veränderung des Modal Split im Personennahverkehr	V2.1	2.1.2 Förderung Fahrradverleihsysteme	615	850	-1,5%	-0,38%	-3,2%	-4,0%	-8,7%	-0,5%	mittel	verfügbar	keine Änderung erforderlich	positiv	positiv	positiv	5
		2.1.3 Ausbau Radwegenetz															
		2.1.4 Förderung einer „Modellstadt Radverkehr“ nach Kopenhagener Vorbild															
		2.2.1 Ausbau Schieneninfrastruktur															
2.4 Reduktion des innerstädtischen Verkehrs	V2.4	2.4.1 Reduktion des Parksuchverkehrs	200	138	-0,5%	-0,06%	-0,5%	-1,3%	-1,4%	-0,1%	mittel	car2car, car2x noch nicht verfügbar	keine Änderung erforderlich	positiv	positiv	positiv	18
		2.4.2 Einführung einer City-Maut in großen Ballungsräumen	1.426	915	-3,6%	-0,41%	-3,4%	-27,0%	-27,0%	-0,5%	hoch	verfügbar	Bundesländer zuständig	positiv	positiv	positiv	3
3.1 Abbau von Stausituationen	V3.1	3.1.1 Umweltsensitive Verkehrssteuerung, verkehrsadaptive Signalsteuerung	64	38	-0,16%	-0,02%	-0,14%	-10,0%	-10,0%	0,0%	mittel	verfügbar	keine Änderung erforderlich	positiv	positiv	neutral	14
		3.1.3 Lkw-Führungskonzepte	28	19	-0,07%	-0,01%	-0,07%	-0,2%	-0,2%	0,0%	mittel	verfügbar	keine Änderung erforderlich	positiv	neutral	neutral	25
		3.1.4 Mobilitätsslots	62	40	-0,16%	-0,02%	-0,15%	-1,2%	-1,2%	0,0%	mittel	verfügbar	keine Änderung erforderlich	positiv	positiv	positiv	22
		3.1.5 Verkehrszentrale NRW, Ausbau Netz- und Streckenbeeinflussung, temporäre Seitenstreifenfreigabe	3	2	-0,01%	0,00%	-0,01%	0,0%	0,0%	0,0%	mittel	verfügbar	keine Änderung erforderlich	positiv	positiv	positiv	28
		3.1.6 Bauliche Kapazitätsvergrößerung von BAB	10	7	-0,02%	0,00%	-0,03%	0,0%	0,0%	0,0%	hoch	verfügbar	keine Änderung erforderlich	positiv	positiv	gering	27
		3.2.1 Verstärkte Verankerung in der Fahrausbildung	429	295	-1,1%	-0,13%	-1,1%	-1,1%	-1,1%	-1,1%	-0,2%	gering	verfügbar	keine Änderung erforderlich	positiv	positiv	gering
3.2.2 Förderung von Spritsparkursen																	
3.2.3 Informationskampagnen																	
3.3 Geschwindigkeitsbeschränkungen	V3.3	3.3.1, Variante 1: Generelle Geschwindigkeitsbeschränkung auf Autobahnen 120 km/h	1.778	1.258	-4,5%	-0,57%	-4,7%	keine Betrachtung im Wirkungsbereich		-0,7%	gering	verfügbar	Änderung StVO (Bund)	positiv	positiv	positiv	8
		3.3.1, Variante 2: Generelle Geschwindigkeitsbeschränkung auf Autobahnen 100 km/h	2.628	1.859	-6,6%	-0,84%	-7,0%	keine Betrachtung im Wirkungsbereich		-1,1%	gering	verfügbar	Änderung StVO (Bund)	positiv	positiv	positiv	7
<b>Schiffsverkehr</b>																	
4.1 Flottenverbesserung	V4.1	4.1.1 Förderung Nachrüstung von Motoren	414	661	-2,1%	-0,30%	-4,2%	keine Betrachtung im Wirkungsbereich		-0,4%	gering	verfügbar	Förderprogramm des Bundes vorhanden	positiv	positiv	neutral	16
		4.1.2 Förderung Austausch / Einbau von emissionsärmeren Motoren	59	378	-0,3%	-0,17%	-2,4%			-0,2%	mittel	verfügbar	Förderprogramm des Bundes vorhanden	positiv	positiv	neutral	21
4.2 Alternative Kraftstoffe und Antriebe	V4.2	4.2.1 Förderung von Kraftstoff-Wasser-Emulsionen (KWE)	177	283	-0,9%	-0,13%	-1,8%			-0,1%	mittel	verfügbar	Förderprogramm des Bundes vorhanden	positiv	positiv	neutral	23
		4.2.2 Förderung von LNG-Einsatz	830	705	-4,2%	-0,32%	-4,5%			-0,4%	mittel	verfügbar	Förderprogramm des Bundes vorhanden	positiv	positiv	neutral	16
4.3 Optimierung Fahrgeschwindigkeit	V4.3	4.3.1 Förderung eines Programms analog zu "Smart Steaming"	394	511	-2,0%	-0,23%	-3,3%			-0,3%	gering	verfügbar	rechtliche Voraussetzung zur verpflichtenden Einführung von IT-gestützten Hilfsmitteln sind zu prüfen	positiv	positiv	neutral	19
		4.3.2 Förderung von IT-gestützten Systemen zur Optimierung der Geschwindigkeit und Reiseplanung															
<b>Industrie und Energieversorgung (IE)</b>																	
<b>Energieversorgung</b>																	
1.1 Primärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken	IE1.1	1.1.1 Prüfen, inwieweit bei Kraftwerken, welche in Betrieb sind, bereits verbrennungstechnische Primärmaßnahmen ausgeschöpft werden.	keine Wirkung in 2020	8.072	keine Wirkung in 2020	-3,64%	-5,7%	keine Betrachtung im Wirkungsbereich	-0,3%	anlagenabhängig	verfügbar	länderspezifische Regelung oder Änderung 13. BImSchV	neutral / positiv	neutral / positiv	neutral	11	
		1.1.2 Bei vorübergehend stillgelegten Kraftwerken prüfen, inwieweit durch verbrennungs- und feuerungstechnische Primärmaßnahmen eine NO <sub>x</sub> -Minderung erzielt werden kann, bevor diese wieder in Betrieb genommen werden.															29
		1.1.3 Bei Kraftwerken, welche künftig in Betrieb genommen werden, einen strengen Maßstab bezüglich der besten verfügbaren Technik (BVT) fordern.															29
1.2 Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken	IE1.2	1.2.1 Prüfen, bei welchen Kraftwerken, welche in Betrieb sind oder vorläufig stillgelegt wurden, sich eine nachträgliche Integration eines SCR/SNCR wirtschaftlich lohnt.	keine Wirkung in 2020	19.638	keine Wirkung in 2020	-8,86%	-14,0%	keine Betrachtung im Wirkungsbereich	-0,7%	anlagenabhängig	verfügbar	länderspezifische Regelung oder Änderung 13. BImSchV	neutral / positiv	neutral / positiv	neutral	6	
		1.2.2 Bei Kraftwerken, welche künftig in Betrieb genommen werden, einen strengen Maßstab bezüglich der besten verfügbaren Technik (BVT) fordern.															
1.3 Energiewende	IE1.3	1.3.1 Ausbau erneuerbarer Energien	keine Wirkung in 2020	7.135	keine Wirkung in 2020	-3,22%	-5,1%	keine Betrachtung im Wirkungsbereich	-0,3%	hoch	verfügbar	Bundesgesetz oder länderspez. Regelung	positiv	positiv	neutral	12	
<b>Industrie</b>																	
2.1 Prüfen von Primärmaßnahmen und Anwendung von Sekundärmaßnahmen bei Industrieanlagen	IE2.1	2.1.2 Sekundärmaßnahmen bei Industrieanlagen	keine Wirkung in 2020	9.347	keine Wirkung in 2020	-4,22%	-6,6%	keine Betrachtung im Wirkungsbereich	-0,4%	anlagenabhängig	verfügbar	Änderung 4. BImSchV durch Bund oder länderspezifische Regelung	neutral / positiv	neutral / positiv	neutral	8	

Tab. 9.6: Vergleichende Betrachtung der Strategien und quantifizierten Maßnahmen, sortiert nach Quellengruppen

### 9.6.1 Maßnahmen zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Quellengruppe Straßenverkehr

Für die Quellengruppe Straßenverkehr wurde eine Reihe von Strategien und Maßnahmen untersucht. Die drei Maßnahmen, die in NRW gesamt zu den höchsten NO<sub>x</sub>-Emissionsminderungen führen, sind im Folgenden aufgelistet:

- Durch die Strategie der Förderung der Elektromobilität können bis zum Jahr 2020 nur geringe Emissionsminderungen erzielt werden, da der Anteil von Elektrofahrzeugen an der Fahrleistung noch relativ gering sein wird. Für den Fall, dass die Zielvereinbarung von 750.000 Elektrofahrzeugen im Jahr 2025 im Bestand erreicht werden kann, ergibt sich im Jahr 2025 eine NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung von ca. 1.051 t, vorausgesetzt, es handelt sich um 100 % reine Elektrofahrzeuge. Hybridfahrzeuge bringen für die Luftreinhaltung nach heutigem Wissensstand keine signifikanten Vorteile. Unter der Annahme, dass zusätzlich alle Städte in NRW zu „Modellstädten Elektromobilität“ ausgebaut werden, können im Jahr 2015 NO<sub>x</sub>-Emissionsminderungen von ca. 2.160 t erreicht werden (Maximalabschätzung).
- Durch die Einführung von „Blauen Umweltzonen“ in allen Gebieten, in denen es bereits heute Umweltzonen gibt, können im Jahr 2020 ca. 2.400 t und im Jahr 2025 ca. 1.000 t NO<sub>x</sub> gegenüber der Trendentwicklung vermieden werden. Dies entspricht ca. 6 % (2020) bzw. knapp 4 % (2025) der Emissionen der Quellengruppe Straßenverkehr. Bei der „Blauen Umweltzone“ wirkt insbesondere die Aussperrung der Dieselfahrzeuge weiter emissionsmindernd. Die NO<sub>x</sub>-Emissionsminderungen ergeben sich genau in den innerörtlichen Gebieten, in denen die hohen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen gemessen werden.
- Hohe Minderungen für NRW gesamt können auch durch Tempolimits auf Autobahnen erzielt werden: Durch ein Tempolimit von 100 km/h auf Autobahnen in NRW können im Jahr 2020 (2025) gegenüber der Trendentwicklung Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen von ca. 2.630 t (ca. 1.860 t) erzielt werden, das entspricht jeweils ca. 7 % der Emissionen der Quellengruppe Straßenverkehr in diesen Jahren. Bei einem Tempolimit von 120 km/h auf Autobahnen in NRW liegen die erreichbaren Minderungen unter 5 %. Im Hinblick auf die hohen NO<sub>2</sub>-Konzentrationen, die überwiegend an innerörtlichen hochbelasteten Straßen gemessen werden, werden die Wirkungen dieser Maßnahme dort keinen relevanten Einfluss haben.

Die Wirkungen der durch diese Maßnahmen erreichbaren Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen auf die NO<sub>2</sub>-Konzentration im regionalen Hintergrund innerhalb wie auch außerhalb von NRW sind gering.

Die betrachteten Maßnahmen betreffen i.d.R. einen räumlich begrenzten Bereich und wirken dort stärker als in Summe für NRW. Da sich alle Luftqualitätsmessstationen in NRW, die Grenzwertüberschreitungen aufweisen, an verkehrsbeeinflussten Standorten befinden, wurden zusätzlich die Wirkungen der innerstädtischen Maßnahmen innerhalb ihres

jeweiligen Wirkungsbereiches untersucht. Dort lassen sich mit folgenden Maßnahmen die höchsten Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen erzielen:

- Die Einführung einer „Umweltzone blau“ führt im Bereich der Umweltzone zu Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs von ca. 55 % im Jahr 2020. Im Jahr 2025, wenn durch die natürliche Entwicklung der Anteil von Euro 6 Fahrzeugen in der Flotte ohnehin höher ist, beträgt die Minderung immerhin noch ca. 37 %.
- Die Einführung einer City-Maut führt innerhalb des bemauteten Bereiches im Jahr 2020 zu Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen von ca. 27 %. Da dies durch eine Minderung der Fahrleistung des Kfz-Verkehrs erzielt wird, ergibt sich die gleiche Minderung für das Jahr 2025.
- In einer „Modellstadt Elektromobilität“ können im Jahr 2025 die NO<sub>x</sub>-Emissionen um ca. 18 % gemindert werden.
- Durch umweltsensitive Verkehrssteuerungen bzw. verkehrsadaptive Signalsteuerungen lassen sich an einzelnen Straßenzügen in den Jahren 2020 und 2025 Minderungen von ca. 10 % gegenüber der Trendentwicklung erreichen. Dies setzt jedoch optimale Verhältnisse voraus und ist keinesfalls auf alle hoch belasteten Straßenzüge übertragbar (ist im Einzelfall zu prüfen).
- Durch Veränderungen des Modal Split im Personennahverkehr (durch Förderung des Rad- und Fußverkehrs, des Car Sharing, und des ÖPNV) können innerstädtisch ebenfalls Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs von knapp 10 % gegenüber der Trendentwicklung erreicht werden.

Immissionsseitig wurde eine Abschätzung der Wirksamkeit der Maßnahmen für den Belastungsschwerpunkt Corneliusstraße in Düsseldorf durchgeführt. Die einzige Einzelmaßnahme, durch die im Jahr 2020 die hier noch prognostizierte Grenzwertüberschreitung abgebaut werden kann, ist die Einführung einer „Umweltzone blau“. Eine grobe Extrapolation auf die anderen Verkehrsstationen in NRW ergibt, dass dies voraussichtlich auch für die übrigen Verkehrsstationen mit Grenzwertüberschreitungen in NRW gilt.

Sowohl die Einführung von Tempolimits auf Autobahnen wie auch die einer „Umweltzone blau“ weisen geringe NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten auf. Es sind keine neuen Technologien erforderlich, die Wirkung auf Partikel- und CO<sub>2</sub>-Emissionen ist positiv, durch Tempolimits werden die Lärmemissionen ebenfalls reduziert. Zum Abbau von NO<sub>2</sub>-Grenzwertüberschreitungen ist aber die Maßnahme „Blaue Umweltzone“ besonders geeignet, da diese vornehmlich innerstädtisch wirkt.

Zur rechtlichen Umsetzung müssten die Straßenverkehrsordnung (Tempolimits) bzw. die 35. BImSchV (blaue Umweltzone) angepasst werden. Beides liegt im Verantwortungsbereich des Bundes, NRW könnte hier auf entsprechende Änderungen hinwirken.

Vergleichbar starke Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen im innerstädtischen Bereich und damit Verbesserungen der Luftqualität am Belastungsschwerpunkt wie durch die verschärfte (blaue) Umweltzone lassen sich z.B. auch durch die folgende Kombination von Maßnahmen erreichen:

- City-Maut (Reduktion von Kfz-Fahrleistung),
- Förderung Radverkehr, Ausbau der Stadt zur „Fahrrad-Modellstadt“,
- Förderung von Car-Sharing,
- Bau moderner Stadtbahnen/Förderung ÖPNV (jeweils Veränderung des Modal Split),
- Abbau von Stausituationen (auch als Folge der oben genannten Maßnahmen)

Wichtig ist hier vor allem die Kombination von Einzelmaßnahmen aus der Strategie „Veränderung des Modal Split im Personennahverkehr“ (Förderung Car Sharing, Radverkehr, ÖPNV, ...).

Für die oben genannten Kombinationen sind die Umsetzungskosten i.d.R. deutlich höher als für die „Umweltzone blau“, jedoch sind hier die Kosten (wie für die Energiewende) nicht in vollem Umfang der NO<sub>x</sub>-Minderung zuzurechnen.

### **9.6.2 Maßnahmen zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Quellengruppe Binnenschiffsverkehr**

Wie die Untersuchungen zur Wirkung einer Veränderung des Modal Split beim Güterverkehr von der Straße zu Schiene und Binnenschiff (s. Kapitel 5) gezeigt haben, führt eine solche Maßnahme bei der prognostizierten Trendentwicklung für die Emissionen des Schiffsverkehrs zwar zu Einsparungen bei CO<sub>2</sub>, jedoch nicht bei NO<sub>x</sub>. Dies liegt daran, dass die spezifischen transportleistungsbezogenen NO<sub>x</sub>-Emissionen im Binnenschiffsverkehr besonders hoch sind und im Vergleich zum Straßengüterverkehr in der Trendprognose deutlich langsamer zurückgehen. Gerade bei der Binnenschiffahrt sind daher zusätzliche Maßnahmen zur Reduktion der Emissionen erforderlich, um im Sinne einer Erhöhung der Transportleistungsanteile positiv zu wirken.

Zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Quellengruppe Schiffsverkehr wurden Strategien zur Verbesserung der Schiffsflotte, zur Einführung alternativer Antriebe und Kraftstoffe sowie zur Optimierung der Fahrgeschwindigkeit betrachtet. Folgende drei Maßnahmen weisen die höchsten Minderungspotenziale auf:

- Durch den Einsatz von LNG (Liquid Natural Gas) als Treibstoff können im Jahr 2020 830 t und im Jahr 2025 705 t NO<sub>x</sub> zusätzlich zur Trendentwicklung eingespart werden. Dies entspricht ca. 4 % der Emissionen der Quellengruppe Binnenschiffsverkehr.
- Durch die Nachrüstung von Motoren mit NO<sub>x</sub>-Minderungsanlagen können im Jahr 2020 414 t und im Jahr 2025 661 t NO<sub>x</sub> zusätzlich zur Trendentwicklung eingespart werden. Dies entspricht ca. 2 % (2020) bzw. ca. 4 % (2025) der Emissionen der Quellengruppe Binnenschiffsverkehr.
- Durch Maßnahmen zur Optimierung der Fahrgeschwindigkeit können im Jahr 2020 394 t und im Jahr 2025 511 t NO<sub>x</sub> zusätzlich zur Trendentwicklung vermindert werden. Dies entspricht ca. 2 % (2020) bzw. ca. 3 % (2025) der Emissionen der Quellengruppe Binnenschiffsverkehr.

Die Wirkungen der durch diese Strategien erreichbaren Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen auf die NO<sub>2</sub>-Konzentration im regionalen Hintergrund innerhalb wie auch außerhalb von NRW sind gering, aber vorhanden.

Die NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten liegen im mittleren Bereich, die Nachrüstung bestehender Motoren ist günstiger als der Austausch, andererseits kann der Austausch auch zu Kraftstoffeinsparungen führen. Welche Option im Einzelfall am besten ist, hängt individuell vom betrachteten Schiff ab. Die Kosten für Förderprogramme zu intelligenter Fahrweise („Smart Steaming“) und für die Förderung von IT-gestützten Systemen zur Optimierung der Fahrgeschwindigkeit werden als niedriger eingeschätzt.

Die Technologie ist verfügbar, die Wirkung auf Partikel-Emissionen ist überall positiv, auf die Lärmemissionen ergeben sich nur positive Auswirkungen beim Einbau moderner Motoren. Durch den Einsatz von LNG sowie durch Optimierung der Fahrgeschwindigkeit, ggf. auch bei Austausch von Motoren, ergeben sich auch positive Wirkungen auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen.

Förderprogramme des Bundes zur Nachrüstung vorhandener Motoren, zum Austausch von Motoren und zum Einbau besonders emissionsarmer Motoren beim Neubau von Binnenschiffen sind vorhanden, die Inanspruchnahme kann jedoch noch forciert werden. Die rechtlichen Voraussetzungen zur verpflichtenden Einführung von IT-gestützten Hilfsmitteln bei der Optimierung der Fahrgeschwindigkeit sind zu prüfen.

### **9.6.3 Maßnahmen zur Minderung der NO<sub>x</sub>-Emissionen der Quellengruppe Energieversorgung und Industrie**

Im Bereich Energieversorgung sind aufgrund der Langlebigkeit der Anlagen Wirkungen von Minderungsstrategien eher längerfristig zu erwarten. Betrachtet wurden daher für das Jahr 2025 die Strategien

- Primärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken,
- Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken,
- Energiewende,
- Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Industrieanlagen.

Primärmaßnahmen sind vergleichsweise günstig umzusetzen und wirken der Entstehung von Emissionen entgegen. Sie sollten daher als erstes umgesetzt werden. Bereits durch Primärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken sind im Jahr 2025 Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen um knapp 8.072 t erreichbar. Dies entspricht knapp 6 % der Emissionen der Quellengruppe Energieversorgung und Industrie. Werden zusätzlich Sekundärmaßnahmen umgesetzt, können bei den Braunkohlekraftwerken insgesamt Minderungen von ca. 19.638 t (ca. 14 % der Emissionen der Quellengruppe) erzielt werden.

Auch bei der Energiewende (Ersatz von Kohlekraftwerken durch erneuerbare Energien) sind Minderungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen in gleicher Größenordnung erreichbar, im untersuchten Szenario im Jahr 2025 ca. 7.135 t (ca. 5 %).

Durch Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Industrieanlagen können die NO<sub>x</sub>-Emissionen zusätzlich um ca. 9.350 t gegenüber dem Trend 2025 gemindert werden. Dies entspricht knapp 7 % der Emissionen der Quellengruppe Energieversorgung und Industrie.

Die Wirkungen der Maßnahmen auf die NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW sind gering, da die NO<sub>x</sub>-Emissionen der Quellengruppe Industrie und Energieversorgung eher punktuell und nicht bodennah freigesetzt werden, dadurch besser verdünnt und transportiert werden können, so dass sie auch nur mit ca. 5 % zur regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung in NRW beitragen (Kapitel 3, Bild 3.22).

Die geringsten NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten ergeben sich für Primärmaßnahmen, Sekundärmaßnahmen sind i.d.R. teurer. Am höchsten sind die Kosten bei der Energiewende. Diese wird jedoch nicht in erster Linie aus Gründen der Luftreinhaltung vorangetrieben. Im Wesentlichen geht es dabei um den Klimaschutz sowie die Vermeidung von Umsiedlungen aufgrund der zum Abbau der Braunkohle erforderlichen Tagebaue. Die Kosten durch die Energiewende können daher nicht in erster Linie als NO<sub>x</sub>-Vermeidungskosten angesehen werden.

Die Technologie ist verfügbar, die Wirkung auf Partikel- und CO<sub>2</sub>-Emissionen ist tendenziell positiv, auf die Lärmemissionen ergeben sich keine Auswirkungen.

Da die Braunkohle in Deutschland als Brückentechnologie angesehen wird, erscheint es nicht sinnvoll, für die vergleichsweise kurze Zeit, die diese Kraftwerke am Netz verbleiben, die entsprechende Bundesimmissionschutzverordnung zu ändern. Stattdessen bieten sich NRW-spezifische Regelungen bzw. Vereinbarungen des Landes mit den Betreibern der Kraftwerke an. Die Industrieanlagen fallen in den Bereich der 4. BImSchV, hier kann NRW auf eine Änderung durch den Bund hinwirken. Ähnliches gilt für die gesetzlichen Regelungen zur Energiewende.

### 9.6.4 Gesamtfazit

Zur Senkung der landesweiten NO<sub>x</sub>-Emissionen sollten Maßnahmen bei allen Quellengruppen ergriffen werden. Im Folgenden sind die sechs Maßnahmen mit den höchsten Rängen (vergl. Tab. 9.6, gewichteter Rang aus der NO<sub>x</sub>-Emissionsminderung in NRW gesamt sowie im städtischen Wirkungsbereich und der Reduktion der regionalen NO<sub>2</sub>-Hintergrundbelastung) nochmals abschließend aufgelistet:

1. Förderung Elektromobilität (V1.1):  
Förderung der Elektromobilität im Rahmen der Entwicklung einer NRW-Modellstadt (V1.1.3, 100 % BEV)
2. Weitere Flottenverbesserung: Umweltzone blau (V1.3.1)
3. Einführung einer City-Maut in großen Ballungsräumen (V2.4.2)
4. Förderung Elektromobilität (V1.1):  
Förderung des Markthochlaufs durch monetäre Anreize (V1.1.1)  
Privilegierung von Elektroautos durch nichtmonetäre Anreize (V1.1.2)  
100 % BEV
5. Änderung des Modal Split im Personennahverkehr (V2.1) hin zu höheren Anteilen des Umweltverbunds (Rad- und Fußverkehr, Car Sharing, ÖPNV, insbesondere: Modellstadt Radverkehr nach Kopenhagener Vorbild, V2.1.4)
6. Primär- und Sekundärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken (IE1.2.1 und IE1.2.2)

Anzumerken ist, dass die Minderungswirkungen aller untersuchten Maßnahmen immer an Randbedingungen geknüpft sind: So wurde bei der Förderung der Elektromobilität davon ausgegangen, dass die Ausbauziele der Bundesregierung und des Landes NRW jeweils erreicht werden, und zwar zu 100 % mit rein elektrisch betriebenen Fahrzeugen (BEV) ohne Hybridanteil. Die rechtlichen Rahmenbedingungen zur Ausgestaltung der Umweltzone blau sind noch offen und müssen auf Bundesebene erfolgen. In der hier angesetzten Variante sind im Jahr 2020 21 % der Pkw-Flotte von einer Aussperrung betroffen, im Jahr 2025 noch 10 %. Der Ansatz, ein Fünftel der Pkw-Flotte aus den Innenstädten auszusperrern, ist sehr weitreichend, im Jahr 2013 waren in grünen Umweltzonen in NRW im Mittel 8 % der Pkw-Flotte betroffen. Für die City-Maut ist, ähnlich wie für die Weiterentwicklung der Umweltzone, eine bundesweite Regelung erforderlich. Maßnahmen zur Förderung des Radverkehrs können sofort umgesetzt werden. Es ist jedoch zu beachten, dass eine wesentliche Veränderung des Modal Split (angesetzt wird hier eine Steigerung des Radverkehrsanteils in NRW von 10 % (Mittelstädte) bzw. 13 % (Großstädte) im Jahr 2013 auf 25 % im Jahr 2025 zulasten des MIV) nur durch konsequente Umsetzung einer Vielzahl von Maßnahmen erreicht werden kann. Durch Primärmaßnahmen bei Braunkohlekraftwerken, die der Entstehung von Stickstoffoxiden entgegenwirken, können die NO<sub>x</sub>-Emissionen in NRW deutlich gesenkt werden. Sekundärmaßnahmen sind etwas teurer. Hier ist zu entscheiden, wie aufwändig Braunkohlekraftwerke, die aufgrund der Energiewende möglicherweise ohnehin nur noch eine vergleichsweise kurze Zeit am Netz bleiben, nachgerüstet werden sollen.

## A. Anhang: Energiewirtschaft/Industrie

Tab. A.1: Anlagenarten mit den jeweiligen absoluten NO<sub>x</sub>-Emissionen innerhalb einer Branche

Branche	Anlagennummer	Anlagenart	Anzahl der Quellen	Jahresfracht in kg/a	Jahresfracht in %
1 Wärmeenerzeugung, Bergbau, Energie (N=2.772)	1	0101.1 - Feuerungsanlagen feste, flüssige u. gasförmige Brennstoffe >= 50 MW	629	108.838.123	66,8
	2	0102A2 - Feuerungsanlagen feste u. flüssige Brennstoffe (außer HEL) 1 -< 50 MW	238	1.539.935	0,9
	3	0102B2 - Feuerungsanlagen sonst. gasförmige Brennstoffe 10 -< 50 MW	153	1.189.063	0,7
	4	0102C2 - Feuerungsanlagen HEL, Pflanzenöle, Methanol, Ethanol, Erdgas 20 -< 50 MW	583	1.882.828	1,2
	5	0103.2 - Feuerungsanlagen andere Brennstoffe 0,1 -< 50 MW	47	290.527	0,2
	6	0104A2 - Verbrennungsmotoranl. f. Arbeitsmasch. flüss. u. gasförm. Brennst. 1 -< 50 MW	103	520.327	0,3
	7	0104BAA2 - Verbrennungsmotoranl. gasförm. Brennstoffe 1 -< 10 MW	607	2.692.690	1,7
	8	0104BBB2 - Verbrennungsmotoranl. HEL, Dieselkraftstoff, Methanol, Ethanol u.w. 1 -< 20 MW	255	1.098.527	0,7
	9	0105.1 - Gasturbinen z. Antrieb von Arbeitsmaschinen >= 50 MW	35	828.354	0,5
	10	0105A2 - Gasturbinen z. Antrieb von Arbeitsmaschinen 1-< 50 MW	16	228.796	0,1
	11	0105BAA2 - Gasturbinen gasförm. Brennstoffe 1 -< 10 MW	5	35.434	0,0
	12	0105BBB2 - Gasturbinen HEL, Dieselkraftstoff, Methanol, Ethanol u.w. 1 -< 20MW	14	125.403	0,1
	13	0109.2 - Mahlen od. Trocknen von Kohle >= 1 t/h	12	47.234	0,0
	14	0111.1 - Trockendestillation von Kohle, Holz, Torf, Pech	22	2.953.636	1,8
	15	0112.1 - Destillation, Weiterverarbeitung von Teer	28	96.163	0,1
	16	0113.2 - Generator- od. Wassergaserz. aus fest. Brennstoffen mit Gasmenge m. Energieäqu.>=1 MW	5	2.868	0,0
	17	0115A2 - Erzeugung von Biogas	20	57.948	0,0
2 Steine und Erden, Glas, Keramik, Baustoffe (N=533)	18	0202.2 - Brechen, Mahlen, Klassieren von Gestein > 10 d/a ohne Klassieren v, Sand u. Kies	57	78.446	0,0
	19	0203.1 - Zementherstellung >= 500 t/d	42	5.053.346	3,1
	20	0204.1 - Brennen von Kalkstein >= 50 t/d	42	1.918.303	1,2
	21	0204B2 - Brennen von Bauxit, Dolomit, Gips, Kieselgur, Magnesit, Quarzit od. Ton zu Schamotte	33	540.017	0,3
	22	0207.2 - Blähen von Perliten, Schiefer od. Ton	5	12.739	0,0
	23	0208.1 - Herstellung von Glas od. Glasfasern Schmelzleistung >= 20 t/d	46	3.024.156	1,9
	24	0210.1 - Brennen keramischer Erzeugnisse > 75 t/d o. Rauminhalt >= 4 m <sup>3</sup> und Besatzdichte >= 300 kg/m <sup>3</sup>	107	477.089	0,3
	25	0210.2 - Brennen keramischer Erzeugnisse Besatzd. 100 < 300 kg/m <sup>3</sup>	48	28.687	0,0
	26	0211.1 - Schmelzen mineralischer Stoffe und Mineralfasern >= 20 t/d	5	82.129	0,1



	27	0211.2 - Schmelzen mineralischer Stoffe < 20 t/d	4	14.257	0,0
	28	0215.2 - Bitumen-Schmelzanlagen/ Mischanlagen	144	497.822	0,3
3 Stahl, Eisen und sonstige Metalle einschließlich Verarbeitung (N=1.152)	29	0301.1 - Rösten, Schmelzen od. Sintern von Erzen	15	7.531.215	4,6
	30	0302.2 - Herstellung od. Erschmelzen von Roheisen od. Stahl < 2,5 t/h	6	844	0,0
	31	0302A1 - Integrierte Hüttenwerke	51	714.702	0,4
	32	0302B1 - Herstellung od. Erschmelzen von Roheisen od. Stahl >= 2,5 t/h	46	180.685	0,1
	33	0303.1 - Herstellung von Nichteisenrohmetallen aus Erz o.a.	17	345.131	0,2
	34	0304.1 - Schmelzen, Legieren NE-Metalle >= 4 t/d Pb, Cd od. >= 20 t/d sonst. NE	189	657.869	0,4
	35	0304.2 - Schmelzen, Legieren NE-Metalle 0,5 -< 4 t/dPb, Cd od. 2 -< 20 t/d sonst. NE	19	3.038	0,0
	36	0305.2 - Flämmen von Stahl	2	6.479	0,0
	37	0306.1 - Warmwalzen von Stahl > 20t/d	75	1.746.513	1,1
	38	0306AAA2 - Anlagen zum Warmwalzen von Stahl < 20 t/h	50	67.928	0,0
	39	0306ABB2 - Anlagen zum Kaltwalzen von Stahl, Bandbreite >= 650mm	32	131.690	0,1
	40	0306BAA2 - Anlagen zum Walzen von Schwermetallen > 1 t/h	30	18.071	0,0
	41	0306BBB2 - Anlagen zum Walzen von Leichtmetallen > 0,5 t/h	37	349.519	0,2
	42	0307.1 - Eisen-, Stahlgießereien >= 20 t/d Gussteile	95	230.795	0,1
	43	0307.2 - Eisen-, Stahlgießereien 2 -< 20 t/d Gussteile	13	2.669	0,0
	44	0308.1 - Gießereien für NE-Metalle >= 4 t/d Pb, Cd od. >= 20 t/d sonst.	123	58.070	0,0
	45	0308.2 - Gießereien für NE-Metalle 0,5 -< 4 t/d Pb, Cd od. 2 -< 20 t/d sonst.	6	2.926	0,0
	46	0309.1 - Aufbringen metal. Schutzschichten mittels Bäder >= 2 t/h Rohgut	84	235.396	0,1
	47	0309A2 - Aufbringen metal. Schutzschichten mittels Bäder 0,5 -< 2 t/h Rohgut	24	5.637	0,0
	48	0310.1 - MetalloberflächenBehandl., elektrolytisch, chemisch, Wirkbad >= 30m <sup>3</sup>	155	163.904	0,1
	49	0310.2 – Metalloberflächen Behandl. mit Säure Wirkbad 1 -< 30 m <sup>3</sup>	75	49.065	0,0
	50	0321.2 - Bleiakumulatorenherstellung	2	88.238	0,1
	51	0323.2 - Metallpulver-/pastenherstellung (kein Stampfen), ausgenommen Edelmetallpulver	6	39.445	0,0
	4 Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination und Weiterverarbeitung (N=701)	52	0401.1 - Chemische Erzeugnisse, Arzneimittel, Mineralölraffination	9	89.257
53		0401A1 - Herstellung von Kohlenwasserstoffen	29	731.469	0,4
54		0401B1 - Herstellung von sauerstoffhaltigen Kohlenwasserstoffen	82	26.3684	0,2
55		0401C1 - Herstellung von schwefelhaltigen Kohlenwasserstoffen	14	47.992	0,0
56		0401D1 - Herstellung von stickstoffhaltigen Kohlenwasserstoffen	36	28.800	0,0
57		0401E1 - Herstellung von phosphorhaltigen Kohlenwasserstoffen	2	300	0,0
58		0401F1 - Herstellung von halogenhaltigen Kohlenwasserstoffen	19	56.236	0,0
59		0401G1 - Herstellung von metallorganischen	6	2.873	0,0

		Verbindungen			
	60	0401H1 - Herstellung von Basiskunststoffen	93	153.637	0,1
	61	0401I1 - Herstellung von synthetischem Kautschuk	4	31.337	0,0
	62	0401J1 - Herstellung von Farbstoffen u. Pigmenten	54	131.055	0,1
	63	0401K1 - Herstellung von Tensiden	19	4.871	0,0
	64	0401L1 - Herstellung von Gasen NH <sub>3</sub> , Cl <sub>2</sub> , HCl, F <sub>2</sub> , HF, CO <sub>x</sub> , S-Verb., NO <sub>x</sub> , H <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Phosgen	26	429.427	0,3
	65	0401M1 - Herstellung von Säuren Chrom-, Fluss-, Phosphor-, Salpeter-, Salz-, Schwefelsäure u.a.	22	271.467	0,2
	66	0401N1 - Herstellung von Basen wie NH <sub>4</sub> OH, KOH, NaOH	12	252.712	0,2
	67	0401O1 - Herstellung von Salzen	22	174.237	0,1
	68	0401P1 - Herstellung von Nichtmetallen, Metalloxiden u. sonst. anorg. Verbindungen	64	254.982	0,2
	69	0401Q1 - Herstellung von Düngemitteln	5	20.398	0,0
	70	0401R1 - Herstellung von Ausgangsstoffen für Pflanzenschutzmittel u. Bioziden	7	13.302	0,0
	71	0401S1 - Herstellung von Grundarzneimitteln	6	9.460	0,0
	72	0401T1 - Herstellung von Explosivstoffen	1	<1	0,0
	73	0403.1 - Herstellung von Arzneimitteln (biologische Verfahren)	7	1.366	0,0
	74	0404.1 - Verarbeitung von Erdöl, Erdölzeugnissen (Raffinerien)	86	1.821.792	1,1
	75	0406.1 - Herstellung von Ruß	42	1.476.720	0,9
	76	0407.1 - Herstellung von Kohlenstoff od. Elektrographit	21	115.979	0,1
	77	0408.2 - Destillieren organischer Lösungsmittel >= 1 t/h	3	1.295	0,0
	78	0410.1 - Herstellung von Firnis, Lacken, Druckfarben >= 25 t/d organische Lösungsmittel	10	11.221	0,0
5 Oberflächenbehandlung mit organischen Stoffen, Herstellung von bahnförmigen Materialien aus Kunststoffen, sonstige Verarbeitung von Harzen und Kunststoffen (N=562)	79	0501.1 - Beschichten, Lack-, Kaschieren, Imprägn., Trocknungsanl.:>= 150 kg/h od. >=200 t/a	308	520.093	0,3
	80	0501A2 - Lackier-/Trocknungsanlagen Lösemittelverbrauch 25<150 kg/h o. 15-<200 t/a	121	88.465	0,1
	81	0501B2 - Rot.-Druck EtOH (>50%) 50-<150 kg/h o.30-<200 t/a; sonst. LM 25<150kg/h o. 15-<200t/a	24	7.119	0,0
	82	0502.1 - Beschichten, Imprägnieren mit Kunstharzen >= 25 kg/h	26	22.333	0,0
	83	0502.2 - Beschichten, Imprägnieren mit Kunstharzen 10 -< 25 kg/h	2	73	0,0
	84	0504.2 - Tränken od. Überziehen von Stoffen mit Teer, Teeröl, Bitumen >=25 kg/h	30	6.971	0,0
	85	0506.2 - Herstellung bahnenförmiger Materialien	4	46.653	0,0
	86	0507B2 - Herstellung von Formteilen aus Polyesterharzen >= 500 kg/w	1	6	0,0
	87	0508.2 - Herstellung von Gegenständen aus Aminoplasten >= 10 kg/h	8	11.151	0,0
	88	0509.2 - Herstellung von Reibbelägen aus Phenoplasten >= 10 kg/h, ohne Asbest	13	34.317	0,0
	89	0510.2 - Herstellung von Schleifscheiben, -körpern, -papier außer Anlagen nach 5.1ff	10	1.262	0,0
	90	0511.2 - Herstellung von Polyurethanformteilen >= 200 kg/h	15	2.133	0,0

6 Holz- Zellstoff (N=41)	91	0602.1 - Papierherstellung, >=20 t/d	36	86.205	0,1
	92	0603.1 - Herstellung von Holzspanplatten	4	838.255	0,5
	93	0603.2 - Anlagen zur Herstellung von Holzfaserplatten od. Holzfasermatten	1	87.834	0,1
7 Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse (N=135)	94	0701C1 - Halten/Aufzucht von >= 40000 Mastgeflügelplätzen	5	58	0,0
	95	0703B1 - Schmelzen tierischer Fette >= 75 t/d Erzeugnisse	1	2.863	0,0
	96	0705.1 - Räucheranlagen für Fleisch od. Fisch >= 75 t/d	23	10.120	0,0
	97	0709.1 - Verarbeitung von Schlachtnebenprodukten	3	1.814	0,0
	98	0712.1 - Tierkörperbeseitigungsanlagen	7	16.608	0,0
	99	0720.1 - Mälzerei >= 300 t/d Darmmalz als Vierteljahresmittelwert	2	5.533	0,0
	100	0721.1 - Mühlen für Nahrungs- od. Futtermittel >= 300 t/d als Vierteljahresmittelwert	8	1.718	0,0
	101	0722.1 - Herstellung von Hefe od. Stärkemittel >= 300 t/d als Vierteljahresmittelwert	6	19.217	0,0
	102	0723.1 - Erzeugung pflanzlicher Fette od. Öle >= 300 t/d als Vierteljahresmittelwert	2	185	0,0
	103	0724.1 - Zuckerfabriken	8	267.597	0,2
	104	0727.1 - Brauereien >= 3000 hl/d als Vierteljahresmittelwert	4	8.630	0,0
	105	0734A1 - Herst. von sonst. Nahrungsmitteln tier. Rohstoffe >=75 t/d Fertigerzeugnisse	13	4.958	0,0
	106	0734B1 - Herst. von sonst. Nahrungsmitteln pflanzl. Rohstoffe >=300 t/d Fertigerzeugnisse	53	33.292	0,0
	8 Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen(N=483)	107	0801A1 - Therm. Abfallentsorg. für feste, flüssige, gefaßte gasförmige, gefährl. Abfälle od. Deponiegas	126	5.596.026
108		0801A2 - Therm. Abfallentsorg. für feste, flüss., gasf., n.g. Abfälle <=3 t/h od. Deponiegas <=1000 m³/h	39	12.925	0,0
109		0801B1 - Therm. Abfallentsorg. für feste, flüss., gasf., n.g. Abfälle >3 t/h od. Deponiegas >1000 m³/h	9	292.492	0,2
110		0801B2 - Abfackeln von Deponiegas oder anderen gasförmigen Stoffen	61	95.189	0,1
111		0801C2 - Verbrennungsmotoranlagen Altöl, Deponiegas < 50 MW	70	232.660	0,1
112		0802A2 - Feuerungen für gestr., lackiertes, beschichtetes Holz 1-<50MW	41	242.167	0,1
113		0802B2 - Feuerungen für Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten	122	914.830	0,6
114		0803.1 - Thermische Aufbereitung von Stahlwerksstäuben	1	38.787	0,0
115		0803A2 - Thermische Behandl. edelmetallhaltiger Rückstände >= 10 kg/d	2	2.871	0,0
116		0803B2 - Thermische Behandl. von mit organ. Verbindungen verunreinigten Metallen	1	15.004	0,0
117		0808A1 - Chemische Behandlung gefährlicher Abfälle	11	28.978	0,0
9 Lagerung, Be- und Entladen von Stoffen und Gemischen (N=32)	118	0902.1 - Lagern von brennb. Flüssigkeiten >= 50000 t	14	4.671	0,0
	119	0902A2 - Lagern von brennb. Flüssigkeiten (Flammpunkt<294,15 K) 5000 -< 50000 t	4	481	0,0
	120	0902B2 - Lagern sonst. brennb. Flüssigkeiten 10000 - < 50000 t	1	921	0,0
	121	0911.2 - Umschlag staubender Schüttgüter >= 400 t/d	12	32.818	0,0
	122	0935.1 - Lagern von sehr gift., gift., brandförd. od. explosionsgef. Stoffen/Zubereit.>= 200 t	1	527	0,0

10 Sonstige Anlagen (N=237)	123	1007.2 - Vulkanisieren von Natur- od. Synthekautschuk <25 t/h	32	35.465	0,0
	124	1008.2 - Herst. von Bautenschutz-, Reinigungsmitteln m. org. Lösem. >= 20 t/d, Klebmittel >= 1 t/d	14	8.750	0,0
	125	1010.1 - Vorbehandeln od. Färben von Fasern >= 10 t/d	3	8.126	0,0
	126	1020.2 - Reinigen von Werkzeugen/Vorrichtungen durch thermische Verfahren mit Öfen >= 1m <sup>3</sup>	58	9.700	0,0
	127	1021.2 - Innenreinig. Von Kesselw. / Tankfahrz. / Cont. / Fässern m. organ. Stoffen u. Aufbereit.-anl.	32	3.524	0,0
	128	1023.2 - Textilvered. d. Sengen / Beschichten / Imprägn./Appret. od. Trocknen >= 500 m <sup>2</sup> /h Textilien	98	29.309	0,0
5 Oberflächenbehandlung mit organischen Stoffen, Herstellung von bahnförmigen Materialien aus Kunststoffen, sonstige Verarbeitung von Harzen und Kunststoffen (N=562)	79	0501.1 - Beschichten, Lack., Kaschieren, Imprägn., Trocknungsanl.:>= 150 kg/h od. >=200 t/a	308	520093,134	0,3
	80	0501A2 - Lackier-/Trocknungsanlagen Lösemittelverbrauch 25<150 kg/h o. 15-<200 t/a	121	88465,014	0,1
	81	0501B2 - Rot.-Druck EtOH(>50 %) 50-<150 kg/h o.30-<200 t/a; sonst. LM 25<150kg/h o. 15-<200t/a	24	7119,100	0,0
	82	0502.1 - Beschichten, Imprägnieren mit Kunstharzen >= 25 kg/h	26	22332,699	0,0
	83	0502.2 - Beschichten, Imprägnieren mit Kunstharzen 10 -< 25 kg/h	2	73,350	0,0
	84	0504.2 - Tränken od. Überziehen von Stoffen mit Teer, Teeröl, Bitumen >=25 kg/h	30	6971,439	0,0
	85	0506.2 - Herstellung bahnenförmiger Materialien	4	46653,000	0,0
	86	0507B2 - Herstellung von Formteilen aus Polyesterharzen >= 500 kg/w	1	6,470	0,0
	87	0508.2 - Herstellung von Gegenständen aus Aminoplasten >= 10 kg/h	8	11150,500	0,0
	88	0509.2 - Herstellung von Reibbelägen aus Phenoplasten >= 10 kg/h, ohne Asbest	13	34317,381	0,0
	89	0510.2 - Herstellung von Schleifscheiben, -körpern, -papier ausser Anlagen nach 5.1ff	10	1262,199	0,0
	90	0511.2 - Herstellung von Polyurethanformteilen >= 200 kg/h	15	2133,260	0,0
6 Holz Zellstoff (N=41)	91	0602.1 - Papierherstellung, >=20 t/d	36	86204,889	0,1
	92	0603.1 - Herstellung von Holzspanplatten	4	838255,000	0,5
	93	0603.2 - Anlagen zur Herstellung von Holzfasernplatten od. Holzfasermatten	1	87834,000	0,1
7 Nahrungs-, Genuss- und Futtermittel, landwirtschaftliche Erzeugnisse (N=135)	94	0701C1 - Halten/Aufzucht von >= 40000 Mastgeflügelplätzen	5	58,410	0,0
	95	0703B1 - Schmelzen tierischer Fette >= 75 t/d Erzeugnisse	1	2863,000	0,0
	96	0705.1 - Räucheranlagen für Fleisch od. Fisch >= 75 t/d	23	10119,790	0,0
	97	0709.1 - Verarbeitung von Schlachtnebenprodukten	3	1814,200	0,0
	98	0712.1 - Tierkörperbeseitungsanlagen	7	16607,900	0,0
	99	0720.1 - Mälzerei >= 300 t/d Darrmalz als Vierteljahresmittelwert	2	5532,500	0,0
	100	0721.1 - Mühlen für Nahrungs- od. Futtermittel >= 300 t/d als Vierteljahresmittelwert	8	1717,806	0,0
	101	0722.1 - Herstellung von Hefe od. Stärkemittel >= 300 t/d als Vierteljahresmittelwert	6	19217,440	0,0
	102	0723.1 - Erzeugung pflanzlicher Fette od. Öle >= 300 t/d als Vierteljahresmittelwert	2	184,900	0,0
	103	0724.1 - Zuckerfabriken	8	267597,000	0,2

	104	0727.1 - Brauereien $\geq$ 3000 hl/d als Vierteljahresmittelwert	4	8630,000	0,0
	105	0734A1 - Herst. von sonst. Nahrungsmitteln tier. Rohstoffe $\geq$ 75 t/d Fertigerzeugnisse	13	4957,541	0,0
	106	0734B1 - Herst. von sonst. Nahrungsmitteln pflanzl. Rohstoffe $\geq$ 300 t/d Fertigerzeugnisse	53	33291,900	0,0
8 Verwertung und Beseitigung von Abfällen und sonstigen Stoffen(N=483)	107	0801A1 - Therm. Abfallentsorg. für feste, flüssige, gefaßte gasförmige, gefährl. Abfälle od. Deponiegas	126	5596026,431	3,4
	108	0801A2 - Therm. Abfallentsorg. für feste, flüss., gasf., n.g. Abfälle $\leq$ 3 t/h od. Deponiegas $\leq$ 1000 m <sup>3</sup> /h	39	12925,130	0,0
	109	0801B1 - Therm. Abfallentsorg. für feste, flüss., gasf., n.g. Abfälle $>$ 3 t/h od. Deponiegas $>$ 1000 m <sup>3</sup> /h	9	292491,770	0,2
	110	0801B2 - Abfackeln von Deponiegas oder anderen gasförmigen Stoffen	61	95188,504	0,1
	111	0801C2 - Verbrennungsmotoranlagen Altöl, Deponiegas $<$ 50 MW	70	232660,126	0,1
	112	0802A2 - Feuerungen für gestr., lackiertes, beschichtetes Holz 1- $<$ 50MW	41	242167,298	0,1
	113	0802B2 - Feuerungen für Sperrholz, Spanplatten, Faserplatten	122	914829,751	0,6
	114	0803.1 - Thermische Aufbereitung von Stahlwerksstäuben	1	38787,000	0,0
	115	0803A2 - Thermische Behandl. edelmetallhaltiger Rückstände $\geq$ 10 kg/d	2	2871,000	0,0
	116	0803B2 - Thermische Behandl. von mit organ. Verbindungen verunreinigten Metallen	1	15004,000	0,0
	117	0808A1 - Chemische Behandlung gefährlicher Abfälle	11	28977,675	0,0
9 Lagerung, Be- und Entladen von Stoffen und Gemischen (N=32)	118	0902.1 - Lagern von brennb. Flüssigkeiten $\geq$ 50000 t	14	4670,800	0,0
	119	0902A2 - Lagern von brennb. Flüssigkeiten (Flammpunkt $<$ 294,15 K) 5000 - $<$ 50000 t	4	480,740	0,0
	120	0902B2 - Lagern sonst. brennb. Flüssigkeiten 10000 - $<$ 50000 t	1	921,000	0,0
	121	0911.2 - Umschlag staubender Schüttgüter $\geq$ 400 t/d	12	32817,900	0,0
	122	0935.1 - Lagern vonsehr gift., gift.,brandförd. od.explosionsgef. Stoffen/Zubereit. $\geq$ 200 t	1	527,000	0,0
10 Sonstige Anlagen (N=237)	123	1007.2 - Vulkanisieren von Natur- od. Synthetikgummi $<$ 25 t/h	32	35464,590	0,0
	124	1008.2 - Herst. von Bautenschutz-, Reinigungsmitteln m. org. Lösem. $\geq$ 20 t/d, Klebmittel $\geq$ 1 t/d	14	8750,000	0,0
	125	1010.1 - Vorbehandeln od. Färben von Fasern $\geq$ 10 t/d	3	8126,300	0,0
	126	1020.2 - Reinigen von Werkzeugen/Vorrichtungen durch thermische Verfahren mit Öfen $\geq$ 1m <sup>3</sup>	58	9700,140	0,0
	127	1021.2 - Innenreinig.vonKesselw./Tankfahrz./Cont./Fässern m.organ.Stoffen u.Aufbereit-anl	32	3524,280	0,0
	128	1023.2 - Textilvered. d.Sengen/Beschichten/Imprägn./Appret. od.Trocknen $\geq$ 500 m <sup>2</sup> /h Textilien	98	29308,691	0,0

Tab. A.2: Übersicht der Feuerungsanlagen > 50 MW mit einem Anteil > 1 % an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen der Branche „Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie“ und der Anteil der NO<sub>x</sub>-Emissionen bezogen auf den Sektor „Energiewirtschaft und Industrie“

	Anlage	NO <sub>x</sub> in t/a	in % von Gesamt NO <sub>x</sub> Energie/Industrie	Brennstoff
1	RWE Power AG Kraftwerk Neurath	20.679	12,7	Braunkohle
2	RWE Power AG Kraftwerk Niederaußem	18.175	11,2	Braunkohle
3	RWE Power AG Kraftwerk Weisweiler	13.423	8,2	Braunkohle/Erdgas
4	E.ON KRAFTWERK SCHOLVEN	6.645	4,1	Steinkohle
5	RWE Power AG Kraftwerk Frimmersdorf	5.749	3,5	Braunkohle
6	Kraftwerk Voerde OHG der STEAG GmbH und RWE Power AG Kraftwerk Voerde	4.463	2,7	Steinkohle
7	RWE Power AG Kraftwerk Ibbenbüren	3.169	1,9	Steinkohle
8	Gemeinschaftskraftwerk Bergkamen A OHG der STEAG GmbH und der RWE Power AG	2.226	1,4	Steinkohle
9	E.ON Kraftwerke GmbH Kraftwerk Heyden	1.927	1,2	Steinkohle
10	RWE Power AG Kraftwerk Werne	1.631	1,0	Steinkohle
11	Mark-E Aktiengesellschaft	1.620	1,0	Steinkohle
	<b>gesamt</b>	<b>79.708</b>	<b>48,9</b>	

\* Ende 2012 wurden bis auf die die Kraftwerksblöcke P und Q alle anderen Blöcke stillgelegt

Tab. A.3: Braunkohlekraftwerke mit einer Nennwärmeleistung > 300 MW und einem Anteil >1 % an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen bezogen auf den Sektor „Energiewirtschaft und Industrie“

	<b>Betreiber / Kraftwerk</b>	<b>Block</b>	<b>Leistung [MW]</b>	<b>NO<sub>x</sub> in t/a</b>	<b>in % von Gesamt NO<sub>x</sub> Energie/Industrie</b>	<b>Brennstoff</b>
<b>1</b>	RWE Power AG Kraftwerk Weisweiler	H	635	3.606	2,2	Braunkohle
<b>2</b>	RWE Power AG Kraftwerk Weisweiler	G	636	3.191	2,0	Braunkohle
<b>3</b>	RWE Power AG Kraftwerk Neurath	G	1.060	4.349	2,7	Braunkohle
<b>4</b>	RWE Power AG Kraftwerk Neurath	F	1.060	4.083	2,5	Braunkohle
<b>5</b>	RWE Power AG Kraftwerk Neurath	E	604	3.757	2,3	Braunkohle
<b>6</b>	RWE Power AG Kraftwerk Neurath	D	607	3.193	2,0	Braunkohle
<b>7</b>	RWE Power AG Kraftwerk Neurath	C	292	1.925	1,2	Braunkohle
<b>8</b>	RWE Power AG Kraftwerk Neurath	A	294	1.883	1,2	Braunkohle
<b>9</b>	RWE Power AG Kraftwerk Niederaußem	G	630	3.811	2,3	Braunkohle
<b>10</b>	RWE Power AG Kraftwerk Niederaußem	H	630	3040	1,9	Braunkohle
<b>11</b>	RWE Power AG Kraftwerk Niederaußem	K	1.000	3.533	2,2	Braunkohle

Tab. A.4: Übersicht der Kraftwerke welche zwischen 2012 und 2015 endgültig oder vorläufig stillgelegt wurden /BNA 2015/

Nr. Bundesnetzagentur	Unternehmen	Kraftwerksname	Block	Kraftwerksstatus
BNA0118	Energie- und Wasserversorgung Bonn/Rhein-Sieg GmbH	Heizkraftwerk Süd	Heizkraftwerk Süd	endgültig stillgelegt 2012
BNA0812	Gemeinschaftskraftwerk Veltheim GmbH	Kraftwerk Veltheim	2	endgültig stillgelegt 2012
BNA0305	RWE Power AG	Frimmersdorf	E	endgültig stillgelegt 2012
BNA0306	RWE Power AG	Frimmersdorf	F	endgültig stillgelegt 2012
BNA0307	RWE Power AG	Frimmersdorf	I	endgültig stillgelegt 2012
BNA0308	RWE Power AG	Frimmersdorf	K	endgültig stillgelegt 2012
BNA0309	RWE Power AG	Frimmersdorf	N	endgültig stillgelegt 2012
BNA0310	RWE Power AG	Frimmersdorf	M	endgültig stillgelegt 2012
BNA0311	RWE Power AG	Frimmersdorf	L	endgültig stillgelegt 2012
BNA0312*	RWE Power AG	Frimmersdorf	O	endgültig stillgelegt 2012
BNA1021	RWE Power AG	Weisweiler	C	endgültig stillgelegt 2012
BNA1022	RWE Power AG	Weisweiler	D	endgültig stillgelegt 2012
BNA0212	Stadtwerke Duisburg AG	HKW II/B	HKW II/B	endgültig stillgelegt 2012
BNA0187	E.ON Kraftwerke GmbH	Datteln	1	endgültig stillgelegt 2013
BNA0188	E.ON Kraftwerke GmbH	Datteln	2	endgültig stillgelegt 2013
BNA0189	E.ON Kraftwerke GmbH	Datteln	3	endgültig stillgelegt 2013
BNA0448	E.ON Kraftwerke GmbH	Shamrock		endgültig stillgelegt 2013
BNA0203	E.ON Kraftwerke GmbH	Knepper	C	endgültig stillgelegt 2014
BNA0333	E.ON Kraftwerke GmbH	Scholven	D	endgültig stillgelegt 2014
BNA0334	E.ON Kraftwerke GmbH	Scholven	E	endgültig stillgelegt 2014
BNA0335	E.ON Kraftwerke GmbH	Scholven	F	endgültig stillgelegt 2014
BNA1035	Mark-E AG	Kraftwerk Werdohl-Elverlingsen	E3	endgültig stillgelegt 2014



BNA0215*	Steag GmbH	KW Walsum	Walsum 7	endgültig stillgelegt 2014
BNA0447*	Steag GmbH	KW Herne	Herne 2	endgültig stillgelegt 2014
BNA0099*	Gemeinschaftskraftwerk Veltheim GmbH	Gasturbinenkr aftwerk Bielefeld Ummeln	GT Ummeln	endgültig stillgelegt 2015
BNA0810	Gemeinschaftskraftwerk Veltheim GmbH	Kraftwerk Veltheim	4 GT	endgültig stillgelegt 2015
BNA0811	Gemeinschaftskraftwerk Veltheim GmbH	Kraftwerk Veltheim	4 DT	endgültig stillgelegt 2015
BNA0813	Gemeinschaftskraftwerk Veltheim GmbH	Kraftwerk Veltheim	3	endgültig stillgelegt 2015
BNA0413a	RWE Generation SE	Westfalen	C	saisonale Konservierung
BNA1082	WSW Energie & Wasser AG	HKW Barmen	Block 1	saisonale Konservierung
BNA0413b*	RWE Generation SE	Westfalen	D	Sonderfall
BNA0098	Stadtwerke Bielefeld GmbH	HKW Schildescher Straße		Sonderfall
BNA0223a*	Stadtwerke Düsseldorf AG	DT	Flingern T4	Sonderfall
BNA1036	Mark-E AG	Werdohl- Elverlingsen	E 1/2	vorläufig stillgelegt
BNA1293a*	Martinswerk GmbH	Kraftwerk	K1/TG1	vorläufig stillgelegt
BNA1293c*	Martinswerk GmbH	Kraftwerk	K3+4/TG 4	vorläufig stillgelegt
BNA1293d*	Martinswerk GmbH	Kraftwerk	Diesel/G5	vorläufig stillgelegt
BNA1043	RWE Generation SE	Gersteinwerk	I2	vorläufig stillgelegt
BNA1044	RWE Generation SE	Gersteinwerk	F2	vorläufig stillgelegt
BNA1045	RWE Generation SE	Gersteinwerk	G2	vorläufig stillgelegt
BNA0489*	RWE Power AG	Goldenberg	E	vorläufig stillgelegt
BNA0710	RWE Power AG	Niederaußem	B	vorläufig stillgelegt
BNA0711	RWE Power AG	Niederaußem	A	vorläufig stillgelegt
BNA1023	RWE Power AG	Weisweiler	G_VGT	vorläufig stillgelegt
BNA1024	RWE Power AG	Weisweiler	H_VGT	vorläufig stillgelegt

\* den Emissionsdaten vom MKULNV /MKULNV-GFA 2015/ nicht eindeutig zuordenbar

Tab. A.5: Übersicht der stillgelegten Feuerungsanlagen > 50 MW mit einem Anteil > 1 % an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen der Branche „Wärmeerzeugung, Bergbau, Energie“ und der Anteil der NO<sub>x</sub>-Emissionen bezogen auf den Sektor Energiewirtschaft und Industrie.

Unternehmen/Kraftwerk	Block	Status	NO <sub>x</sub> -Minderung in kg/a	NO <sub>x</sub> -Minderung in % von Branche	NO <sub>x</sub> -Minderung in % von Sektor
RWE Power AG Niederaußem	A, B	vorläufig stillgelegt	865.938	0,7	0,5
RWE Power AG Weisweiler	VGT-G, VGT-H	vorläufig stillgelegt	9.720	0,0	0,0
E.ON Scholven	D, E und F	stillgelegt 2014	3.686.000	3,0	2,3
RWE Power AG Frimmersdorf	E, F, I, K, N, M, L, O	stillgelegt 2012	2.562.052	2,1	1,6
Mark-E Aktiengesellschaft Werdohl-Elverlingsen	E3	stillgelegt 2014	470.927	0,4	0,3
Mark-E Aktiengesellschaft Werdohl-Elverlingsen	E1, 2	vorläufig stillgelegt	27	0,0	0,0
Summe			7.594.664	6,2	4,7

Tab. A.6: Übersicht der zwischen 2012 und 2015 in Betrieb genommenen Feuerungsanlagen > 50 MW /BNA 2015/

Kraftwerksname	Blockname	Aufnahme der kommerziellen Stromerzeugung	Status	Hauptenergieträger	Nennleistung in MW
Knapsack Gas II		2013	in Betrieb	Erdgas	430
KW Walsum	Walsum 10	2013	in Betrieb	Steinkohle	725
Trianel Kohlekraftwerk Lünen		2013	in Betrieb	Steinkohle	746
Heizkraftwerk Karlstraße	Heizkraftwerk Karlstraße	2013	in Betrieb	Erdgas	95
Westfalen	D	2014	Sonderfall	Steinkohle	765
Westfalen	E	2014	in Betrieb	Steinkohle	765
P&L Werk Euskirchen	Kessel 4 / 6	1970 / 1981 / 2013	in Betrieb	Braunkohle	14,5
HKW Hiltrop		1975 / 2014	in Betrieb	Erdgas	44
Heizkraftwerk Krefeld		1990 / 2013	in Betrieb	Erdgas	12,6

Tab. A.7: Übersicht der Kraftwerke, welche zwischen 2015 und 2025 endgültig oder vorläufig stillgelegt werden sollen /NEP 2015/

Nr.	Kraftwerksname	Blockname	Inbetriebnahme (Jahr)	Energieträger
1	Datteln	1	1964	Steinkohle
2	Datteln	2	1964	Steinkohle
3	Datteln	3	1969	Steinkohle
4	Duisburg Hamborn 3	Block 3	1958	Sonstige
5	Duisburg Hamborn 4	Block 4	1976	Sonstige
6	Duisburg Ruhrort 2	Block 2	1955	Sonstige
7	Duisburg Ruhrort 3	Block 3	1963	Sonstige
8	Duisburg Ruhrort 4	Block 4	1968	Sonstige
9	Frechen/Wachtberg	Frechen/Wachtberg	1959	Braunkohle
10	Frimmersdorf	P	1966	Braunkohle
11	Gasturbinenkraftwerk Bielefeld Ummeln	GT Ummeln	1975	Erdgas
12	Gersteinwerk	F1	1973	Erdgas
13	Gersteinwerk	G1	1973	Erdgas
14	Gersteinwerk	H1	1973	Erdgas
15	Gersteinwerk	I1	1973	Erdgas
16	Gersteinwerk	G2	1973	Erdgas
17	G-Kraftwerk		1962	Steinkohle
18	GT	Block E GTE2	1974	Erdgas
19	GT	Block E GTE1	1974	Erdgas
20	Heizkraftwerk Hagen-Kabel	H4/5	1980	Erdgas
21	Huckingen	A	1975	Sonstige
22	Huckingen	B	1976	Sonstige
23	Industrie-Kraftwerk *		1975	Steinkohle
24	Knepper	C	1971	Steinkohle
25	Kraftwerk*	K1/TG1	1995	Braunkohle
26	Kraftwerk*	D210	1962	Mineralölprodukte
27	Kraftwerk I*	Block 4	1971	Steinkohle
28	Kraftwerk II*	Block 3	1966	Steinkohle
29	Kraftwerk L 57*		1957	Steinkohle
30	Kraftwerk N 230		1971	Steinkohle
31	Kraftwerk Veltheim	4 GT	1974	Erdgas
32	Kraftwerk Veltheim*	4 DT	1975	Erdgas
33	Kraftwerk Veltheim	3	1970	Steinkohle
34	Kraftwerk Werdohl-Elverlingsen	E3	1971	Steinkohle
35	KW Herne*	Herne 2	1963	Steinkohle
36	KW Herne*	Herne 3	1966	Steinkohle
37	KW Kirchlengern*		1980	Erdgas
38	KW Lünen*	Lünen 6	1962	Steinkohle
39	KW Lünen*	Lünen 7	1969	Steinkohle

40	KW Walsum	Walsum 7	1959	Steinkohle
41	KW West	West 2	1971	Steinkohle
42	KW West	West 1	1971	Steinkohle
43	Niederaußem	B	1963	Braunkohle
44	Niederaußem	A	1963	Braunkohle
45	Niederaußem	C	1965	Braunkohle
46	Niederaußem	E	1970	Braunkohle
47	Niederaußem	D	1968	Braunkohle
48	Niederaußem	F	1971	Braunkohle
49	O10*	T24	1966	Sonstige
50	O10*	T31	1967	Sonstige
51	Scholven	C	1969	Steinkohle
52	Scholven	B	1968	Steinkohle
53	Scholven	D	1970	Steinkohle
54	Scholven	E	1971	Steinkohle
55	Scholven	F	1979	Steinkohle
56	Weisweiler	F	1967	Braunkohle
57	Weisweiler	E	1965	Braunkohle
58	Westfalen	C	1969	Steinkohle

\* den Emissionsdaten vom MKULNV /MKULNV-GFA, 2015/ nicht eindeutig zuordenbar

Tab. A.8: Übersicht der Kraftwerke, welche zwischen 2015 und 2025 in Betrieb genommen werden sollen /NEP 2015/

Kraftwerksname	Blockname	Inbetriebnahme (Jahr)	Energieträger	Leistung Szenario A2025 [MW]
BoAplus	L	2018	Braunkohle	1100
KW Herne*	Herne-5	2019	Steinkohle	735
KW Lünen	Lünen 8	2018	Steinkohle	735

\* Vorbescheid ist nicht mehr gültig, das Kraftwerk wird nicht gebaut Anmerkung des Ministeriums zum Berichtsteilentwurf

Tab. A.9: Anlagen innerhalb des Anlagentyps Rösten, Schmelzen und Sintern von Erzen mit einem nennenswerten Beitrag an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie

	Betreibername	Anlagenbezeichnung	SCR/SNCR	NO <sub>x</sub> in t/a	Anteil in % von den gesamt-NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors
1	ThyssenKrupp Steel Europe AG Werk Schwelgern	0176 Sinteranlage Schwelgern	nein	5385,32	3,3
2	Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH	0000 Möllervorbereitung	nein	1927,88	1,2
3	DK Recycling und Roheisen GmbH	0120 Sinteranlage	nein	115,79	0,1

Tab. A.10: Anlagen innerhalb des Anlagentyps Zementherstellung  $\geq 500$  t/d mit einem nennenswerten Beitrag an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie

	Betreibername	Anlage Nr Bezeichnung	SCR/SNCR	NO <sub>x</sub> in t/a	Anteil in % von den Gesamt- NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors
1	HeidelbergCement AG - Zementwerk Geseke (Milke)	0001 Anlage zur Herstellung von Zementklinker und Zement	SNCR	695,26	0,43
2	Dyckerhoff AG	0001 Zementherstellung	heSNCR	691,44	0,42
3	CEMEX WestZement GmbH Werk: Kollenbach	0001 Anlage zur Herstellung von Zement	SNCR	639,21	0,39
4	Spenner Zement GmbH & Co. KG	0001 Anlage z.Herst.v. Zement	SNCR	639,14	0,39
5	Portlandzementwerk -Wittekind- Hugo Miebach Söhne KG	0001 Anlage zur Herstellung v. Zement	k.A.	407,15	0,25
6	Phoenix Zementwerke Krogbeumker	0001 Anlage zur Herstellung von Zement	SNCR	390,09	0,24
7	HeidelbergCement AG Zementwerk Ennigerloh	0001 Anlage zur Herstellung von Zementklinker und Zement	SNCR	379,16	0,23
8	Portland- Zementwerke Seibel & Söhne GmbH&Co. KG	0001 Anlage z. Herstellung v. Zement	nein	378,41	0,23
9	Portland- Zementwerke Gebr. Seibel GmbH & Co. KG	0001 Anlage zur Herst. von Zement	SNCR	314,70	0,19
10	Dyckerhoff AG Werksgruppe Nord- Werk Geseke-	0001 Anlage zur Herstellung v. Zement	heSNCR	279,52	0,17
11	Heidelberg Cement AG Zementwerk Paderborn	0001 Herstellung von Zementklinker und Zement (alle Quellen im Werk außer Schotterwerk)	SNCR	260,06	0,16

Tab. A.11: Anlagen innerhalb der Anlagenart Thermische Abfallentsorgung für feste, flüssige, in Behältern gefasste gasförmige, gefährliche Abfälle oder Deponiegas mit einem nennenswerten Beitrag an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie

	Betreibername	Anlage Nr. Bezeichnung	SCR/SNCR	NO <sub>x</sub> in t/a	Anteil in % von den Gesamt-NO <sub>x</sub> - Emissionen des Sektors
1	GMVA Gemein- schafts-Müllver- brennungsanlage Niederrhein GmbH	0010 Müllver- brennungsanlage	2	638	0,4
2	Stadtwerke Düsseldorf AG	0010 Müllver- brennungsanlage	Spez. Kombination zur Entstickung	439	0,3
3	E.ON Energy from Waste Saarbrücken GmbH EEW	A034 EBS- Kraftwerk	2	268	0,2
4	AGR mbH	0002 Siedlungs- abfall- Verbrennungslinie	1	231	0,1
5	EGK Entsorgung- gesellschaft Krefeld GmbH & Co. KG	0001 Müll- und Klärschlammver- brennungsanlage	1+2	231	0,1
6	RWE Generation SE MHKW Karnap	0001 Müllheiz- kraftwerk	1	219	0,1
7	AVEA MHKW Leverkusen GmbH & Co. KG	0001 Hausmüllver- brennungsanlage	1	213	0,1
8	CURRENTA GmbH & Co. OHG (Entsorgungszentru- m Bürrig)	0201 Verbrennungs- anlage Bürrig	Spez. Kom- bination zur Entstickung	190	0,1
9	BMK Biomassekraftwerk Lünen GmbH	0001 BMK Bio- massekraftwerk Lünen	2	188	0,1
10	AGR mbH	0004 Gewerbeabfall Verbrennungslinie	1	182	0,1
11	MVA Weisweiler GmbH & Co. KG	0100 Müllheizkraft- werk Weisweiler/ heute MVA	nein	155	0,1
12	Technische Betriebe Solingen Müllheizkraftwerk	0001 Müllver- brennungsanlage	1	149	0,1
13	Kreis Weseler Abfallgesellschaft mbH & Co. KG Abfallentsorgungsz- entrum Asdonkshof	0100 Müllver- brennungsanlage	1	148	0,1



14	Müllverwertungsanlage Bonn GmbH	0001 Müllverwertungsanlage Bonn	nein	140	0,1
15	Abfallentsorgungs- und Verwertungsgesellschaft Köln mbH	0001 Verbrennung, Restabfall	nein	138	0,1
16	Ökotech Ingenieuresellschaft mbH	0001 Kraftwärmekoppelungsanlage	nein	135	0,1
17	AWG Abfallwirtschaftsgesellschaft mbH Wuppertal	0001 Müllverbrennungsanlage	Spez. Kombination zur Entstickung	115	0,1
18	MKG Marsberger Kraftwerk GmbH	0001 Mehrstofffeuerungsanlage	nein	106	0,1
19	Biomasseheizkraftwerk Bergkamen	0001 Biomasseheizkraftwerk	nein	105	0,1
20	AMK Abfallentsorgungsgesellschaft des Märkischen Kreises	0001 Müllheizkraftwerk Iserlohn	Spez. Kombination zur Entstickung	103	0,1
21	AGR mbH	0003 Industrieabfall-Verbrennungslinie	1	91	0,1
22	Thermische Rückstandsverwertung GmbH & Co KG	0001 Sondermüllverbrennung	1	91	0,1
23	INEOS Köln GmbH, Werk Köln	0018 Reststoffverbrennungsanlage, Geb. O22	nein	78	0,0
24	Borchers Kreislaufwirtschaft	0006 Biomassekraftwerk	2	74	0,0
25	CURRENTA GmbH & Co. OHG	0506 RVAD	nein	68	0,0
26	Hagener Entsorgungsbetrieb HEB GmbH	0010 Müllverbrennungsanlage Hagen	nein	57	0,0
27	Infracor GmbH	0506 Rückstandsverbrennungsanlage	1	42	0,0
28	INNOVATHERM - Ges.zur innovativen Nutzung v.Brennstoffen	0001 Wirbelbettfeuerungsanlage-Fechner 2000	nein	32	0,0
29	BASF Coatings GmbH	0001 Rückstandsverbrennungsanlage, D104; D114	nein	26	0,0
30	Mark-E Aktiengesellschaft	0020 Wirbelschichtfeuerung	nein	25	0,0

31	Kläranlage Bottrop	0001 Wirbelschicht- ofenanlage zur Verbrennung von Klärschlamm	nein	23	0,0
32	CURRENTA GMBH & Co. OHG	0082 Rückstands- verbrennung	nein	19	0,0
33	Dynamit Nobel GmbH ES Explosivstoff- und Systemtechnik	0025 Verbren- nungsanlage	nein	15	0,0
34	AML-IMMOBilien GmbH HeizKraftWerk Minden	0001 Heizkraftwerk Minden	nein	14	0,0
35	Shell Deutschland Oil GmbH Rheinland Raffinerie, Werk Süd	0052 Rückstands- verbrennungs- anlage	nein	12	0,0
36	Bayer Pharma AG	0007 Sonder- abfallver- brennungsanlage	nein	12	0,0
37	WVER Wasserverband Eifel-Rur Zentralkläranlage Düren-Merken	0010 Klärschlamm- verbrennungs- anlage	2	12	0,0
38	SITA Remediation GmbH	0010 BRZ Herne	nein	11	0,0
39	MEWA Textil- Service AG & Co. Bottrop OHG	0011 Recycling- ölbefeuerte Dampfkesselanlage	nein	4,9	0,0
40	Vinnolit GmbH & Co. KG.	B013 RVA 1447	nein	3,5	0,0
41	Stadt Bonn	0100 Klärschlamm- verbrennung	nein	3,0	0,0
42	Wupperverband Kläranlage Buchenhofen	0001 Klärschlamm- verbrennungs- anlage	nein	2,9	0,0
43	Vinnolit GmbH & Co. KG.	A014 RVA 0437	nein	1,0	0,0
44	Forschungszentrum Jülich GmbH	0200 Abfallver- brennungsanlage (radioakt. Abf.)	2	0,3	0,0

Tab. A.12: Anlagen innerhalb des Anlagenart Verarbeitung von Erdöl, Erdölerzeugnissen (Raffinerien) mit einem nennenswerten Beitrag an den Gesamt-NO<sub>x</sub>-Emissionen des Sektors Energiewirtschaft und Industrie

	Betreibername	Anlage Nr Bezeichnung	SCR/SNCR	NO <sub>x</sub> in t/a	Anteil in % von den Gesamt- NO <sub>x</sub> -Emissionen des Sektors
1	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	0574 Kraftwerk	SCR	302	0,2
2	Shell Deutschland Oil GmbH Rheinland Raffinerie Werk Nord	0002 Raffinerie II	nein	302	0,2
3	Shell Deutschland Oil GmbH Rheinland Raffinerie Werk Nord	0007 Raffinerie I	nein	290	0,2
4	Shell Deutschland Oil GmbH Rheinland Raffinerie Werk Nord	0010 Konversionsanlage	nein	290	0,2
5	Ruhr Oel GmbH Werk Horst	0180 Kalzinierung	nein	283	0,2
6	Ruhr Oel GmbH Werk Horst	0122 Refiner / Reformer 4	nein	280	0,2
7	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	1221 Olefinanlage 3	nein	278	0,2
8	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	1452 Olefinanlage 4	nein	278	0,2
9	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	1529 Hydrocracker	nein	275	0,2
10	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	0689 Destillation A7	nein	275	0,2
11	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	1521 Destillation A8	nein	271	0,2
12	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	1530 Fackelsysteme	nein	269	0,2
13	Shell Deutschland Oil GmbH Rheinland Raffinerie, Werk Süd	0011 CCR- Platformer	nein	268	0,2
14	Shell Deutschland Oil GmbH Rheinland Raffinerie, Werk Süd	0018 Rohöldestillation	nein	267	0,2
15	Ruhr Oel GmbH Werk Horst	0420 FCC-Komplex	nein	261	0,2

16	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	0125 Wasserstoff- zeugung	nein	260	0,2
17	Ruhr Oel GmbH Werk Horst	0216 Fackelsysteme	nein	259	0,2
18	Ruhr Oel GmbH Werk Horst	0140 Cokermitteloel- hydrierung	nein	254	0,2
19	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	1527 Vakuumdestillation V3	nein	253	0,2
20	Ruhr Oel GmbH Werk Horst	0303 Destillation A 11	nein	250	0,2
21	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	1425 Schwerölvergasung	nein	249	0,2
22	Shell Deutschland Oil GmbH Rheinland Raffinerie, Werk Süd	0010 Redestillation	nein	248	0,2
23	Ruhr Oel GmbH Werk Horst	0452 Vakuumdestillation V4	nein	246	0,2
24	Shell Deutschland Oil GmbH Rheinland Raffinerie, Werk Süd	0014 Ölvergasung	nein	238	0,1
25	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	0787 Visbreaker	nein	231	0,1
26	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	0690 Vakuumdestillation V2	nein	231	0,1
27	DHC Solvent Chemie GmbH	0001 Mineralöldestillation sanlage	Katalytische Gasreinigun g	230	0,1
28	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	1523 MDE 400	nein	221	0,1
29	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	1222 Aromatenanlage 3, 4 und N-Tanke	nein	219	0,1
30	Ruhr Oel GmbH Werk Horst	0311 HD-Unifiner	nein	219	0,1
31	Shell Deutschland Oil GmbH Rheinland Raffinerie, Werk Süd	0003 Hydrier- und Entschwefelungsanl age	nein	214	0,1
32	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	0479 Infrastruktur	nein	213	0,1

33	Shell Deutschland Oil GmbH Rheinland Raffinerie, Werk Süd	0009 Krackanlage	nein	211	0,1
34	Ruhr Oel GmbH Werk Horst	0001 Infrastruktur	nein	209	0,1
35	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	1526 Methanol-Anlage	nein	208	0,1
36	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	0148 Cumol- und Cyclohexananlagen	nein	207	0,1
37	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	0684 Aromatenanlage 2	nein	207	0,1
38	RUHR OEL GMBH Hafentanklager	0002 Schiffsdämpfeverbrennungsanlage	nein	206	0,1
39	RUHR OEL GMBH Werk Scholven	1421 NH <sub>3</sub> -Anlage	nein	204	0,1

## B. Anhang: Kleinf Feuerungsanlagen

Die Berechnungen des Endenergieverbrauchs und des Emissionsaufkommen von NO<sub>x</sub> und Partikeln (Gesamtstaub) für Düsseldorf erfolgten auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Schornsteinfegerdaten und auf Basis der abgeschlossenen Projekte des Umweltbundesamtes (UBA) zur Ermittlung des Emissionsaufkommens in Deutschland:

- „Ermittlung der mittleren Emissionsfaktoren zur Darstellung der Emissionsentwicklung aus Feuerungsanlagen im Bereich Haushalte“ /Pfeiffer et al. 2000/.
- „Ermittlung und Evaluierung der Feinstaubemissionen aus Kleinf Feuerungsanlagen im Bereich der Haushalte sowie Ableitung von geeigneten Strategien zur Emissionsminderung“ /Struschka et al. 2003/.
- „Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung“ /Struschka et al. 2007/.
- „Ermittlung und Minderung der Emissionen krebserzeugender und weiterer besonders gesundheitsgefährdender Stoffe bei Kleinf Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe“ /Greiselis-B. et al. 2006/.
- „Ermittlung aktueller Emissionsfaktoren für das Bezugsjahr 2008“ /Struschka et al. 2012/.

Bild B.9.3 zeigt die grundsätzliche Vorgehensweise zur Berechnung des Emissionsaufkommens für Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Düsseldorf.

Damit auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Schornsteinfegerdaten das Emissionsaufkommen des Anlagenbestandes mit hohem Differenzierungsgrad berechnet werden kann, wurden aus den abgeschlossenen Projekten im Wesentlichen die Emissionsangaben, die gerätebezogenen Vollbenutzungsstunden und mittleren Feuerungswärmeleistungen sowie, falls sich die Angaben nicht aus den Schornsteinfegerdaten ableiten ließen, Strukturen des Anlagenbestandes und der Alters- und Leistungsklassen herangezogen.

Bei den Berechnungen erfolgt eine Differenzierung der Emissionsquellen nach den Brennstoffen Heizöl, Erdgas, Holz sowie Kohlen, unterschieden nach Stein- und Braunkohlen (Briketts).

Für die Berechnung der gewichteten Mittelwerte der Emissionsfaktoren pro Anlagenart wird unterschieden nach Ölheizungen, Gasheizungen sowie Anlagen für feste Brennstoffe (Einzelraumfeuerstätten, Kessel). Innerhalb der Anlagenarten wird unterschieden nach der Anlageleistung (Leistungsstufen z.B.: 4 - 15 kW, 15 - 50 kW und > 50 kW, die Leistungsstufung ist abhängig von der Anlagenart) und dem Anlagenalter (Altersstufen z.B.: vor 1994, 1995 - 2010, 2010 - 2013).

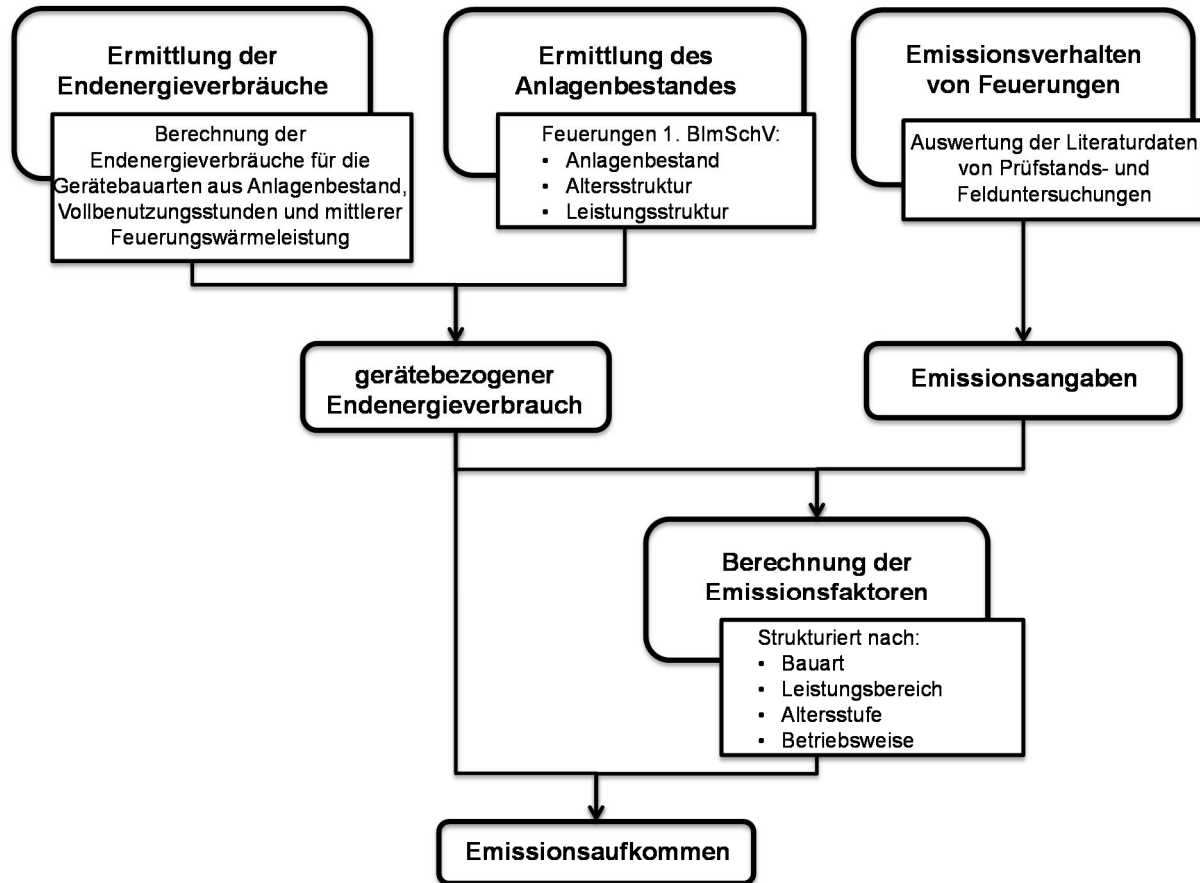


Bild B.9.3: Vorgehensweise zur Berechnung des Emissionsaufkommens aus Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Düsseldorf

## Ermittlung des Anlagenbestandes

### Bezugsjahr 2013 (Basisfall)

Die Anlagendaten für Düsseldorf sind in Tab. B.1 in der zur Verfügung gestellten Struktur aufgeführt /MKULNV 2015/. Diese entspricht nicht genau der zur Berechnung des Emissionsaufkommens benötigten Struktur. Deshalb wurde auf Grundlage der zur Verfügung gestellten Daten und mit Anlagen- und Berechnungsstrukturen aus den zitierten abgeschlossenen Vorhaben zur Ermittlung von Emissionsfaktoren und vom Emissionsaufkommen in Deutschland eine entsprechend differenzierte Anlagenstruktur für Düsseldorf berechnet:

- Heizöl EL (schwefelarme Qualität), unterschieden nach Ölfen mit Verdampfungsbrennern, Heizkessel mit Ölgebläsebrennern und Ölbrennwertgeräte
- Brenngase (Erdgase und Flüssiggas) unterschieden nach Raumheizer, Heizkessel mit Gasbrennern (ohne/mit Gebläse), Brennwertgeräte, Durchlaufwasserheizer, Kombiwasserheizer und Vorratswasserheizer

- Feste Brennstoffe (Kohlen- und Holzbrennstoffe) unterschieden nach Dauerbrandöfen, Kachelöfen, Kamine, Kaminöfen, Pelletöfen, Heizkessel (handbeschickt für Stückholz und mechanisch beschickt für Holzpellets und Hackschnittel), Badeöfen und Herde.

Feuerungsanlagen, die für den Betrieb mit Flüssiggas geeignet sind, konnten keiner genaueren Betrachtung unterzogen werden, da zur Anlagenstruktur und zum Emissionsverhalten nach wie vor keine Daten zur Verfügung stehen. Bei der Betrachtung von Heizöl EL wird davon ausgegangen, dass der Anteil an schwefelarmem Heizöl EL im Jahr 2013 bei nahezu 100 % liegt /IWO 2012/.

In Tab. B.2 ist die neu berechnete Struktur der in Düsseldorf installierten Feuerungsanlagen für den Basisfall (Bezugsjahr 2013) aufgeführt.

In den zur Verfügung gestellten Schornsteinfegerdaten /MKULNV 2015/ waren keine Angaben zur Anzahl der installierten Ölöfen mit Verdampferbrennern enthalten. Da es nicht plausibel ist, dass in Düsseldorf diese Bauart nicht installiert ist, wurde Anhand des Anteils von Ölverdampferbrennern am Gesamtbestand entsprechend dem Verhältnis in /Struschka et al. 2012/ eine Anlagenanzahl abgeschätzt. Somit erhöht sich die Gesamtzahl der installierten Anlagen auf 141.103 Stück gegenüber den 139.702 Stück aus den Schornsteinfegerdaten.

Bei den Gasfeuerungen lag für Zentralheizungen in den Schornsteinfegerdaten /MKULNV 2015/ keine Aufteilung nach Gasbrennern mit bzw. ohne Gebläse vor. Bei den Einzelfeuerstätten wurde in den Schornsteinfegerdaten nicht nach Kombi- und Durchlaufwasserheizern unterschieden, angegeben waren hier nur Durchlaufwasserheizer bzw. für Anlagen > 50 kW ein Summenwert für Vorrats- und Durchlaufwasserheizer. Die Aufteilung der Schornsteinfegerdaten in die neu berechnete Bestandsstruktur erfolgte Anhand der entsprechenden prozentualen Anteile der Feuerungsanlagen in /Struschka et al. 2012/.

Bei Anlagen für feste Brennstoffe erfolgte bei den Schornsteinfegerdaten lediglich eine Unterscheidung zwischen Zentralheizungen und Einzelfeuerstätten, die Anteile einzelner Bauarten wurden nicht aufgeführt. Eine Aufteilung auf die einzelnen Bauarten der Feuerungen für feste Brennstoffe erfolgte entsprechend den Anteilen dieser am Gesamtbestand der Anlagen für feste Brennstoffe nach /Struschka et al. 2012/.

Tab. B.3 bis Tab. B.5 geben für die Feuerungen, unterteilt nach Brennstoffen, die Aufteilung des für Düsseldorf berechneten Anlagenbestandes in Leistungsbereiche und Altersstufen sowie die mittleren Leistungen wieder.



Tab. B.1: Detaillierte Daten der installierten Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf im Jahr 2013 /MKULNV 2015/

Brennstoff / Anlagenart / Baujahre			Nennwärmeleistung	Düsseldorf	
				Anzahl	Anteil in %
Gas	Zentralheizungen	Baujahr bis Dezember 1997	1 - 25 kW	34.436	25
			> 25 - 50 kW	4.209	3,0
			> 50 - 100 kW	2.741	2,0
			> 100 kW	2.007	1,4
			<b>insgesamt</b>	<b>43.393</b>	<b>31</b>
		Baujahr ab Januar 1998	1 - 25 kW	39.503	28
			> 25 - 50 kW	2.988	2,1
			> 50 - 100 kW	1.840	1,3
			> 100 kW	1.563	1,1
			<b>insgesamt</b>	<b>45.894</b>	<b>33</b>
	Gas-Brennwertheizungen			15.242	11
	<b>Summe Zentralheizungen</b>			<b>104.529</b>	<b>75</b>
	Einzelfeuerstätten	bis 50 kW	Raumheizer	3.677	2,6
			Vorratwasserspeicher	1.659	1,2
			Durchlaufwasserheizer	12.444	8,9
			<b>insgesamt</b>	<b>17.780</b>	<b>13</b>
		größer 50 kW	Vorratwasserspeicher u. Durchlaufwasserh.	32	0,02
<b>insgesamt</b>			<b>32</b>	<b>0,02</b>	
<b>Summe Einzelfeuerstätten</b>			<b>17.812</b>	<b>13</b>	
<b>Summe Gas</b>			<b>122.341</b>	<b>88</b>	
Öl	Zentralheizungen	Baujahr bis Dezember 1997	11 - 25 kW	1.042	0,75
			> 25 - 50 kW	1.700	1,2
			> 50 - 100 kW	1.045	0,75
			> 100 kW	992	0,71
			<b>insgesamt</b>	<b>4.779</b>	<b>3,4</b>
		Baujahr ab Januar 1998	11 - 25 kW	993	0,71
			> 25 - 50 kW	1.093	0,78
			> 50 - 100 kW	633	0,45
			> 100 kW	672	0,48
			<b>insgesamt</b>	<b>3.391</b>	<b>2,4</b>
	Öl-Brennwertheizungen			228	0,16
<b>Summe Zentralheizungen</b>			<b>8.398</b>	<b>6,0</b>	
Feste Brennstoffe	Zentralheizungen *	1 - 15 kW	24	0,02	
		> 15 - 50 kW	63	0,05	
		> 50 kW	31	0,02	
		<b>insgesamt</b>	<b>118</b>	<b>0,08</b>	
	Einzelfeuerstätten **	4 - 10 kW	8.845	6,3	
<b>Summe Feste Brennstoffe</b>			<b>8.963</b>	<b>6,4</b>	
<b>Summe Feuerungsanlagen 1. BImSchV</b>			<b>139.702</b>	<b>100</b>	

\* feste Brennstoffe (Kohle, Koks, Scheitholz, Pellet)

\*\* Zimmeröfen, Kaminöfen, offene Kamine für feste Brennstoffe

Tab. B.2: Berechnete Struktur der Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf im Jahr 2013 für den Basisfall

Bestand an Feuerstätten nach 1. BImSchV in Düsseldorf (2013)		Basisfall [Stück]
Heizöl EL	Ölöfen mit Verdampfungsbrennern	1.401
	Heizkessel mit Ölgebläsebrenner	8.170
	Ölbrennwertgeräte	228
	<b>Summe</b>	<b>9.799</b>
Brenngase	Gasbrenner mit Gebläse (Heizkessel)	9.084
	Gasbrenner ohne Gebläse (Heizkessel)	80.203
	Kombiwasserheizer	9.126
	Durchlaufwasserheizer	3.318
	Vorratswasserheizer	1.691
	Raumheizer	3.677
	Brennwertgeräte	15.242
	<b>Summe</b>	<b>122.341</b>
Festbrennstoffe (Kohlen- und Holzbrennstoffe)	Heizkessel - handbeschickt	100
	Heizkessel für Pellets	16
	Heizkessel - mechanisch beschickt	2
	Dauerbrandöfen	934
	Kachelöfen (mit Heizeinsatz oder als Grundofen)	2.397
	Kaminöfen	2.711
	Pelletöfen	31
	Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)	2.028
	Badeöfen	56
	Herde (und Heizungsherde)	688
<b>Summe</b>	<b>8.963</b>	
<b>Gesamtbestand der Feuerstätten</b>		<b>141.103</b>

## Ölfeuerungen

Tab. B.3: Bestand an Ölfeuerungen und mittleren Leistungen in Düsseldorf im Jahr 2013 unterteilt in Leistungsbereiche und Altersstufen - Basisfall

Ölfeuerungen in Düsseldorf (2013)	Leistungs- bereich in kW (mittlere Leistung <sup>1</sup> )	Altersstufe	Anzahl insgesamt [Stück]	davon in Alterstufe	
				Anteil [%]	Anzahl [Stück]
Gesamtbestand in Stück: 9.799					
Ölöfen mit Verdampfungsbrennern	≥ 4  (10 kW)	bis 1988/89	1.401	20	276
		1990 - 1997		66	925
		1998 - 2013		14	200
Heizkessel mit Ölgebläsebrennern	≥ 4 - 25  (20 kW)	bis 1988/89	2.035	14	287
		1990 - 1997		37	755
		1998 - 2013		49	993
	> 25 - 50  (32 kW)	bis 1988/89	2.793	39	1.098
		1990 - 1997		22	602
		1998 - 2013		39	1.093
gesamt:	> 50  (118 kW)	bis 1988/89	3.342	39	1.310
8.170		1990 - 1997		22	727
		1998 - 2013		39	1.305
Ölbrennwertgeräte	≥ 4  (20 kW)	bis 1997	228	0	0
		1998 - 2013		100	228

<sup>1</sup> die mittlere Leistung wurde aus den Nennwärmeleistungen von installierten Anlagen berechnet und wird deshalb auch als mittlere Nennwärmeleistung bezeichnet

Bei den Ölfeuerungen wurden die mittleren Nennwärmeleistungen und die Anteile der Altersstufe bis 1988/89 (angegeben war bei den Schornsteinfegerdaten lediglich die Baualterstufe bis Dezember 1997) aus /Struschka et al. 2012/ übernommen.

## Gasfeuerungen

Bei den Gasfeuerungen wurden die mittleren Nennwärmeleistungen und die Anteile der Altersstufe bis 1988/89 (angegeben war bei den Schornsteinfegerdaten lediglich die Baualterstufe bis Dezember 1997) aus /Struschka et al. 2012/ übernommen.

Tab. B.4: Bestand an Gasfeuerungen und mittlere Leistungen in Düsseldorf im Jahr 2013 unterteilt in Leistungsbereiche und Altersstufen - Basisfall

Gasfeuerungen in Düsseldorf (2013)	Leistungs- bereich in kW (mittlere Leistung <sup>1</sup> )	Altersstufe	Anzahl insgesamt	davon in Alterstufe		
				Anteil	Anzahl	
				[Stück]	[Stück]	
Gesamtbestand in Stück: 122.341				[%]	[Stück]	
Gasbrenner mit Gebläse (Heizkessel)	≥ 4 - 25 (21 kW)	bis 1988/89	7.522	17	1.254	
		1990 - 1997		30	2.249	
		1998 - 2013		53	4.019	
	> 25 - 50 (37 kW)	bis 1988/89	732	40	295	
		1990 - 1997		18	133	
		1998 - 2013		42	304	
	gesamt:	> 50 (434 kW)	bis 1988/89	829	29	239
	9.084	1990 - 1997	29		244	
		1998 - 2013	42		346	
Gasbrenner ohne Gebläse (Heizkessel)	≥ 4 - 25 (19 kW)	bis 1988/89	66.417	16	10.430	
		1990 - 1997		31	20.503	
		1998 - 2013		53	35.484	
	> 25 - 50 (35 kW)	bis 1988/89	6.465	24	1.541	
		1990 - 1997		35	2.239	
		1998 - 2013		42	2.684	
	gesamt:	> 50 (85 kW)	bis 1988/89	7.322	23	1.686
	80.203	1990 - 1997	35		2.579	
		1998 - 2013	42		3.057	
Kombiwasserheizer	≥ 4 (19 kW)	bis 1988/89	9.126	10	944	
		1990 - 1997		85	7.751	
		1998 - 2013		5	431	
Durchlaufwasserheizer	≥ 4 (19 kW)	bis 1988/89	3.318	3	108	
		1990 - 1997		91	3.033	
		1998 - 2013		5	178	
Vorratswasserheizer	≥ 4 (13 kW)	bis 1988/89	1.691	93	1.579	
		1990 - 1997		6	102	
		1998 - 2013		1	10	
Raumheizer	≥ 4 (8 kW)	bis 1988/89	3.677	13	488	
		1990 - 1997		74	2.734	
		1998 - 2013		12	456	
Brennwertgeräte	≥ 4 (23 kW)	bis 1988/89	15.242	0	0	
		1990 - 1997		0	0	
		1998 - 2013		100	15.242	

<sup>1</sup> die mittlere Leistung wurde aus den Nennwärmeleistungen von installierten Anlagen berechnet und wird deshalb auch als mittlere Nennwärmeleistung bezeichnet

### **Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe**

Bei den Feuerstätten für feste Brennstoffen wurden die Anteile der Altersstufe (in den Schornsteinfegerdaten waren keine Baualterstufen aufgeführt) aus /Struschka et al. 2012/ übernommen. Ebenso wurden die mittleren Nennwärmeleistungen aus diesem abgeschlossenen Vorhaben verwendet, wobei die Zuordnung mangels Datengrundlage so erfolgte, dass die mittleren Nennwärmeleistungen der bisherigen Leistungsklassen  $\geq 4 - 25$  kW bzw.  $> 25 - 50$  kW den neuen Klassen  $\geq 4 - 15$  kW bzw.  $> 15 - 50$  kW zugeordnet wurden. Wahrscheinlich ergibt sich hierdurch eine Überschätzung der mittleren Nennwärmeleistungen beider Leistungsklassen. Da keine aktuellen Bestandsdaten für Düsseldorf vorliegen, kann keine begründete Angabe der mittleren installierten Nennwärmeleistungen vorgenommen werden.

Für Düsseldorf wurde das Emissionsaufkommen getrennt für Kohle- und Holzfeuerungen berechnet. In den Vorgängervorhaben wurden Kohlefeuerungen nicht separat ausgewiesen, weshalb die mittleren Nennwärmeleistungen für Kohle- und Holzfeuerungen gleicher Bauarten identisch angesetzt wurden.

Tab. B.5: Bestand an Feuerstätten für feste Brennstoffe und mittlere Leistungen in Düsseldorf im Jahr 2013 unterteilt in Leistungsbereiche und Altersstufen - Basisfall

Feuerstätten für feste Brennstoffe in Düsseldorf (2013) - Kohlen- und Holzbrennstoffe	Leistungs- bereich in kW (mittlere Leistung <sup>1</sup> )	Altersstufe	Anzahl insgesamt [Stück]	davon in Alterstufe		
				Anteil [%]	Anzahl [Stück]	
Gesamtbestand in Stück: 8.963						
Heizkessel - handbeschickt	≥ 4 - 15 (20 kW)	bis 1994	20	20	4	
		1995 - 2010		60	12	
		2010 - 2013		20	4	
	> 15 - 50 (35 kW)	bis 1994	54	17	9	
		1995 - 2010		65	35	
		2010 - 2013		19	10	
	gesamt:	> 50 (91 kW)	bis 1994 1995 - 2010 2010 - 2013	26	15 85 0	4 22 0
	100					
	Heizkessel für Pellets	≥ 4 - 15 (18 kW)	bis 1994	3	0	0
1995 - 2010			33		1	
2010 - 2013			67		2	
> 15 - 50 (32 kW)		bis 1994	8	0	0	
		1995 - 2010		63	5	
		2010 - 2013		38	3	
gesamt:		> 50 (80 kW)	bis 1994 1995 - 2010 2010 - 2013	5	0 80 20	0 4 1
16						
Heizkessel - mechanisch beschickt		≥ 4 - 15	bis 1994	0	0	0
	1995 - 2010		0		0	
	2010 - 2013		0		0	
	> 15 - 50 (41 kW)	bis 1994	1	0	0	
		1995 - 2010		100	1	
		2010 - 2013		0	0	
	gesamt:	> 50 (158 kW)	bis 1994 1995 - 2010 2010 - 2013	1	100 0 0	1 0 0
	2					
	Dauerbrandöfen	≥ 4 (6,2 kW)	bis 1994	934	59	551
1995 - 2010			34		314	
2010 - 2013			7		69	
Kachelöfen (mit Heizeinsatz oder als Grundöfen)	≥ 4 (7,6 kW)	bis 1994	2.397	56	1.343	
		1995 - 2010		36	863	
		2010 - 2013		8	191	
Kaminöfen	≥ 4 (7,4 kW)	bis 1994	2.711	7	190	
		1995 - 2010		62	1.689	
		2010 - 2013		31	832	
Pelletöfen	≥ 4 (10 kW)	bis 1994	31	0	0	
		1995 - 2010		35	11	
		2010 - 2013		65	20	
Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)	≥ 4 (5,9 kW)	bis 1994	2.028	59	1.197	
		1995 - 2010		33	669	
		2010 - 2013		8	162	
Badeöfen	≥ 4 (7,0 kW)	bis 1994	56	43	24	
		1995 - 2010		46	26	
		2010 - 2013		11	6	
Herde (und Heizungsherde)	≥ 4 (6,4 kW)	bis 1994	688	62	428	
		1995 - 2010		30	206	
		2010 - 2013		8	54	

<sup>1</sup> die mittlere Leistung wurde aus den Nennwärmeleistungen von installierten Anlagen berechnet und wird deshalb auch als mittlere Nennwärmeleistung bezeichnet

## Anlagenbestand für die Strategien

Um im Bereich der Kleinf Feuerungsanlagen mögliche NO<sub>x</sub>-Minderungspotenziale zu identifizieren und zu bewerten, werden drei Strategien untersucht.

Bei der **Strategie 1** soll betrachtet werden, welchen Einfluss der Austausch von Altanlagen auf das Emissionsaufkommen hat. Hierbei wurde für Ölfeuerungen angenommen, dass die Baualterstufe „bis 1988/89“ vollständig ersetzt wird. Die hierin enthaltenen Anlagen wurden der Baualterstufe „1990 - 1997“ zugerechnet. Ein Ersatz dieser Anlagen durch die Baualterstufe „1998 - 2013“ wurde aufgrund der Datenlage (Lücken bei den Emissionswerten in dieser Baualterstufe, bei fehlenden Emissionswerten wird kein Emissionsaufkommen berechnet) nicht durchgeführt. Bei Gasfeuerungen wurde angenommen, dass nur noch Geräte in der Baualterstufe „1998 - 2013“ vorhanden sind.

Bei Feuerungen für feste Brennstoffe wurde analog zu Ölfeuerungen verfahren, auch hier konnten die Altanlagen in der Baualterstufe „bis 1994“ aufgrund der Datenlage nicht jüngsten Baualterstufe „2010 - 2013“ zugerechnet werden, sondern wurden in die Baualterstufe „1995 - 2010“ integriert.

Da bei allen Bauarten ein Ersatz der Anlagen in derselben Kategorie erfolgte, ändert sich bei Umsetzung der Strategie 1 weder die Anlagenzahl noch der berechnete Endenergieverbrauch im Vergleich zum Basisfall.

Bei der **Strategie 2** soll betrachtet werden, welchen Einfluss ein Brennstoffwechsel auf das Emissionsaufkommen hat. Hierbei wird angenommen, dass Ölfeuerungen vollständig durch Gasfeuerungen ersetzt werden. Außerdem wird angenommen, dass es nur noch Gasfeuerungen der Baualterstufe „1998 - 2013“ gibt, d.h. alle Gasanlagen sind modernisiert.

Bei den festen Brennstoffen wird angenommen, dass nur noch Pelletfeuerungen in den Baualterstufen „1995 - 2010“ und „2010 - 2013“ in Betrieb sind. Hierbei wurden Stückholz- und Hackschnitzelkessel durch Pelletkessel und Einzelfeuerstätten für Stückholz durch Pelletöfen ersetzt. Bei Kohlekesseln und Einzelfeuerstätten für Kohle wurde analog verfahren, d.h. diese wurden ebenfalls durch Pelletkessel bzw. Pelletöfen ersetzt.

Die Umsetzung der Strategie 2 erfolgte derart, dass der berechnete Endenergieverbrauch im Vergleich zum Basisfall unverändert bleibt. Da die unterschiedlichen Bauarten auch unterschiedliche mittlere Nennwärmeleistungen und Vollbenutzungsstunden aufweisen, ergibt sich ein anderer Anlagenbestand.

Bei der **Strategie 3** soll betrachtet werden, wie sich ein verbessertes Nutzerverhalten bei modernen Feuerungsanlagen auf das Emissionsaufkommen auswirkt. Hierbei wurde angenommen, dass, ausgehend von der Strategie 2, die jeweiligen Vollbenutzungsstunden der verschiedenen Gerätebauarten aufgrund der höheren Energieeffizienz um 10 % abnehmen, wodurch sich auch der Endenergieverbrauch proportional reduziert. Gegenüber der Strategie 2 bleibt der Anlagenbestand hierbei unverändert.

In Tab. 7.6 sind die berechneten Strukturen der Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf für den Basisfall und die Strategien 1 bis 3 dargestellt.

Tab. B.6: Struktur der Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV für Düsseldorf für den Basisfall und die Strategien 1 bis 3

Bestand an Feuerstätten nach 1. BImSchV in Düsseldorf in Stück		Basisfall 2013	Strategie 1	Strategie 2	Strategie 3
Heizöl EL	Ölöfen mit Verdampfungsbrennem	1.401	1.401	0	0
	Heizkessel mit Ölgebläsebrenner	8.170	8.170	0	0
	Ölbrennwertgeräte	228	228	0	0
	<b>Summe</b>	<b>9.799</b>	<b>9.799</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
Brenngase	Gasbrenner mit Gebläse (Heizkessel)	9.084	9.084	10.054	10.054
	Gasbrenner ohne Gebläse (Heizkessel)	80.203	80.203	85.234	85.234
	Kombiwasserheizer	9.126	9.126	9.126	9.126
	Durchlaufwasserheizer	3.318	3.318	3.318	3.318
	Vorratswasserheizer	1.691	1.691	1.691	1.691
	Raumheizer	3.677	3.677	6.012	6.012
	Brennwertgeräte	15.242	15.242	15.471	15.471
	<b>Summe</b>	<b>122.341</b>	<b>122.341</b>	<b>130.907</b>	<b>130.907</b>
Festbrennstoffe (Kohlen- und Holzbrennstoffe)	Heizkessel - handbeschickt	100	100	0	0
	Heizkessel für Pellets	16	16	171	171
	Heizkessel - mechanisch beschickt	2	2	0	0
	Dauerbrandöfen	934	934	0	0
	Kachelöfen (mit Heizeinsatz oder als Grundöfen)	2.397	2.397	0	0
	Kaminöfen	2.711	2.711	0	0
	Pelletöfen	31	31	3.970	3.970
	Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)	2.028	2.028	0	0
	Badeöfen	56	56	0	0
	Herde (und Heizungsherde)	688	688	0	0
	<b>Summe</b>	<b>8.963</b>	<b>8.963</b>	<b>4.141</b>	<b>4.141</b>
<b>Gesamtbestand der Feuerstätten</b>		<b>141.103</b>	<b>141.103</b>	<b>135.048</b>	<b>135.048</b>

## Ermittlung des Endenergieverbrauchs

Die Berechnung des Endenergieverbrauchs der Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Düsseldorf erfolgte anhand des Anlagenbestandes einer Bauart, der Anzahl an Vollbenutzungsstunden und der mittleren Nennwärmeleistung. Am Ende der durch-



geführten Berechnungen steht ein gerätebezogener Endenergieverbrauch mit hohem Detaillierungsgrad. Der aus dem Endenergieverbrauch ermittelte gerätebezogene Endenergieverbrauch wird zur Berechnung der Emissionsfaktoren und des Emissionsaufkommens herangezogen.

In Tab. B.7 ist der berechnete Endenergieverbrauch für die betrachteten Brennstoffe für den Basisfall und die Strategien 1 bis 3 dargestellt. Im Basisfall und bei der Strategie 1 entfallen rund 99 % des Endenergieverbrauchs auf Heizöl EL (ca. 15 %) und Brenngase (ca. 84 %), lediglich ca. 1 % auf feste Brennstoffe. Anlagen für feste Brennstoffe haben im Basisfall und bei Strategie 1 einen Anteil von ca. 6,4 % am Gesamtbestand der betrachteten Anlagen.

Tab. B.7: Endenergieverbräuche für Düsseldorf für Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV - eigene Berechnungen anhand des Anlagenbestandes für das Jahr 2013 (Basisfall) und die Strategien 1 bis 3

Endenergieverbrauch in Düsseldorf für Anlagen nach 1. BImSchV	Basisfall 2013 [TJ]	Strategie 1 [TJ]	Strategie 2 [TJ]	Strategie 3 [TJ]
Heizöl	1.969	1.969		
<i>davon Heizöl EL</i>	<i>1.969</i>	<i>1.969</i>		
Brenngase	11.269	11.269	13.238	11.914
<i>davon Erdgas H und L</i>	<i>11.269</i>	<i>11.269</i>	<i>13.238</i>	<i>11.914</i>
Steinkohlen	6,0	6,0		
Steinkohlenkoks	0,4	0,4		
Steinkohlenbriketts	0,1	0,1		
Braunkohlenbriketts	17	17		
<i>davon Braunkohlenbriketts</i>	<i>17</i>	<i>17</i>		
Holzbrennstoffe	114	114	138	124
<i>davon Pellets</i>	<i>3,3</i>	<i>3,3</i>	<i>138</i>	<i>124</i>
<i>davon naturbelassenes Holz</i>	<i>111</i>	<i>111</i>		
<b>Summe</b>	<b>13.376</b>	<b>13.376</b>	<b>13.376</b>	<b>12.038</b>

## Gerätebezogener Energieverbrauch der Feuerungsanlagen

Der Endenergieverbrauch für die Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV in Düsseldorf wird im Folgenden strukturiert nach Gerätegruppen (Bauarten der Feuerungsanlagen) und Leistungsbereiche aufgeschlüsselt. Der gerätebezogene Endenergieverbrauch wird zur Berechnung des Emissionsaufkommens einer Gerätebauart herangezogen. Die Struktur des gerätebezogenen Endenergieverbrauchs ist auf die Bearbeitungstiefe der Anlagenstruktur

und der Emissionsfaktoren abgestimmt. Durch Multiplikation des strukturiert erstellten Energieverbrauchs mit den Emissionsfaktoren wird das Emissionsaufkommen berechnet.

Die Anzahl der installierten Feuerstätten einer Bauart beinhaltet alle Geräte, die betriebsbereit eingebaut sind, unabhängig davon, ob diese z.B. regelmäßig oder nie betrieben werden. Innerhalb einer Bauart wird die über den Anlagenbestand gemittelte Nutzungshäufigkeit der Feuerstätten durch die festgelegte Anzahl der Vollbenutzungsstunden berücksichtigt.

Die Anzahl der jährlichen Vollbenutzungsstunden gibt die Betriebsdauer der Feuerstätte pro Jahr bei Nennwärmeleistung (bzw. hier bei mittlerer Nennwärmeleistung) an. Unter der jährlichen Betriebsdauer wird die Summe der Zeiträume verstanden, während denen Verbrennungsvorgänge in der Feuerstätte stattfinden. Dies ist z.B. bei Heizkesseln mit Ölgebläsebrennern die Summe der jährlichen Brennerlaufzeiten (ohne Vorbelüftungsphasen) oder bei chargenweise beschickten Holzfeuerungen die Summe der Zeiträume, in denen ein Chargenabbrand stattfindet. Je nach Bau- und Ausführungsart der Feuerung setzen sich die Vollbenutzungsstunden u.U. aus Zeiträumen unterschiedlicher Wärmeleistungen zusammen. Um die Berechnung des gerätebezogenen Endenergieverbrauchs zu vereinfachen, sind alle Zeiträume entsprechend ihren Wärmeleistungen in der Rechengröße "Vollbenutzungsstunden" enthalten. Die Vollbenutzungsstunden entsprechen nur dann der tatsächlichen Betriebsdauer der Feuerstätte, wenn diese immer bei Nennwärmeleistung betrieben wird. Wird die Feuerstätte mit Wärmeleistungen kleiner der Nennwärmeleistung betrieben, so ist die effektive jährliche Betriebsdauer entsprechend länger.

Da die Rechengröße "Vollbenutzungsstunden" u.U. nicht das tatsächliche Betriebsverhalten der installierten Feuerstätten wiedergibt, erfolgt die Berechnung der Emissionsfaktoren und des Emissionsaufkommens ggf. unter Berücksichtigung verschiedener Wärmeleistungen (Lastfälle). Hierzu wird für alle betrachteten Bauarten von Feuerungen deren gerätebezogener Endenergieverbrauch auf die spezifischen Lastfälle verteilt.

## **Ölfeuerungen**

In Tab. B.8 sind die berechneten gerätebezogenen Endenergieverbräuche für die installierten Ölfeuerungen in Düsseldorf für den Basisfall im Jahr 2013 und die Strategie 1 aufgelistet. Bei den Strategien 2 und 3 wurde angenommen, dass die Ölfeuerungen durch Gasfeuerungen ersetzt wurden.

Tab. B.8: Gerätebezogene Endenergieverbräuche der in Düsseldorf installierten Ölfeuerungen im Jahr 2013 für den Basisfall und für die Strategie 1

Ölfeuerungen in Düsseldorf	Leistungs- bereich	Anlagen- bestand	jährliche Voll- benutzungs- stunden	mittlere Nennwärme- leistung	gerätebezogener Endenergie- verbrauch		
					[kW]	[Stück]	[h]
<b>Basisfall 2013</b>							
Ölöfen mit Verdampfungsbrennern	≥ 4	1.401	520	10	26	1,3	
Heizkessel mit Ölgebläsebrenner	≥ 4 - 25	2.035	1.075	20	158	8,0	
	> 25 - 50	2.793	1.015	32	327	17	
	> 50	3.342	1.015	118	1.441	73	
Ölbrennwertgeräte	≥ 4	228	1.085	20	18	0,9	
<b>Summe</b>	<b>≥ 4</b>	<b>9.799</b>			<b>1.969</b>	<b>100</b>	

Ölfeuerungen in Düsseldorf	Leistungs- bereich	Anlagen- bestand	jährliche Voll- benutzungs- stunden	mittlere Nennwärme- leistung	gerätebezogener Endenergie- verbrauch		
					[kW]	[Stück]	[h]
<b>Strategie 1</b>							
Ölöfen mit Verdampfungsbrennern	≥ 4	1.401	520	10	26	1,3	
Heizkessel mit Ölgebläsebrenner	≥ 4 - 25	2.035	1.075	20	158	8,0	
	> 25 - 50	2.793	1.015	32	327	17	
	> 50	3.342	1.015	118	1.441	73	
Ölbrennwertgeräte	≥ 4	228	1.085	20	18	0,9	
<b>Summe</b>	<b>≥ 4</b>	<b>9.799</b>			<b>1.969</b>	<b>100</b>	

## Gasfeuerungen

In Tab. B.9 sind die berechneten gerätebezogenen Endenergieverbräuche für die installierten Gasfeuerungen in Düsseldorf für den Basisfall (Jahr 2013) und die Strategien 2 und 3 aufgelistet. Bei Strategie 1 entsprechen die Endenergieverbräuche und die Struktur dem Basisfall.

Tab. B.9: Gerätebezogene Endenergieverbräuche der in Düsseldorf installierten Gasfeuerungen im Jahr 2013 für den Basisfall und die Strategien 2 und 3

Gasfeuerungen in Düsseldorf	Leistungsbereich	Anlagenbestand	jährliche Vollbenutzungsstunden	mittlere Nennwärmeleistung	gerätebezogener Endenergieverbrauch	
					[kW]	[Stück]
<b>Basisfall 2013</b>						
Gasbrenner mit Gebläse (Heizkessel)	≥ 4 - 25	7.522	1.000	21	569	5,0
	> 25 - 50	732	950	37	93	0,8
	> 50	829	950	434	1.231	11
Gasbrenner ohne Gebläse (Heizkessel)	≥ 4 - 25	66.417	1.000	19	4.543	40
	> 25 - 50	6.465	950	35	774	6,9
	> 50	7.322	950	85	2.128	19
Kombiwasserheizer	≥ 4	9.126	980	19	612	5,4
Durchlaufwasserheizer	≥ 4	3.318	300	19	68	0,6
Vorratswasserheizer	≥ 4	1.691	300	13	24	0,2
Raumheizer	≥ 4	3.677	390	8,0	41	0,4
Brennwertgeräte	≥ 4	15.242	940	23	1.186	11
<b>Summe</b>	<b>≥ 4</b>	<b>122.341</b>			<b>11.269</b>	<b>100</b>
<b>Gasfeuerungen in Düsseldorf</b>	<b>Leistungsbereich</b>	<b>Anlagenbestand</b>	<b>jährliche Vollbenutzungsstunden</b>	<b>mittlere Nennwärmeleistung</b>	<b>gerätebezogener Endenergieverbrauch</b>	
<b>Strategie 2</b>	[kW]	[Stück]	[h]	[kW]	[TJ]	[%]
Gasbrenner mit Gebläse (Heizkessel)	≥ 4 - 25	7.522	1.000	21	569	4,3
	> 25 - 50	732	950	37	93	0,7
	> 50	1.800	950	434	2.672	20
Gasbrenner ohne Gebläse (Heizkessel)	≥ 4 - 25	68.720	1.000	19	4.700	36
	> 25 - 50	9.193	950	35	1.100	8,3
	> 50	7.322	950	85	2.128	16
Kombiwasserheizer	≥ 4	9.126	980	19	612	4,6
Durchlaufwasserheizer	≥ 4	3.318	300	19	68	0,5
Vorratswasserheizer	≥ 4	1.691	300	13	24	0,2
Raumheizer	≥ 4	6.012	390	8	68	0,5
Brennwertgeräte	≥ 4	15.471	940	23	1.204	9,1
<b>Summe</b>	<b>≥ 4</b>	<b>130.907</b>			<b>13.238</b>	<b>100</b>

Fortsetzung Tab. B.9:

Gasfeuerungen in Düsseldorf Strategie 3	Leistungs- bereich	Anlagen- bestand	jährliche Voll- benutzungs- stunden	mittlere Nennwärme- leistung	gerätebezogener Endenergie- verbrauch	
	[kW]	[Stück]	[h]	[kW]	[TJ]	[%]
Gasbrenner mit Gebläse (Heizkessel)	≥ 4 - 25	7.522	900	21	512	4,3
	> 25 - 50	732	855	37	83	0,7
	> 50	1.800	855	434	2.405	20
Gasbrenner ohne Gebläse (Heizkessel)	≥ 4 - 25	68.720	900	19	4.230	36
	> 25 - 50	9.193	855	35	990	8,3
	> 50	7.322	855	85	1.916	16
Kombiwasserheizer	≥ 4	9.126	882	19	551	4,6
Durchlaufwasserheizer	≥ 4	3.318	270	19	61	0,5
Vorratswasserheizer	≥ 4	1.691	270	13	21	0,2
Raumheizer	≥ 4	6.012	351	8	61	0,5
Brennwertgeräte	≥ 4	15.471	846	23	1.084	9,1
<b>Summe</b>	≥ 4	<b>130.907</b>			<b>11.914</b>	<b>100</b>

### Feste Brennstoffe

In Tab. B.10 sind für Holzfeuerungen in Düsseldorf die berechneten gerätebezogenen Endenergieverbräuche im Jahr 2013 für den Basisfall und die Strategien 2 und 3 aufgelistet. Bei Strategie 1 entsprechen die Endenergieverbräuche und die Struktur dem Basisfall.

In Tab. B.11 sind die berechneten gerätebezogenen Endenergieverbräuche im Jahr 2013 für den Basisfall und die Strategien 2 und 3 für die installierten Feuerungen für Kohlenbrennstoffe in Düsseldorf aufgelistet. Hier sind ebenfalls die Endenergieverbräuche und die Gerätestruktur von Strategie 1 und dem Basisfall identisch. Bei Strategie 2 und 3 wurden Kohlefeuerungen durch Pelletfeuerungen ersetzt.

Den größten Anteil am Endenergieverbrauch der festen Brennstoffe haben die Kachel- und Kaminöfen. Die noch nicht so lange auf dem Markt etablierte Verwendung von Pellets in Öfen und Heizkesseln weist insgesamt einen Anteil von ca. 3 % am Endenergieverbrauch der Holzbrennstoffe auf.

Tab. B.10: Gerätebezogene Endenergieverbräuche der in Düsseldorf installierten Feuerstätten für Holz im Jahr 2013 für den Basisfall und die Strategien 2 und 3

Feuerstätten für feste Brennstoffe in Düsseldorf - Holz	Leistungs- bereich	Anlagen- bestand	jährliche Voll- benutzungs- stunden	mittlere Nennwärme- leistung	gerätebezogener Endenergie- verbrauch		
					[kW]	[Stück]	[h]
<b>Basisfall 2013</b>							
Heizkessel - handbeschickt	≥ 4 - 15	16	920	20	1,1	0,9	
	> 15 - 50	43	920	35	5,0	4,4	
	> 50	21	910	91	6,3	5,5	
Heizkessel für Pellets	≥ 4 - 15	3	1.000	18	0,2	0,2	
	> 15 - 50	8	980	32	0,9	0,8	
	> 50	5	960	80	1,4	1,2	
Heizkessel - mechanisch beschickt	≥ 4 - 15						
	> 15 - 50	1	920	41	0,1	0,1	
	> 50	1	910	158	0,5	0,5	
Dauerbrandöfen	≥ 4	771	630	6,2	11	9,5	
Kachelöfen (mit Heizeinsatz oder als Grundöfen)	≥ 4	1.978	710	7,6	38	34	
Kaminöfen	≥ 4	2.237	580	7,4	35	30	
Pelletöfen	≥ 4	31	756	10	0,9	0,8	
Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)	≥ 4	1.674	350	5,9	12	11	
Badeöfen	≥ 4	46	100	7,0	0,1	0,1	
Herde (und Heizungsherde)	≥ 4	568	132	6,4	1,7	1,5	
<b>Summe</b>	<b>≥ 4</b>	<b>7.403</b>			<b>114</b>	<b>100</b>	

Fortsetzung Tab. B.10:

Feuerstätten für feste Brennstoffe in Düsseldorf - Holz  Strategie 2	Leistungs- bereich	Anlagen- bestand	jährliche Voll- benutzungs- stunden	mittlere Nennwärme- leistung	gerätebezogener Endenergie- verbrauch	
	[kW]	[Stück]	[h]	[kW]	[TJ]	[%]
Heizkessel - handbeschickt	≥ 4 - 15 > 15 - 50 > 50					
Heizkessel für Pellets	≥ 4 - 15	29	1.000	18	1,9	1,4
	> 15 - 50	80	980	32	9,0	6,5
	> 50	62	960	80	17	12
Heizkessel - mechanisch beschickt	≥ 4 - 15 > 15 - 50 > 50					
Dauerbrandöfen	≥ 4					
Kachelöfen (mit Heizeinsatz oder als Grundöfen)	≥ 4					
Kaminöfen	≥ 4					
Pelletöfen	≥ 4	3.970	756	10	110	80
Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)	≥ 4					
Badeöfen	≥ 4					
Herde (und Heizungsherde)	≥ 4					
<b>Summe</b>	<b>≥ 4</b>	<b>4.141</b>			<b>138</b>	<b>100</b>

Fortsetzung Tab. B.10:

Feuerstätten für feste Brennstoffe in Düsseldorf - Holz  Strategie 3	Leistungs- bereich	Anlagen- bestand	jährliche Voll- benutzungs- stunden	mittlere Nennwärme- leistung	gerätebezogener Endenergie- verbrauch	
	[kW]	[Stück]	[h]	[kW]	[TJ]	[%]
Heizkessel - handbeschickt	≥ 4 - 15 > 15 - 50 > 50					
Heizkessel für Pellets	≥ 4 - 15	29	900	18	1,7	1,4
	> 15 - 50	80	882	32	8,1	6,5
	> 50	62	864	80	15	12
Heizkessel - mechanisch beschickt	≥ 4 - 15 > 15 - 50 > 50					
Dauerbrandöfen	≥ 4					
Kachelöfen (mit Heizeinsatz oder als Grundofen)	≥ 4					
Kaminöfen	≥ 4					
Pelletöfen	≥ 4	3.970	680	10	99	80
Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)	≥ 4					
Badeöfen	≥ 4					
Herde (und Heizungsherde)	≥ 4					
<b>Summe</b>	<b>≥ 4</b>	<b>4.141</b>			<b>124</b>	<b>100</b>



Tab. B.11: Gerätebezogene Endenergieverbräuche der in Düsseldorf installierten Feuerstätten für Kohlen im Jahr 2013 für den Basisfall

Feuerstätten für feste Brennstoffe in Düsseldorf - Kohlen  Basisfall 2013	Leistungs- bereich	Anlagen- bestand	jährliche Voll- benutzungs- stunden	mittlere Nennwärme- leistung	gerätebezogener Endenergie- verbrauch	
	[kW]	[Stück]	[h]	[kW]	[TJ]	[%]
Heizkessel - handbeschickt	≥ 4 - 15	4	920	20	0,3	1,1
	> 15 - 50	11	920	35	1,3	5,4
	> 50	5	910	91	1,5	6,3
Heizkessel - mechanisch beschickt	≥ 4 - 15					
	> 15 - 50					
	> 50					
Dauerbrandöfen	≥ 4	163	630	6,2	2,3	9,6
Kachelöfen (mit Heizeinsatz oder als Grundofen)	≥ 4	419	710	7,6	8,1	34
Kaminöfen	≥ 4	474	580	7,4	7,3	31
Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)	≥ 4	354	350	5,9	2,6	11
Badeöfen	≥ 4	10	100	7,0	0,0	0,1
Herde (und Heizungsherde)	≥ 4	120	132	6,4	0,4	1,5
<b>Summe</b>	<b>≥ 4</b>	<b>1.560</b>			<b>24</b>	<b>100</b>

## Emissionsfaktoren und Emissionsaufkommen

In diesem Kapitel wird die Vorgehensweise zur Ermittlung der Emissionsfaktoren und des Emissionsaufkommens beschrieben. Ausgangspunkt für die Berechnung der Emissionsfaktoren bilden Emissionsangaben, die aus der Literatur entnommen wurden oder aus eigenen Messungen stammen. Aus den Emissionsangaben werden unter Berücksichtigung der Betriebsweise der Feuerung und der Altersstufe die gerätespezifischen Emissionsfaktoren für die unterschiedlichen Feuerungsbauarten und Leistungsbereiche ermittelt. Die Emissionsfaktoren werden für Düsseldorf strukturiert nach Brennstoffen und Abgas-komponenten angegeben. An Abgaskomponenten werden NO<sub>x</sub> (Summe aus NO und NO<sub>2</sub>, angegeben als NO<sub>2</sub>) und Partikel (Gesamtstaub) betrachtet.

Aus den gerätebezogenen Emissionsfaktoren werden für die betrachteten Brennstoffe in Verbindung mit dem anteiligen Endenergieverbrauch sektorale Emissionsfaktoren berechnet. Das gerätebezogene Emissionsaufkommen für die betrachteten Feuerungsanlagen in Düsseldorf wird anhand der gerätebezogenen Emissionsfaktoren und der gerätebezogenen Endenergieverbräuche berechnet. Aus dem gerätebezogenen Emissionsaufkommen wird dann durch Addition das sektorale Emissionsaufkommen für einen Brennstoff ermittelt.

Bild B.9.4 zeigt schematisch die Vorgehensweise zur Ermittlung der gerätespezifischen und sektoralen Emissionsfaktoren für die in Düsseldorf installierten Feuerungsanlagen.

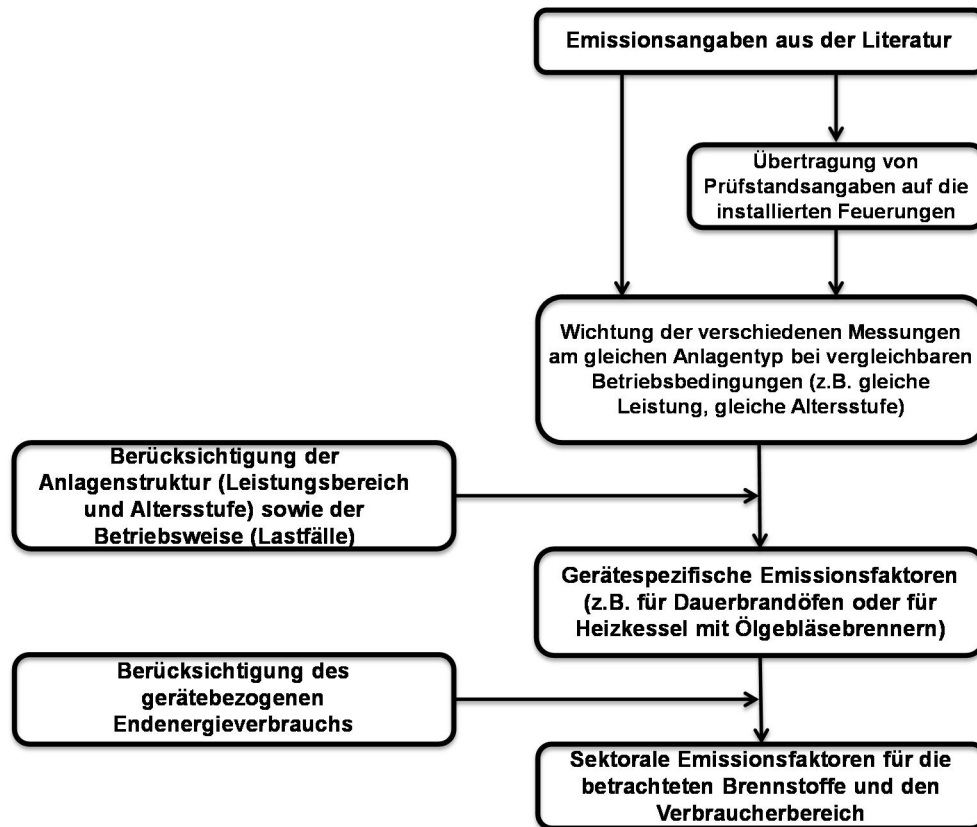


Bild B.9.4: Vorgehensweise zur Ermittlung der Emissionsfaktoren und des Emissionsaufkommens aus Feuerungsanlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV

## Differenzierung der Emissionsfaktoren

Emissionsfaktoren werden für die eingesetzten Brennstoffe Heizöl EL, Brenngase, Braunkohlenbriketts, Steinkohlen (verfügbare Emissionsangaben umfassen meist nur Anthrazit), und naturbelassenes Holz ermittelt. Beim Heizöl wird davon ausgegangen, dass nur noch schwefelarmes Heizöl vertrieben wird. Bei den Braunkohlenbriketts wird angenommen, dass nur solche aus dem Rheinischen Revier in Düsseldorf verfeuert werden.

Die Strukturierung der Emissionsfaktoren bezüglich der Feuerungsbauarten orientiert sich für jeden Brennstoff an der üblicherweise eingesetzten und in großer Anzahl im Bestand vorhandenen Gerätetechnik. Bei der Abgrenzung der Gerätebauarten gegeneinander wurde für Öl- und Gasfeuerungen auf die Bezeichnungen des Bundesverbands des Schornsteinfegerhandwerks (Zentralinnungsverband - ZIV) zurückgegriffen. Bei Feuerstätten für feste Brennstoffe wurden die Bezeichnungen in Anlehnung an die zutreffenden nationalen bzw. europäischen Normen festgelegt. Die Strukturierung der Emissionsfaktoren entspricht in

ihrem Differenzierungsgrad der Bestandsstruktur der installierten Feuerungsanlagen und der Struktur des gerätebezogenen Endenergieverbrauchs. Die Differenzierung für Öl- und Gasfeuerungen sowie für Feuerungen für feste Brennstoffe nach Gerätebauarten ist in Tab. B.12 dargestellt.

Tab. B.12: Differenzierung der Emissionsfaktoren für die Anlagen im Geltungsbereich der 1. BImSchV

Brennstoff	Bezeichnung der Feuerstätte	Leistungsbereiche in kW
<b>Anlagen 1. BImSchV</b>		
Heizöl EL	Ölöfen mit Verdampfungsbrennern (Raumheizer und Heizeinsätze für Kachelöfen)	≥ 4
	Heizkessel mit Ölgebläsebrennern	≥ 4 - 25
		> 25 - 50
	Ölbrennwertgeräte	> 50
Brenngase	Gasbrenner mit Gebläse (Heizkessel)	≥ 4
		≥ 4 - 25
		> 25 - 50
	Gasbrenner ohne Gebläse (Heizkessel)	≥ 4
		≥ 4 - 25
	Kombiwasserheizer	> 25 - 50
	Durchlaufwasserheizer	> 50
	Vorratswasserheizer	≥ 4
Raumheizer (einschließlich Gas-Heizeinsätze und Gaskamine)	≥ 4	
Brennwertgeräte	≥ 4	
Kohlenbrennstoffe und naturbelassenes Holz	Heizkessel - handbeschickt	≥ 4 - 25
		> 25 - 50
		> 50
	Heizkessel - mechanisch beschickt	≥ 4 - 25
		> 25 - 50
	Dauerbrandöfen	> 50
	Kachelöfen (mit Heizeinsatz oder als Grundofen)	≥ 4
	Kaminöfen	≥ 4
Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)	≥ 4	
Badeöfen	≥ 4	
Herde (und Heizungsherde)	≥ 4	
Naturbelassenes Holz (Holzpellets)	Heizkessel für Pellets	≥ 4 - 25
		> 25 - 50
	Pelletöfen	> 50
		≥ 4

## Berechnung der Emissionsfaktoren

Bei den aus der Literatur übernommenen Emissionsangaben wurde zwischen Messungen am Prüfstand und an installierten Feuerungen unterschieden. Da Prüfstandsuntersuchungen unter definierten Randbedingungen durchgeführt werden, sind die hierbei erhaltenen Emissionswerte nicht ohne weiteres mit Emissionswerten aus Untersuchungen an installierten Feuerungsanlagen vergleichbar. Um für die Berechnung der Emissionsfaktoren eine gemeinsame Basis zu schaffen, wurden die Emissionsangaben aus Prüfstandsmessungen mit Hilfe eines Übertragungsfaktors auf die Verhältnisse von installierten Feuerungen transformiert. Die Höhe des Übertragungsfaktors wurde individuell für die jeweilige Abgaskomponente in Abhängigkeit vom Brennstoff und der Feuerung festgelegt (siehe auch /Pfeiffer et al. 2000/).

Bei der Berechnung der Emissionsfaktoren wurde auch die Start/Stop-Emissionen bei Gasfeuerungen durch einen erhöhten Übertragungsfaktor berücksichtigt /Struschka et al. 2012/.

Das Emissionsverhalten der Feuerungen (im realen Betrieb) wird außer vom eingesetzten Brennstoff und der Bauart der Feuerungsanlage auch von deren Betriebsweise beeinflusst. Die Betriebsweise der Feuerung wird hier durch die Wärmeleistung charakterisiert. Unterschieden werden die Wärmeleistungsbereiche (bezeichnet als Lastfälle oder Laststufen) Teillast und Nennlast. Im Bereich der Feuerstätten für feste Brennstoffe wurde auf eine weitere Differenzierung der Wärmeleistungsbereiche Schwachlast und Gluthalbetrieb aufgrund der oft unscharfen Trennung in Emissionsuntersuchungen zum Teillastbereich verzichtet. Stattdessen wurden diese Lastfälle dem Teillastbereich zugeordnet.

Da von vielen Feuerungsanlagen auch Emissionswerte für die unterschiedlichen Lastfälle vorliegen, müssen diese auf eine geeignete Art und Weise zu einem Emissionsfaktor zusammengefasst werden. Dies geschieht über eine Wichtung der Emissionswerte mit Hilfe der jährlich eingesetzten Brennstoffmenge in einem Lastfall. Dieser anteilige prozentuale Brennstoffeinsatz errechnet sich aus der verfeuerten Brennstoffmenge in einem Lastfall im Verhältnis zur gesamten verfeuerten Brennstoffmenge des Heizgerätes.

Der berechnete Emissionsfaktor unter Berücksichtigung der Betriebsweise ergibt sich unter Verwendung des anteiligen lastabhängigen Brennstoffeinsatzes aus der Summe der gewichteten Emissionsfaktoren für jeden Lastfall. Die gleiche Vorgehensweise gilt auch für die Altersstruktur der installierten Feuerungsanlagen, die ebenfalls zur Berechnung der Emissionsfaktoren herangezogen wird. Der Rechengang ist ausführlich in /Pfeiffer et al. 2000/ beschrieben. Die lastabhängigen Brennstoffeinsätze sind in Tab. B.13 bis Tab. B.15 aufgeführt.

Tab. B.13: Anteiliger lastabhängiger Brennstoffeinsatz zur Berücksichtigung der Betriebsweise bei der Berechnung der Emissionsfaktoren für Ölfeuerungen

Anteiliger lastabhängiger Brennstoffeinsatz für Ölfeuerungen in Düsseldorf	Altersstufe	Leistungs- bereich	Lastfall	anteiliger Brennstoff- einsatz
		[kW]		[%]
<b>Anlagen 1. BImSchV</b>				
Ölöfen mit Verdampfungsbrennern	bis 1988/89	≥ 4	Teillast Nennlast	70 30
	ab 1990	≥ 4	Teillast Nennlast	60 40
Ölbrennwertgeräte	bis 1997	≥ 4	Teillast Nennlast	10 90
	ab 1990	≥ 4	Teillast Nennlast	10 90
Heizkessel mit Ölgebläsebrennern	bis 1988/89	≥ 4 - 25	Teillast	0
		> 25 - 50	Nennlast	100
		> 50	Teillast Nennlast	10 90
	ab 1990	≥ 4 - 25	Teillast	0
		> 25 - 50	Nennlast	100
		> 50	Teillast Nennlast	2 98
		> 50	Teillast Nennlast	51 49

Tab. B.14: Anteiliger lastabhängiger Brennstoffeinsatz zur Berücksichtigung der Betriebsweise bei der Berechnung der Emissionsfaktoren für Gasfeuerungen

Anteiliger lastabhängiger Brennstoffeinsatz für Gasfeuerungen in Düsseldorf	Altersstufe	Leistungs- bereich	Lastfall	anteiliger Brennstoff- einsatz
		[kW]		[%]
<b>Anlagen 1. BImSchV</b>				
Heizkessel mit Gasbrennern mit Gebläse	bis 1988/89	≥ 4 - 25 > 25 - 50 > 50	Teillast Nennlast	0 100
	ab 1990	≥ 4 - 25 > 25 - 50 > 50	Teillast Nennlast	60 40
Heizkessel mit Gasbrennern ohne Gebläse	bis 1988/89	≥ 4 - 25 > 25 - 50 > 50	Teillast Nennlast	0 100
	ab 1990	≥ 4 - 25 > 25 - 50 > 50	Teillast Nennlast	60 40
Kombiwasserheizer	bis 1988/89	≥ 4	Teillast Nennlast	0 100
	ab 1990	≥ 4	Teillast Nennlast	60 40
Durchlaufwasserheizer	alle	≥ 4	Teillast Nennlast	0 100
Vorratswasserheizer	alle	≥ 4	Teillast Nennlast	0 100
Raumheizer	alle	≥ 4	Teillast Nennlast	0 100
Brennwertgeräte	alle	≥ 4	Teillast Nennlast	60 40

Tab. B.15: Anteiliger lastabhängiger Brennstoffeinsatz zur Berücksichtigung der Betriebsweise bei der Berechnung der Emissionsfaktoren für Feuerstätten für feste Brennstoffe

Anteiliger lastabhängiger Brennstoffeinsatz für Feuerstätten für feste Brennstoffe in Düsseldorf	Altersstufe	Leistungs- bereich	Lastfall	anteiliger Brennstoffeinsatz	
		[kW]		[%]	
<b>Anlagen 1. BImSchV</b>					
Heizkessel - handbeschickt für Holz- und Kohlenbrennstoffe	alle	≥ 4 - 15	Teillast Nennlast	64	36
		> 15 - 50 > 50		36	64
Heizkessel für Pellets	alle	≥ 4 - 15	Teillast Nennlast	-	36
		> 15 - 50 > 50		-	64
Heizkessel - mechanisch beschickt (für Hackschnitzel)	alle	≥ 4 - 15	Teillast Nennlast	-	36
		> 15 - 50 > 50		-	64
Dauerbrandöfen	bis 1988/89	≥ 4	Teillast Nennlast	60	60
	1990-2004	≥ 4		40	60
	2005-2008	≥ 4		40	60
Kachelöfen (mit Heizeinsatz od. als Grundofen)	alle	≥ 4	Teillast Nennlast	60	60
				40	40
Kaminöfen	alle	≥ 4	Teillast Nennlast	42	42
				58	58
Pelletöfen	alle	≥ 4	Teillast Nennlast	-	42
				-	58
Kamine (mit offenem oder geschlossenem Feuerraum)	alle	≥ 4	Teillast Nennlast	42	42
				58	58
Badeöfen	alle	≥ 4	Teillast Nennlast	-	-
				100	100
Herde	alle	≥ 4	Teillast Nennlast	30	30
				70	70

## Sektorale Emissionsfaktoren und Emissionsaufkommen

Die für jede Feuerungsart, unter Berücksichtigung der Altersstruktur, der verschiedenen Lastfälle und des Anteils am Endenergieverbrauch, berechneten Emissionsfaktoren können für die verschiedenen Brennstoffe zusammengefasst werden, siehe Tab. B.16. Mit aufgeführt ist das sektorale Emissionsaufkommen für die betrachteten Feuerungsanlagen.

Tab. B.16: Sektorale Emissionsfaktoren und Emissionsaufkommen für Feuerungsanlagen nach 1. BImSchV in Düsseldorf für den Basisfall und die Strategien 1 bis 3

<b>Anlagen 1. BImSchV Basisfall 2013</b>	<b>EEV TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> kg/TJ</b>	<b>Partikel kg/TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> t</b>	<b>Partikel t</b>
Heizöl (HEL)	1.969	43	0,10	85	0,20
Brenngase	11.269	21	0,03	231	0,34
Steinkohlen	6	76	18	0,46	0,11
Steinkohlenkoks	0,4	48	16	0,02	0,01
Steinkohlenbriketts	0,1	50	265	0,01	0,03
Braunkohlenbriketts	17	80	83	1,4	1,4
Holzbrennstoffe	114	64	105	7,3	12
<b>Summe / Mittelwert</b>	<b>13.376</b>	<b>24</b>	<b>1,1</b>	<b>325</b>	<b>14</b>

<b>Anlagen 1. BImSchV Strategie 1</b>	<b>EEV TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> kg/TJ</b>	<b>Partikel kg/TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> t</b>	<b>Partikel t</b>
Heizöl (HEL)	1.969	34	0,10	65	0,20
Brenngase	11.269	11	0,03	124	0,34
Steinkohlen	6	74	18	0,44	0,11
Steinkohlenkoks	0,4	48	16	0,02	0,01
Steinkohlenbriketts	0,1	50	265	0,01	0,03
Braunkohlenbriketts	17	92	114	1,6	2,0
Holzbrennstoffe	114	72	112	8,3	13
<b>Summe / Mittelwert</b>	<b>13.376</b>	<b>15</b>	<b>1,2</b>	<b>200</b>	<b>15</b>

<b>Anlagen 1. BImSchV Strategie 2</b>	<b>EEV TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> kg/TJ</b>	<b>Partikel kg/TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> t</b>	<b>Partikel t</b>
Heizöl (HEL)					
Brenngase	13.238	13	0,03	166	0,40
Steinkohlen					
Steinkohlenkoks					
Steinkohlenbriketts					
Braunkohlenbriketts					
Holzbrennstoffe	138	86	24	12	3,3
<b>Summe / Mittelwert</b>	<b>13.376</b>	<b>11</b>	<b>0,23</b>	<b>178</b>	<b>3,7</b>

<b>Anlagen 1. BImSchV Strategie 3</b>	<b>EEV TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> kg/TJ</b>	<b>Partikel kg/TJ</b>	<b>NO<sub>x</sub> t</b>	<b>Partikel t</b>
Heizöl (HEL)					
Brenngase	11.914	13	0,03	150	0,36
Steinkohlen					
Steinkohlenkoks					
Steinkohlenbriketts					
Braunkohlenbriketts					
Holzbrennstoffe	124	86	24	11	3,0
<b>Summe / Mittelwert</b>	<b>12.038</b>	<b>11</b>	<b>0,23</b>	<b>160</b>	<b>3,3</b>



## Literatur

- /4. BImSchV 2013/ Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionschutzgesetzes, Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen vom 2. Mai 2013 (BGBl. I S.973, 3756), die durch Artikel 3 der Verordnung vom 28. April 2015 (BGBl. I S.670) geändert worden ist.
- /AGFS 2015/ <http://www.agfs-nrw.de/fachthemen/radschnellwege/>
- /Ahrens 2015/ VDI-Nachrichten, Schärfere Vorgaben für Kohlekraftwerke in Deutschland kein Problem, Ausgabe 25, 19. Juni 2015
- /AVISO 2016/ Modelling the effect on air quality of Euro 6 emission factor scenarios, TAP (Traffic and Air Pollution) conference 2016 (Vortrag Toenges-Schuller)
- /AVISO 2015/ Wirkungsabschätzung weiterer Maßnahmen für den Ballungsraum Stuttgart, Analyse und Trendprognose, <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/251663/>
- /AVISO 2014/ Aktualisierung des landesweiten Emissionskatasters Kfz-Verkehr NRW auf die Bezugsjahre 2010 und 2013 und Prognose für die Jahre 2015 und 2020; AVISO GmbH, im Auftrag des LANUV NRW, Aachen November 2014
- /AVISO 2012a/ Machbarkeitsstudie „Essener Norden“ - Möglichkeiten und Potenziale verkehrlicher Maßnahmen zur Verringerung von Partikel-, Stickstoffdioxid- und Lärm-Immissionen im Essener Norden; AVISO GmbH, im Auftrag des LANUV NRW, Aachen, April 2012
- /AVISO 2012b/ <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/23231/aviso-bericht-wirkung-tempo30-2012.pdf?command=downloadContent&filename=aviso-bericht-wirkung-tempo30-2012.pdf>
- /BAG 2014/ Marktbeobachtung Güterverkehr, Marktanalyse des Fernbuslinienverkehrs 2014, Bundesamt für Güterverkehr
- /Baumbach 1996/ Air Quality Control. Lehrbuch. Springer-Verlag Heidelberg, Berlin, London, New York, Tokio
- /bcs 2015/ Auf dem Weg zu einer neuen Mobilitätskultur - mehr als eine Million CarSharing-Nutzer; Jahresbericht 2014/2015, Bundesverband CarSharing e.V., Berlin, Mai 2015

- /Beckmann et al. 2009/ Gampe U., Grahl S., Hellfritsch S.: Zielkonflikt Emissionen und Energieeffizienz am Beispiel der 37. BImSchV. In: Thome-Kozmientky, K.J.; Beckmann, M. (Hrsg.): Energie aus Abfall – Band 6. Neuruppin: TK Verlag Karl Thome-Kozmiensky, 2009, S. 3-32. ISBN 978-3-935317-39-9, 2009
- /Beckmann 2011/ Beschreibung unterschiedlicher Techniken und deren Entwicklungspotenzial zur Minderung von Stickstoffoxiden im Abgas von Abfallverbrennungsanlagen und Ersatzbrennstoff-Kraftwerken hinsichtlich Leistungsfähigkeit, Kosten und Energieverbrauch, UBA-Texte 71/2011, ISSN 1862-4804, Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau, November 2011
- /BMVI 2014/ <http://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/G/verkehrsprognose-2030.html>
- /BMVI 2015/ <http://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/319184/> REPORT 2014 BinnenschiffahrtReport, 01/2014, Informationen des Bundesverbandes der deutschen Binnenschiffahrt e.V.
- /BNA 2015/ Kraftwerkliste der Bundesnetzagentur:  
[http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen\\_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerkliste/kraftwerkliste-node.html](http://www.bundesnetzagentur.de/DE/Sachgebiete/ElektrizitaetundGas/Unternehmen_Institutionen/Versorgungssicherheit/Erzeugungskapazitaeten/Kraftwerkliste/kraftwerkliste-node.html) (zuletzt aufgerufen am 31.08.2015)
- /BoAplus/ <https://www.rwe.com/web/cms/mediablob/de/1110140/dat a/1109028/2/boaplus/ueber-boaplus/im-detail/BoAplus-Hochtechnologie-fuer-die-Stromerzeugung-von-heute-und-morgen.pdf>, zuletzt abgerufen am 10.09.2015 um 17:15 Uhr
- /Böhmer et al. 2003/ Wiesenberger H., Krutzler T., Szednyi I., Poupa S., Schindler I.: NO<sub>x</sub>-Emissionen: Minderungspotenziale in ausgewählten Sektoren und Szenarien 2010, BE-233, Umweltbundesamt Wien, Oktober 2003
- /BRD 2015/ Luftreinhalteplan Ruhrgebiet 2011 – Teilplan West, 15.10.2011, i.d.F. vom 15.06.2015, Bezirksregierung Düsseldorf
- /Brunne et al. 2006/ Reaction Mechanisms of Ferritic Materials During Low-NO<sub>x</sub> Combustion of Sulphurous Lignite. VGB PowerTech 86 (2006) Vol. 12, Essen, 2006
- /BVU 2006/ Entwicklung und Bewertung eines Konzeptes für den Rhein-Ruhr-Express in Nordrhein-Westfalen; BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH, November 2006

- /CED 2012/ <http://www.cycling-embassy.dk>
- /CLUSTER NRW 2013/ Ergebnisprotokoll Expertengespräch Cluster Umwelttechnologien.NRW, Thema: Emissionsminderung durch Nachrüstung von Motoren von Binnenschiffen in NRW, 12. September 2013, Cluster Umwelttechnologien.NRW, Düsseldorf
- /DB-AG 2015/ Ökologisch, flexibel, effizient: die Zukunft der geschäftlichen Mobilität; DB-AG, Februar 2015
- /DB 2011/ Deutscher Bundestag Drucksache 17/4480, 17. Wahlperiode, 20. 01. 2011, Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Valerie Wilms, Bettina Herlitzius, Winfried Hermann, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN – Drucksache 17/4368 –Motorenförderprogramm für Binnenschiffe
- /dena 2015/ <http://www.dena.de/projekte/verkehr/initiative-erdgasmobilitaet-erdgas-und-biomethan-als-kraftstoffe.html>
- /DESTATIS 2014/ Statistisches Bundesamt, Fachserie 8 Reihe 2.1, Eisenbahnverkehr: Betriebsdaten des Schienenverkehrs
- /DLR 2014/ LNG als Alternativkraftstoff für den Antrieb von Schiffen und schweren Nutzfahrzeugen; Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. (DLR) et al, im Auftrag des BMVI, März 2014
- /EICB 2015/ <http://www.eicb.nl/innovatieschuur>
- /ERDGAS 2007/ <http://www.erdgasfahrzeuge.de/>
- /ERMES 2015/ [http://emisias.com/files/ERMES%20NOX%20EF\\_V20151009.pdf](http://emisias.com/files/ERMES%20NOX%20EF_V20151009.pdf)
- /EUROFOT 2012/ <http://www.eurofot-ip.eu/>
- /EXOMISSION 2014/ Energieeffiziente Emissionsminderung mit der KWE-Technik, Erfahrungsbericht aus der praktischen Anwendung, Forum Binnenschiffahrt 2014, Köln, 25.09.2014
- /ffu 2013/ Kurzanalyse 3: Abbau von Subventionen als Instrument zur Steigerung der Ressourceneffizienz; Forschungszentrum für Umweltpolitik, Freie Universität Berlin, August 2013
- /FGSV 2014a/ Hinweise zur Nahmobilität, Strategien zur Stärkung des nichtmotorisierten Verkehrs auf Quartiers- und Ortsteilebene, FGSV 2014

- /FGSV 2014b/ Wirkung von Maßnahmen zur Umweltentlastung, Teil 3: Umweltsensitives Verkehrsmanagement (UVM), Zwischenstand Oktober 2014
- /FHWA 2010/ Synthesis of Active Traffic Management Experiences in Europe and the United States, US Department of Transportation, Publication # FHWA-HOP-10-031, März 2010
- /FINANZ 2015/ Bund fördert umweltfreundliche Binnenschiffe, FinanzNachrichten.de, 21.08.2015
- /GREEN 2015/ [www.greenaward.org](http://www.greenaward.org)
- /Greiselis-B. et al. 2006/ Greiselis-Bailer, S.; Kemper, B.-M.: Ermittlung und Minderung der Emissionen krebserzeugender und weiterer besonders gesundheitsgefährdender Stoffe bei Kleinf Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe. Abschlussbericht FKZ 203 44 358. Umweltbundesamt, Berlin, 2006
- /HBEFA 2014/ [www.hbefa.net](http://www.hbefa.net)
- /Heide 2008/ von der Heide, B.: Ist das SNCR-Verfahren noch Stand der Technik? Energie aus Abfall - Band 4, TK Verlag Karl Thomé-Kozmiensky, S. 275-293, ISBN 978-3-935317-32-0; 2008
- /Hessen 2015/ <https://mobil.hessen.de>
- /Hoekman, Robbins 2012/ Review of the effects of biodiesel on NO<sub>x</sub> emissions, Fuel Processing Technology, Volume 96, April 2012, Pages 237–249
- /Hoffmann 2014/ Hoffmann Volker: Emissionen von Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub> als NO<sub>2</sub>) in NRW, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen. Vortragsfolien 2014
- /ICCT 2014/ Driving Electrification: A Global Comparison of Fiscal Incentive Policy for Electric Vehicles, White Paper, May 2014
- /IFEU 2012a/ Entwicklung eines Modells zur Berechnung der Energieeinsätze und Emissionen des zivilen Flugverkehrs – TREMOD AV, Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Texte 48 / 2012, <http://www.uba.de/uba-info-medien/4357.html>
- /IFEU 2012b/ Aktualisierung "Daten- und Rechenmodell: Energieverbrauch und Schadstoff-emissionen des motorisierten Verkehrs in Deutschland 1960-2030" (TREMOD, Version 5.3) für die Emissionsberichtserstattung 2013 (Berichtsperiode 1990-2011), Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 360 16 037, 2012

- /IFEU 2013/ Aktualisierung der Emissionsberechnung für die Binnenschifffahrt und Übertragung der Daten in TREMOD, Im Auftrag des Umweltbundesamtes, FKZ 3711 45 105, 2013
- /IFEU 2014/ Erarbeitung eines Konzepts zur Minderung der Umweltbelastung aus NRMM (non road mobile machinery) unter Berücksichtigung aktueller Emissionsfaktoren und Emissionsverminderungsoptionen für den Bestand, Im Auftrag des Umweltbundesamtes, Texte 24 / 2014, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/erarbeitung-eines-konzepts-zur-minderung-der>
- /IGF 2006/ Schlussbericht zum IGF-Vorhaben Nr. 14032 N: NO<sub>x</sub>-Minderung bei Vorcalcineranlagen der Zementindustrie durch Kombination von gestufter Verbrenner und SNCR-Technik, Forschungsinstitut der Zementindustrie, Düsseldorf, 2006
- /IIASA 2014/ The Final Policy Scenarios of the EU Clean Air Policy Package TSAP Report #11, Version 1.1a, February 2014
- /ika 2014/ CO<sub>2</sub>-Emissionenreduktion bei Pkw und leichten Nutzfahrzeugen nach 2020; Institut für Kraftfahrwesen ika der RWTH Aachen, im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie, Aachen 2014
- /imove 2014/ Handbuch CarSharing NRW; imove – Institut für Mobilität und Verkehr der TU Kaiserslautern, im Auftrag des Verkehrsverbunds Rhein-Sieg GmbH, Juni 2014
- /IPCC 2001/ Intergovernmental Panel on Climate Change: Third Assessment Report, Working Group I: The Scientific Basis, Section 4.2.3.3: Nitrogen oxides, <http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/141.htm>
- /ISI 2013/ Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge; Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe, September 2013
- /ITP 2014/ Verkehrsverflechtungsprognose 2030; Intraplan GmbH, im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, Juni 2014
- /IVT 2011/ Schlussbericht zur Grundsatzstudie „Eignung einer City-Maut als Instrument der Verkehrs- und Umweltpolitik in der Freien und Hansestadt Hamburg“, Mannheim / Heilbronn, 27.01.2011
- /IWO 2012/ Inlandabsatz von Heizöl EL, Amtliche Mineralöldata der BAFA, 2012, übermittelt durch Jörg Franke, Institut für Wärme und Öltechnik e.V., Hamburg, 2012

- /KBA 2015a/ [http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/2014\\_b\\_umwelt\\_dusl\\_absolut.html](http://www.kba.de/DE/Statistik/Fahrzeuge/Bestand/Umwelt/2014_b_umwelt_dusl_absolut.html)
- /KBA 2015b/ [http://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftfahrer/Fahrerlaubnisse/Fahrerlaubnisbestand/fahrerlaubnisbestand\\_node.html](http://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftfahrer/Fahrerlaubnisse/Fahrerlaubnisbestand/fahrerlaubnisbestand_node.html)
- /KONSTRUKTION 2015/ Maritime Elektromobilität: Baumüller-Technik für hybrides Tankschiff, [www.konstruktion.de/allgemein/](http://www.konstruktion.de/allgemein/)
- /KSP-NRW 2015/ Klimaschutzplan NRW, Handlungsschwerpunkte, Düsseldorf, 2015
- /LAI 2010/ Fortschreibung des Berichtes zur Bewertung verkehrsbezogener Minderungsmaßnahmen – Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>)-Belastungen in der Bundesrepublik Deutschland, Stand September 2010
- /LANUV 2010/ Bericht des LANUV: EURAD-Projekt ELINA-EU: Ermittlung der Beiträge der Nachbarstaaten zu der Hintergrundbelastung mit einem komplexen Aerosol-Chemie-Transport-Modell: Ergebnisse für Belgien und die Niederlande, H. Hebbinghaus, S. Wurzler, 17.12.2010
- /LANUV 2011/ Luftreinhalteplan Ruhrgebiet 2011 – Teilplan West 15.10.2011, Bezirksregierung Düsseldorf / LANUV 2011
- /LANUV 2012/ Luftreinhalteplan für das Stadtgebiet Köln, Erste Fortschreibung 2012
- /LANUV 2013/ Minderung der Feinstaub-, Ruß- und Stickstoffoxidemissionen auf dem Fahrgastschiff „Jan von Werth“ durch Nachrüstung eines SCRT-Systems, LANUV-Fachbericht 49, Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Recklinghausen 2013
- /LANUV 2014a/ Bericht des LANUV: Großräumige Auswirkung von Industrie und Straßenverkehr auf die Luftschadstoffbelastung (regionale Hintergrundbelastung) für NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> und O<sub>3</sub>, S. Wurzler, H. Hebbinghaus, 13.08.2014
- /LANUV 2014b/ The origin of PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> and NO<sub>2</sub> background levels in Germany with focus on North Rhine-Westphalia, H. Hebbinghaus et al., Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft 74 (2014) Nr. 7/8
- /LANUV 2015/ Emissionen der Binnenschifffahrt – Weitere Ermittlungen zum Status Quo und zu Aktivitäten anderer europäischer Staaten, LANUV 18.02.2015

- /Lenschow et al. 2001/ Some ideas about the sources of PM10, P. Lenschow, H.-J. Abraham, K. Kutzner, M. Lutz, J.-D. Preuss, W. Reichenbächer, *Atmospheric Environment* 35 Supplement 1, 2001
- /LOHMEYER 2014/ Fortschreibung und Aktualisierung des landesweiten Emissionskatasters für den Schiffsverkehr in Nordrhein-Westfalen auf das Jahr 2012, im Auftrag des LANUV NRW, Lohmeyer GmbH&Co.KG, Okt. 2014
- /LUBW 2014/ Flächendeckende Ermittlung der Immissions-Vorbelastung für Baden-Württemberg 2010, <https://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/242644/>
- /Managermagazin 2014/ <http://www.managermagazin.de/unternehmen/autoindustrie/elektroauto-statt-diesel-10-000-euro-abwrackpraemie-in-frankreich-a-988615.html>
- /MBWSV 2008/ <http://www.mbwsv.nrw.de/verkehr/schifffahrt/Hafenkonzept/index.php>
- /MBWSV 2015a/ [http://www.mbwsv.nrw.de/verkehr/strasse/intelligente\\_Verkehrssysteme/index.php](http://www.mbwsv.nrw.de/verkehr/strasse/intelligente_Verkehrssysteme/index.php)
- /MBWSV 2015b/ <http://www.mbwsv.nrw.de/verkehr/Oeffentlicher-Personennahverkehr/foerderung/index.php>
- /MKULNV-GFA 2015/ Emissionsdaten aus Emissionserklärungen für zu installierten Feuerungsanlagen für den Sektor Energie –und Industrieanlagen für 2012-Vergabe 2014, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 2015
- /MKULNV 2015/ Schornsteinfegerdaten zu installierten Feuerungsanlagen in Düsseldorf und 14 weiteren Städten in NRW, Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf, 2015.
- /MPENRW 2015/ MEHR BEWEGEN. MIT STROM – Der Masterplan Elektromobilität NRW 2014; <http://www.elektromobilitaet.nrw.de/elektromobilitaet-in-nrw/masterplan-elektromobilitaet/>
- /MWEBWV 2012/ Aktionsplan Förderung der Nahmobilität, Ministerium für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr, 2012
- /NEP 2014a/ Szenariorahmen für die Netzentwicklungspläne 2015, Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber : <http://www.netzentwicklungsplan.de/begleitdokumente/2015>

- /NEP 2014b/ Netzentwicklungsplan 2014, Zweiter Entwurf der Übertragungsnetzbetreiber:  
<http://www.netzentwicklungsplan.de/netzentwicklungsplan-2014-zweiter-entwurf>
- /NEP 2015/ Kraftwerkliste zum Entwurf Szenariorahmen NEP/0-NEP 2015:  
<http://www.netzentwicklungsplan.de/begleitdokumente/2015>
- /Nötzold 1981/ Numerische Studie der Bildungskinetik von „prompt-NO“ in Azetylen-Sauerstoff-Stickstoff-Gemischen. VDI-Forschungsheft, Band 609, VDI-Gesellschaft Energietechnik, S. 35-39, 1981
- /Öko 2009/ Stoffstromanalyse nachhaltige Mobilität im Kontext erneuerbarer Energien bis 2030; Öko-Institut und DLR Institut für Verkehrsforschung, Berlin 2009
- /Öko 2011/ CO<sub>2</sub>-Minderungspotenziale durch den Einsatz von elektrischen Fahrzeugen in Dienstwagenflotten, Ergebnisbericht im Rahmen des Projektes „Future Fleet“ AP 2.7; Öko-Institut, Oktober 2011
- /OMI 2011/ An improved tropospheric NO<sub>2</sub> column retrieval algorithm for the Ozone Monitoring Instrument, Boersma, K. F., Eskes, H. J., Dirksen, R. J., van der A, R. J., Veefkind, J. P., Stammes, P., Huijnen, V., Kleipool, Q. L., Sneep, M., Claas, J., Leitão, J., Richter, A., Zhou, Y., and Brunner, D., Atmos. Meas. Tech. Discuss., 4, 2329-2388, doi:10.5194/amtd-4-2329-2011, 2011.
- /Pfeiffer et al. 2000/ Pfeiffer, F.; Struschka, M.; Baumbach, G.: Ermittlung der mittleren Emissionsfaktoren zur Darstellung der Emissionsentwicklung aus Feuerungsanlagen im Bereich Haushalte und Kleinverbraucher. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 295 46 364. Erschienen in der Reihe UBA-TEXTE als Nr. 14-00. Umweltbundesamt, Berlin, 2000
- /Rexeis 2016/ persönliche Mitteilung, Martin Rexeis, TU Graz, 2016
- /ROMBERG 1996/ NO-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für KFZ-Abgase. Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 56, pp. 215-218
- /RUB 2011/ Stausituation auf den Autobahnen in Nordrhein-Westfalen, Studie im Auftrag des Ministeriums für Wirtschaft, Energie, Bauen, Wohnen und Verkehr des Landes NRW – Aufstellung der Engpassbezogenen Einzelmaßnahmen – Geistefeld, Lohoff, Mai 2011



- /SCHIFFFAHRT 2014/ M. Nutsch, Weniger Sprit, saubere Abgase, in: Schifffahrt - Hafen - Bahn - Technik, Magazin für intermodalen Transport und Logistik, 2/2014 S.32
- /Schneider 2014/ Verkehrsemissionen und Einfluss der Geschwindigkeit; Schneider, Jürgen et al, Beitrag zur Tagung "Weniger ist mehr! Was bringen Tempolimits?" der Plattform "Saubere Luft", Wien, November 2014
- /Seinfeld, Pandis 1998/ Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change, J. H. Seinfeld, S. N. Pandis, Wiley, 1998
- /Shell 2014/ <http://s08.static-shell.com/content/dam/shell-new/local/country/deu/downloads/pdf/gtl-bvg-17012014.pdf>
- /Shoup 2011/ The High Cost of Free Parking, Updated Edition, Donald Shoup, 2011
- /Soete 1981/ Physikalisch-chemische Mechanismen bei der Stickstoffoxidbildung in industriellen Flammen. Gas Wärme International 30, Nr.1, Seite 15-23, 1981
- /spitsvrij 2014/ [spitsvrij.nl](http://spitsvrij.nl)
- /Straßen.NRW 2014/ A 45: „Temporäre Seitenstreifenfreigabe“ vor dem Westhofener Kreuz geht in Betrieb, Pressemitteilung vom 11.12.2014
- /Straßenverkehrstechnik 2015/ Mobilitätsslots im Straßennetz, Cindric-Middendorf et al., Straßenverkehrstechnik 8, 2015
- /Struschka et al. 2003/ Struschka, M.; Zuberbühler, U.; Dreiseidler, A.; Dreizler, D.; Baumbach, G.: Ermittlung und Evaluierung der Feinstaubemissionen aus Kleinfeuerungsanlagen im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher sowie Ableitung von geeigneten Maßnahmen zur Emissionsminderung. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 299 44 140. Erschienen in der Reihe UBA-TEXTE als Nr. 41-03. Umweltbundesamt, Berlin, 2003
- /Struschka et al. 2007/ Struschka, M.; Kilgus, D.; Springmann, M.; Baumbach, G.: Effiziente Bereitstellung aktueller Emissionsdaten für die Luftreinhaltung, Abschlussbericht FKZ 205 42 322, Universität Stuttgart, Institut für Verfahrenstechnik und Dampfesselwesen, Stuttgart., 2007
- /Struschka et al. 2012/ Struschka, M.; Möck, P.; Brodbeck, J.: Ermittlung aktueller Emissionsfaktoren für das Bezugsjahr 2008. Bericht im Auftrag des Karlsruher Instituts für Technologiefolgenabschätzung und Systemanalyse, Eggenstein-Leopoldshafen. Universität Stuttgart, Institut für Feuerungs- und Kraftwerkstechnik (IFK), Stuttgart, 2012

- /Stubenvoll 2002/ Aktualisierung der Kostenberechnungen für sekundäre Entstickungsmaßnahmen, interne Information.
- /TCMV 2015/ Summary Record of the 51<sup>st</sup> Meeting of the Technical Committee – Motor Vehicles (TCMV) Meeting, <https://www.eumonitor.eu/9353000/1/j9vvik7m1c3gyxp/vjyr9aw4eczp?ctx=vhsprovzbyrz2&tab=1>
- /TNO 2012/ Source apportionment using LOTOS-EUROS: module description and evaluation, R. Kranenburg, A. J. Segers, C. Hendriks, and M. Schaap, Geosci. Model Dev., 6, 721–733, 2013
- /TNO 2015a/ Atmospheric deposition to German natural and semi-natural ecosystems during 2009. Schaap et al., Report to PINETI II Project (Project No. FKZ 371263240-1), UBA, 2015, [http://gis.uba.de/website/depo1/download/PINETI2\\_intermediate\\_report\\_2009\\_final.pdf](http://gis.uba.de/website/depo1/download/PINETI2_intermediate_report_2009_final.pdf)
- /TNO 2015b/ persönliche Mitteilung Astrid Manders-Groot, E-Mail vom 11. September 2015
- /Toshev 2014/ NO<sub>x</sub>-Reduzierung in motorischem Abgas durch Ammoniak-erzeugung im Teilstromverfahren aus Guanidinium Formiat und Harnstoff, Dissertation Plamen Kirilow Toshev an der TU München, 2014
- /TU Graz 2009/ GAVe - Grazer Adaptive Verkehrssteuerung - Ansätze für eine emissionsminimierende Lichtsignalsteuerung, Graz, 2009
- /TÜV Nord 2011/ <http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/23231/bericht-tuev-nord-lubw-pems-2011.pdf?command=downloadContent&filename=bericht-tuev-nord-lubw-pems-2011.pdf>
- /UBA 2010/ Beschreibung der Minderungsmaßnahmen im Projekt PAREST, Maßnahmenblätter; Teilbericht zum F&E-Vorhaben „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung - PAREST“; UBA Texte 48/2013, Juli 2010
- /UBA 2011a/ Stand der Modellierungstechnik zur Prognose der NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Luftreinhalteplänen nach der 39. BImSchV, L. Neunhäuserer, V. Diegmann, G. Gäßler, F. Pfäfflin, UBA-Texte 7011, 2011
- /UBA 2011b/ Blauer Engel Seeschiffe, Umweltschonender Schiffsbetrieb und Umweltfreundliches Schiffsdesign, Broschüre des Umweltbundesamtes, April 2011

- /UBA 2011c/ Beschreibung unterschiedlicher Techniken und deren Entwicklungspotenziale zur Minderung von Stickstoffoxiden im Abgas von Abfallverbrennungsanlagen und Ersatzbrennstoff-Kraftwerken hinsichtlich Leistungsfähigkeit, Kosten und Energieverbrauch; ISSN 1862-4804; März 2011
- /UBA 2012/ Daten zum Verkehr, Ausgabe 2012; Umweltbundesamt, Dessau, Oktober 2012
- /UBA 2014a/ Luftqualität 2020/2030: Weiterentwicklung von Prognosen für Luftschadstoffe unter Berücksichtigung von Klimastrategien, UBA-Texte 35/2014, <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/luftqualitaet-20202030-weiterentwicklung-von/>
- /UBA 2014b/ Minderung von NO<sub>x</sub>-Emissionen in einer Drehofenanlage der Zementindustrie mittels SCR-Technologie (High-Dust-Verfahren); KfW-Aktenzeichen MB e1 – 001599; Aktenzeichen: UBA- 50 441-1/64; Ulm 2014
- /UBA 2015a/ <http://www.umweltbundesamt.de/print/themen/verkehr-laerm/emissionsstandards/binnenschiffe>
- /UBA 2015b/ Umwelttrends in Deutschland, Daten zur Umwelt 2015, [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/daten\\_zur\\_umwelt\\_2015\\_1.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/daten_zur_umwelt_2015_1.pdf)
- /UBA 2015c/ Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) im Jahr 2014, erstellt vom Umweltbundesamt mit Daten der Messnetze der Länder und des Bundes, zuletzt aktualisiert am 22.5.2015, [http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/358/dokumente/no2\\_2014.pdf](http://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/358/dokumente/no2_2014.pdf)
- /UBA BVT-GFA 2006/ Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU) Merkblatt über beste verfügbare Techniken für Großfeuerungsanlagen, ausgewählte Kapitel in deutscher Übersetzung, Umweltbundesamt Dessau, Juli 2006
- /UBA BVT-Ra 2006/ Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU) Merkblatt über beste verfügbare Techniken für Mineralöl- und Gasraffinerien, ausgewählte Kapitel in deutscher Übersetzung, Umweltbundesamt Dessau, Februar 2003
- /UBA BVT-Ze 2010/ Merkblatt über beste verfügbare Techniken in der Zement, Kalk und Magnesiumoxidindustrie, ausgewählte Kapitel in deutscher Übersetzung, Umweltbundesamt Dessau, Mai 2010

- /UBA BVT-Ab 2012/ Integrierte Vermeidung und Verminderung der Umweltverschmutzung (IVU) Merkblatt über die Besten Verfügbare Techniken der Abfallverbrennung, mit ausgewählten Kapiteln in deutscher Übersetzung, Umweltbundesamt Dessau Juli 2005
- /UBA BVT-ES 2012/ Merkblatt über die Besten Verfügbare Techniken in der Eisen- und Stahlerzeugung nach der Industrie-Emissionen-Richtlinie 2010/75/EU, mit ausgewählten Kapiteln in deutscher Übersetzung, Umweltbundesamt Dessau März 2012
- /VDI 2003/ VDI Richtlinie 3782, Blatt 7, Umweltmeteorologie, Kfz-Emissionsbestimmung, Luftbeimengungen, 2003
- /WPCI 2015/ [www.environmentalshipindex.org](http://www.environmentalshipindex.org)
- /WSV 2012/ Veränderungen des Schiffsbestandes der deutschen Binnenflotte im Jahr 2012, Zentralstelle Schiffsuntersuchungskommission /Schiffseichamt, -Zentrale Binnenschiffsbestandsdatei-, Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV.de)
- /WSV 2014/ Verkehrsbericht 2013 Niederrhein und westdeutsches Kanalnetz, Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV.de), Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt – Außenstelle West, 2014
- /Wuppertalinstitut 2014/ Zusammenfassung der Szenarioberechnungen des Beteiligungsprozesses, Düsseldorf/Wuppertal, 01.12.2014
- /ZKR 2012/ Strategie der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt zur Reduzierung des Kraftstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen der Rheinschifffahrt, Anlage 1 zu Protokoll 2012-II-4 der Zentralkommission für die Rheinschifffahrt, 29.11.2012