

TEXTE

63/2013

Bewertung von Emissions- minderungsszenarien mit Hilfe chemischer Trans- portberechnungen

Verkehrsmodell TREMOD und Verkehrsmodell TREMOVE

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 206 43 200/01
UBA-FB 001524/ANH,23

**Bewertung von
Emissionsminderungsszenarien mit
Hilfe chemischer
Transportberechnungen:
Verkehrsmodell TREMOD und
Verkehrsmodell REMOVE**

**Teilbericht zum F&E-Vorhaben „Strategien zur
Verminderung der Feinstaubbelastung - PAREST“**

von

Rainer Stern

Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie, Troposphärische
Umweltforschung, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter <http://www.uba.de/uba-info-medien/4538.html> verfügbar.

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

ISSN 1862-4804

Durchführung der Studie:	Freie Universität Berlin Institut für Meteorologie Troposphärische Umweltforschung Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10 12165 Berlin
Abschlussdatum:	Mai 2010
Herausgeber:	Umweltbundesamt Wörlitzer Platz 1 06844 Dessau-Roßlau Tel.: 0340/2103-0 Telefax: 0340/2103 2285 E-Mail: info@umweltbundesamt.de Internet: http://www.umweltbundesamt.de http://fuer-mensch-und-umwelt.de/
Redaktion:	Fachgebiet II 4.1 Grundsatzfragen der Luftreinhaltung Johanna Appelhans

Dessau-Roßlau, Juni 2013

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Auswertesystematik	2
3	Referenzemissionen 2005 und 2020	4
4	Vergleich der Immissionsberechnungen TREMOD-TREMOVE.....	12
4.1	Überblick zu den RCG-Rechenläufen	12
4.2	Referenz 2005	15
4.3	Referenz 2020.....	25
4.4	Beiträge der einzelnen Verursachergruppen zum Minderungspotenzial 2020.....	38
4.4.1	Maximal mögliches Minderungspotenzial	38
4.4.2	Beiträge der Verursachergruppen zum PM10-Minderungspotenzial der Referenz 2020	41
4.4.3	Beiträge der Verursachergruppen zum NO ₂ -Minderungspotenzial der Referenz 2020	48
5	Nachtrag: Berechnungen mit der TREMOD-Version 5.04.....	55
5.1	Verkehrsemissionen mit TREMOD 5.04	55
5.2	Referenz 2005 und Referenz 2020	59
6	Zusammenfassung	68
7	Literatur	71
8	Abbildungsverzeichnis	74
9	Tabellenverzeichnis.....	77
10	Anhang: Städtische Hintergrundstationen zur Bestimmung des „Average Exposure Indicator“, AEI.....	78

1 Einleitung

Ziel des Vorhabens „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“ (PAREST, siehe www.parest.de) ist es, emissionsmindernde Maßnahmen zur Reduzierung der Feinstaubbelastung zu identifizieren, um die gegenwärtig noch auftretenden Überschreitungen der PM10-Grenzwerte und des geplanten PM2.5-Grenzwerts zukünftig zu vermeiden. Die immissionsseitigen Auswirkungen der geplanten Maßnahmen sollen mit Ausbreitungsrechnungen auf der Basis von Chemie-Aerosol-Transportmodellen bestimmt werden. Als Ausbreitungsmodell wird hauptsächlich das im Institut für Meteorologie der Freien Universität mit Unterstützung des Umweltbundesamts entwickelte REM-CALGRID-Modell (RCG-Modell, Stern, 2003, 2004) verwendet.

Ausbreitungsrechnungen für Deutschland erfordern die Berücksichtigung des Ferntransports aus dem europäischen Ausland. Dazu wurden im Rahmen des F&E-Vorhabens neben den deutschen Emissionen (Jörß et al., 2010) auch die Emissionen im europäischen Ausland erhoben (Denier van der Gon et al., 2009). Die zukünftige Immissionsentwicklung in Deutschland wird anhand von Ausbreitungsrechnungen auf der Basis von Emissionsprognosen für die Jahre 2010, 2015 und 2020 abgeschätzt. Für Deutschland wurde dazu von IER und IZT ein Energiereferenzszenario entwickelt (Jörß et al., 2010). Dieses Referenzszenario beschreibt die Änderung der Emissionen aufgrund von bereits beschlossenen und eingeleiteten technischen und nicht-technischen Maßnahmen (CLE-Szenario „current legislation“). Die Berechnung der Verkehrsemissionen erfolgte dazu mit dem vom Umweltbundesamt verwendeten Verkehrsmodell TREMOD 4.17 (Transport Emission Model) auf der Grundlage der Emissionsfaktoren des HBEFA 2.1 (Kugler et al., 2010). Für das PAREST-Referenzszenario 2010-2020 wurde TREMOD 4.17 so verändert, dass die Maßnahmen „Einführung der Grenzwertstufen Euro 5 und 6 für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge“, „Einführung einer Grenzwertstufe Euro VI für schwere Nutzfahrzeuge“ und „Bestehende Lkw-Maut inkl. Förderung der Anschaffung emissionsärmerer SNF“ in das Referenzszenario integriert sind und nicht mehr als zusätzliche Maßnahme behandelt werden (Jörß et al., 2010). Aus diesem Grunde wird die in PAREST verwendete TREMOD-Version 4.17 hier TREMOD 4.17M genannt.

Alternativ zu der Verwendung von TREMOD 4.17M wurde von IER und IZT auch je ein Referenz-Datensatz für 2005 und 2020 entwickelt, in dem die Straßenverkehrsemissionen einmal mit einer fortgeschriebenen Version von TREMOD (Version 5.04) und einmal mit dem Modell TREMOVE (Version 2.7) berechnet wurden (Kugler et al., 2010). TREMOVE ist das Verkehrsmodell, das von der Europäischen Kommission für die Entwicklung von Verkehrsszenarien verwendet wird.

Dieser Bericht dokumentiert die immissionsseitigen Unterschiede, die sich aus der Verwendung der verschiedenen Modellierungsansätze für die Straßenverkehrsemissionen ergeben. Es werden vorgestellt:

1. Immissionsverteilungen für die Emissionsreferenz 2005 und 2020
2. Änderungen der Immissionsverteilungen 2005 und 2020 aufgrund des Austauschs der Straßenverkehrsemissionen (Die Emissionen nach TREMOD 4.17M werden ersetzt durch die Emissionen nach TREMOVE 2.7, alle anderen Emissionen unverändert).
3. Änderung der Beiträge der einzelnen Verursachergruppen zur Referenz 2020 aufgrund des Austauschs der Straßenverkehrsemissionen.

Die im Folgenden präsentierten Berechnungen mit dem RCG-Modell basieren auf Anwendungen des RCG-Modells für Deutschland in einer Auflösung von 0.0625° Breite und 0.125° Länge. Dies entspricht in Mitteleuropa einer Maschenweite von circa 7 bis 8 km. Die meteorologischen Daten für die meteorologische Referenz 2005 wurden mit dem diagnostischen Analysesystem TRAMPER (Kerschbaumer und Reimer, 2003) erstellt. Der europäische Hintergrund für die RCG-Rechnungen basiert für die Referenzen 2005 und 2020 auf von der TNO für PAREST erstellten Emissionsdaten. Für die Projektion 2020 wurde der Datensatz NEC6_CP verwendet (Stern, 2009), der auf den im „NEC Scenario Analysis Report Nr. 6“ (Amann et al., 2008) fortbeschriebenen Emissionsprojektionen für die „National Emission Ceilings Directive“ beruht. In diesen Emissionsprojektionen ist das sog. „Climate and Energy Package“ berücksichtigt (Denier van der Gon et al., 2009).

Der Bericht ist folgendermaßen aufgebaut: In Kapitel 2 folgt eine Beschreibung der Auswertemethodik. Kapitel 3 gibt einen Überblick zu den hier betrachteten Emissionen der Referenz 2005 und 2020. In Kapitel 4 werden die Auswirkungen der beiden unterschiedlichen Berechnungsarten für die Verkehrsemissionen auf die Jahresmittelwerte von PM₁₀ und NO₂ diskutiert. Kapitel 5 präsentiert weitere Berechnungen, die nachträglich mit der neueren Version des TREMOD-Modells (TREMOD 5.04) durchgeführt wurden. Kapitel 6 beinhaltet die Zusammenfassung.

Eine zusammenfassende Darstellung aller im Rahmen des F&E-Vorhabens ausgeführten Arbeiten kann in Bultjes et al. (2010) gefunden werden.

2 Auswertesystematik

Die Auswertung der verschiedenen Modellläufe beruht auf den RCG-Ergebnissen für die Jahresmittelwerte der Stoffe PM₁₀ und NO₂. Die Auswertung erfolgt mit Hilfe einer flächenhaften Visualisierung für Deutschland und mit mittleren Bewertungszahlen. Die flächenhafte Darstellung erlaubt zwar eine Bewertung für jeden Ort in Deutschland, die vergleichende Bewertung verschiedener Modellergebnisse ist aber komplex, da die Spannbreite der Immissionsänderungen Szenario-Referenz (Immissionsdelta) in einem inhomogenen Emissionsgebiet wie Deutschland sehr groß sein kann. Aus diesem Grunde werden 6 mittlere Szenario-Bewertungszahlen definiert, die die Minderungspotenziale in Abhängigkeit von einer mittleren Bevölkerungsdichte beschreiben. Dazu wird die Fläche Deutschlands in mehrere Klassen eingeteilt:

- Klasse 1: Gebiete mit einer Bevölkerungsdichte < 100 Einwohner/km²
- Klasse 2: Gebiete mit einer Bevölkerungsdichte $> 100, < 510$ Einwohner/km²
- Klasse 3: Gebiete mit einer Bevölkerungsdichte $> 510, < 945$ Einwohner/km²
- Klasse 4: Gebiete mit einer Bevölkerungsdichte > 945 Einwohner/km²
- Klasse 5: Deutschland gesamt (D)

Die Klasse 1 (BVK1) umfasst die ländlichen Gebiete mit einer geringen Bevölkerungsdichte. Die Obergrenze der Klasse 2 (BVK2) definiert die Bevölkerungsdichte bei der der Median der Verteilung liegt. Die obere Grenze der Klasse 3 (BVK3) bzw. die Untergrenze der Klasse 4 (BVK4) ist die Bevölkerungsdichte, ab der man von einem Ballungsgebiet spricht. Die 6. Bewertungszahl (AEI-ST) wird aus einer Mittelung der Ergebnisse für die Gitterzellen abgeleitet, in denen die für die Bestimmung des so genannten AEI für PM_{2.5} (Average Exposure

Indicator) ausgewählten städtischen Hintergrundstationen liegen. Diese Stationen sind im Anhang zusammengestellt.

Die Einteilung in die Bevölkerungsklassen wurde auf Basis der von der EU erstellten Bevölkerungsverteilung vorgenommen (<http://dataservice.eea.europa.eu/dataservice>). Diese Daten beschreiben den Bevölkerungsstand von 2001. Die Abbildung 2-1 zeigt die aus den Daten abgeleitete Bevölkerungsdichte in Deutschland aggregiert im hier verwendeten Rechenraster von 0.125° Länge x 0.0625° Breite. In den dicht besiedelten Ballungsräumen Deutschlands liegt die Bevölkerungsdichte in der hier verwendeten Auflösung von circa $8 \times 7 \text{ km}^2$ zwischen circa 5000 bis über 10000 Einwohner pro km^2 .

Alle Bewertungszahlen (=Konzentrationsänderung oder Immissionsdelta) werden bevölkerungsgewichtet ermittelt. Die Bevölkerungsgewichtung berücksichtigt die Streuung der Immissionsdeltas innerhalb einer Klasse. Ein Immissionsdelta in einem Gebiet mit höherer Bevölkerungsdichte bekommt ein größeres Gewicht als ein Delta in einem Gebiet mit niedriger Bevölkerungsdichte:

$$\Delta C_j = \sum \{(P_i/P) * \Delta C_i\}, i=1, N \quad \mu\text{g}/\text{m}^3$$

mit

ΔC_j mittlere, bevölkerungsgewichtete Konzentrationsänderung für die Klasse j

N Anzahl der Gitterzellen in der Klasse j

ΔC_i Konzentrationsänderung in der Zelle i der Klasse j

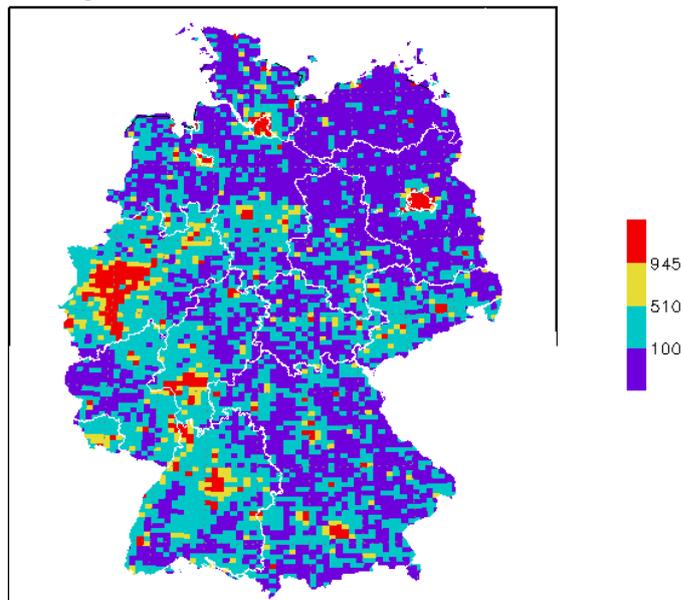
P_i Bevölkerungsanzahl in Zelle i der Klasse j

P $\sum P_i$, d.h. die Bevölkerungsanzahl summiert über die Gitterzellen 1 bis N der Klasse j

Die Gewichtung mit der zellenspezifischen Bevölkerungsdichte berücksichtigt den Umstand, dass in dicht besiedelten Arealen sehr viel mehr Personen von einem lokalen Minderungspotenzial profitieren als in dünn besiedelten Gebieten.

Die Emissionsszenarien werden getrennt für alle 6 Gebiete ausgewertet. Damit hat man pro Szenario 6 Maßzahlen, die die Auswirkungen der Emissionsminderungen für verschiedene Bereiche der Bevölkerungsdichte beschreiben.

Bevoelkerungsdichte in 4 Klassen im Raster Nest 2



GRADS: COLA/IGES

2009-05-18-18:53

Abbildung 2-1 Bevölkerungsdichte in Einwohner/km² in 4 Klassen. Zur Klassendefinition siehe Text. Die Auflösung entspricht der Auflösung des Nestes 2, Deutschland fein: 0.0625° Breite, 0.125°, circa 8 km x 7 km.

3 Referenzemissionen 2005 und 2020

Ausgangspunkt der Betrachtung sind die Emissionen der Referenz 2005 und 2020. Die Referenz 2005 beschreibt den Emissionszustand des Jahres 2005, die Referenz 2020 den Emissionszustand, der nach Umsetzung jetzt bereits beschlossener Maßnahmen im Jahr 2020 erreicht werden soll (CLE-Szenario, „current legislation“). Die Tabelle 3-1 zeigt die für verschiedene Verursachergruppen im Jahr 2005 und 2020 in Deutschland berechneten Emissionen. Die Straßenverkehrsemissionen dieser Referenzen basieren auf dem Verkehrsmodell TREMOD, Version 4.17M. Diese Emissionen sind die Basis der im PAREST-Projekt betrachteten Minderungsszenarien. Die Tabelle 3-2 zeigt auch die Emissionen der Referenz 2005 und 2020, aber mit den Straßenverkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7. In Tabelle 3-3 sind die durch den Austausch von TREMOD 4.17M durch TREMOVE 2.7 bewirkten Änderungen der Emissionen zusammengefasst. Es ist offensichtlich, dass die beiden Straßenverkehrsmodelle zu deutlich unterschiedlichen Emissionen führen. Für die Referenz 2005 berechnet TREMOVE 2.7 eine circa doppelt so hohe NO_x-Emission für Benzin-Motoren. Die Diesel-Emissionen sind um circa 16% höher. Bei den PM10-Emissionen ergeben sich für TREMOVE 2.7 circa 40% höhere Werte. Auf der anderen Seite sind die PM10-Emissionen infolge der Brems- und Reifenabriebe bei TREMOVE 2.7 um circa 2/3 niedriger als bei TREMOD 4.17M. Diese Unterschiede führen bei den Gesamtemissionen für Deutschland in der Referenz 2005 zu circa 13% höheren NO_x-Emissionen und 2% niedrigeren PM10-Emissionen. Details können in Kugler et al. (2010) gefunden werden.

Die horizontale Verteilung der relativen Abweichungen der Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 von den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M zeigt die Abbildung 3-1 für die Referenz 2005. Danach sind die auf der Basis von TREMOVE 2.7 berechneten verkehrsbedingten PM10-Emissionen im überwiegenden Teil der Fläche Deutschlands etwas niedriger als die mit TREMOD 4.17M berechneten PM10-Emissionen. Lediglich im Bereich einiger Hauptverkehrsachsen berechnet TREMOVE 2.7 aufgrund der höheren Dieselemissionen höhere PM10-Emissionen als TREMOD 4.17M. Bei den NO_x-Emissionen des Verkehrs führt TREMOVE 2.7 dagegen nahezu überall in Deutschland zu deutlich höheren Emissionen als TREMOD 4.17M. Im Bereich der Hauptverkehrsachsen liegen die TREMOVE-NO_x-Emissionen circa 40 bis 45% höher als die TREMOD-Emissionen.

Für die Referenz 2020 ergeben sich auf der Basis von TREMOVE 2.7 für dieselbetriebene Fahrzeuge circa 145% höhere NO_x-Emissionen und mehr als 200% höhere PM10-Emissionen. Die NO_x-Emissionen aus Benzinmotoren sind dagegen nahezu identisch. Die PM10-Emissionen infolge der Brems- und Reifenabriebe sind bei TREMOVE 2.7 um circa 60% niedriger als bei TREMOD 4.17M. Diese Unterschiede führen bei den gesamten Emissionen für Deutschland in der Referenz 2020 zu circa 23% höheren NO_x-Emissionen und 4% niedrigeren PM10-Emissionen. Die Verteilung der Unterschiede für die Referenz 2020 zeigt die Abbildung 3-2. Die PM10-Emissionen von TREMOVE 2.7 liegen überall in Deutschland unter denjenigen von TREMOD 4.17M. Die NO_x-Emissionen von TREMOVE 2.7 sind dagegen überall sehr viel höher als diejenigen von TREMOD 4.17M. Im Bereich der Hauptverkehrsachsen sind die mit TREMOVE 2.7 für 2020 prognostizierten NO_x-Emissionen circa 2 bis 3mal höher als die mit TREMOD 4.17M prognostizierten NO_x-Emissionen.

In Tabelle 3-4 sind die Emissionen der beiden unterschiedlichen Referenzen 2020 als relative Änderung bezüglich der entsprechenden Referenz 2005 dargestellt. Danach nehmen auf Basis des Verkehrsmodells TREMOD 4.17M die NO_x-Emissionen der Verursacherguppe Verkehr, Dieselfahrzeuge, von 2005 bis 2020 um circa 75% ab. Die Abnahme berechnet mit TREMOVE 2.7 ist mit 48% deutlich geringer. Bei den PM10-Emissionen des Verkehrs betragen die relativen Abnahmen für TREMOD 4.17M 90%, für TREMOVE 2.7 nur 76%. Die für den Brems- und Reifenabrieb von TREMOVE 2.7 prognostizierten Abnahmen der PM10-Emissionen sind circa doppelt so hoch wie die mit TREMOD 4.17M berechneten Abnahmen.

Es lässt sich festhalten, dass die mit TREMOVE 2.7 berechneten Auspuffemissionen für die Stoffe NO_x, SO₂ und PM10 deutlich höher und für die Kohlenwasserstoffe deutlich niedriger sind als die mit TREMOD 4.17M berechneten Emissionen. Dies gilt für die Referenzen 2005 und 2020. Insgesamt führt dies zu einer Erhöhung der deutschen NO_x-Emissionen. Beim PM10 gibt es in der Summe nur geringe Änderungen, da die höheren PM10-Auspuffemissionen von TREMOVE 2.7 durch niedrigere PM10-Emissionen infolge von Brems- und Reifenabrieb kompensiert werden. Die relativen Veränderungen von 2005 nach 2020 fallen nach TREMOVE 2.7 für die Dieselemissionen der Stoffe NO_x und PM10 niedriger aus als bei TREMOD 4.17M.

Germany Emissions 2005 kt/y	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	282.5	8.4	290.0	3.0	10.0	11.3
Small combustion sources	101.9	84.7	77.6	2.7	27.4	29.4
Industrial combustion	71.4	3.9	64.6	1.4	8.8	19.5
Industrial process emissions	90.6	86.2	117.6	9.6	16.4	52.5
Extraction of fossil fuels	0.0	25.1	7.9	0.0	0.9	4.4
Solvent and product use	0.0	742.6	0.0	1.7	9.1	9.1
Road transport gasoline	112.2	91.9	0.4	10.0	0.0	0.0
Road transport diesel	571.4	38.2	0.4	0.5	21.1	21.1
Road transport lpg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Brake and tyrewear	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6	19.6
Volatilisation losses	0.0	23.4	0.0	0.0	0.0	0.0
Traffic resuspension	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	48.9
Non road transport	233.1	78.3	3.1	1.1	21.1	21.1
Waste handling and disposal	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agriculture	80.8	254.7	0.0	576.9	5.7	25.7
SUM OVER ALL SECTORS	1544.0	1437.5	561.6	606.9	135.8	262.5

Germany Emissions 2020 kt/y	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	281.7	8.5	257.1	2.8	9.1	10.3
Small combustion sources	93.5	95.1	35.9	2.9	30.3	32.6
Industrial combustion	65.1	4.1	62.4	1.1	7.6	16.4
Industrial process emissions	67.3	77.6	91.1	9.7	12	42.8
Extraction of fossil fuels	0	12.1	5.9	0	0.8	4.2
Solvent and product use	0	800	0	1.7	8.9	8.9
Road transport gasoline	23.9	26.4	0.2	6.7	0	0
Road transport diesel	140.4	44.9	0.6	0.8	2.1	2.1
Road transport lpg	0	0	0	0	0	0
Brake and tyrewear	0	0	0	0	11.9	22
Volatilisation losses	0	10.9	0	0	0	0
Traffic resuspension	0	0	0	0	5.3	53.5
Non road transport	149.9	46.7	1.2	1.1	7.5	7.5
Waste handling and disposal	0.1	0	0	0	0	0
Agriculture	82.3	254.7	0	582.5	5.7	27.8
SUM OVER ALL SECTORS	904.2	1381	454.6	609.4	101.5	228.2

Tabelle 3-1 Emissionen Referenz 2005 und 2020, Deutschland. Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOD, Version 4.17M.

Germany Emission 2005 kt/y	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	282.5	8.4	290.0	3.0	10.0	11.3
Small combustion sources	101.9	84.7	77.6	2.7	27.4	29.4
Industrial combustion	71.4	3.9	64.6	1.4	8.8	19.5
Industrial process emissions	90.6	86.2	117.6	9.6	16.4	52.5
Extraction of fossil fuels	0.0	25.1	7.9	0.0	0.9	4.4
Solvent and product use	0.0	742.6	0.0	1.7	9.1	9.1
Road transport gasoline	225.7	209.4	2.3	10.0	0.0	0.0
Road transport diesel	662.4	25.9	2.2	0.5	29.5	29.5
Road transport lpg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Brake and tyrewear	0.0	0.0	0.0	0.0	3.8	7.0
Volatilisation losses	0.0	17.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Traffic resuspension	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	48.9
Non road transport	233.1	78.3	3.1	1.1	21.1	21.1
Waste handling and disposal	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agriculture	80.8	254.7	0.0	576.9	5.7	25.7
SUM OVER ALL SECTORS	1748.4	1536.4	565.2	606.9	137.4	258.3

Germany Emissions 2020 kt/y	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	281.7	8.5	257.1	2.8	9.1	10.3
Small combustion sources	93.5	95.1	35.9	2.9	30.3	32.6
Industrial combustion	65.1	4.1	62.4	1.1	7.6	16.4
Industrial process emissions	67.3	77.6	91.1	9.7	12.0	42.8
Extraction of fossil fuels	0.0	12.1	5.9	0.0	0.8	4.2
Solvent and product use	0.0	800.0	0.0	1.7	8.9	8.9
Road transport gasoline	23.8	32.7	0.5	6.7	0.0	0.0
Road transport diesel	344.5	10.9	0.7	0.8	7.0	7.0
Road transport lpg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Brake and tyrewear	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	8.8
Volatilisation losses	0.0	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Traffic resuspension	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	53.5
Non road transport	149.9	46.7	1.2	1.1	7.5	7.5
Waste handling and disposal	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agriculture	82.3	254.7	0.0	582.5	5.7	27.8
SUM OVER ALL SECTORS	1108.2	1344.4	455.0	609.4	99.2	219.8

Tabelle 3-2 Emissionen Referenz 2005 und 2020, Deutschland. Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOVE 2.7.

Change REF2005 %	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Small combustion sources	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industrial combustion	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industrial process emissions	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Extraction of fossil fuels		0.0	0.0		0.0	0.0
Solvent and product use		0.0		0.0	0.0	0.0
Road transport gasoline	101.2	127.8	491.0	0.0		
Road transport diesel	15.9	-32.3	396.7	0.0	39.8	39.8
Road transport lpg						
Brake and tyrewear					-64.4	-64.2
Volatilisation losses		-26.7				
Traffic resuspension					0.0	0.0
Non road transport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Waste handling and disposal	0.0		0.0		0.0	0.0
Agriculture	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0
SUM OVER ALL SECTORS	13.2	6.9	0.6	0.0	1.2	-1.6

Change REF2020 %	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Small combustion sources	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industrial combustion	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industrial process emissions	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Extraction of fossil fuels		0.0	0.0		0.0	0.0
Solvent and product use		0.0		0.0	0.0	0.0
Road transport gasoline	-0.1	23.8	107.2	0.0		
Road transport diesel	145.3	-75.6	26.9	0.0	226.4	226.4
Road transport lpg						
Brake and tyrewear					-60.1	-60.0
Volatilisation losses		-81.9				
Traffic resuspension					0.0	0.0
Non road transport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Waste handling and disposal	0.0		0.0		0.0	0.0
Agriculture	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0
SUM OVER ALL SECTORS	22.6	-2.6	0.1	0.0	-2.3	-3.7

Tabelle 3-3 Änderung der Emissionen der Referenz 2005 (oben) und 2020 (unten), Deutschland, bei Austausch der Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOD, Version 4.17M, durch die Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOVE 2.7.

Change 2005-2020 %, TREMOD 4.17M	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	-0.3	0.5	-11.3	-6.1	-8.9	-9.2
Small combustion sources	-8.2	12.3	-53.7	6.9	10.6	11.0
Industrial combustion	-8.8	4.4	-3.4	-16.7	-12.7	-16.2
Industrial process emissions	-25.7	-10.0	-22.5	0.8	-26.4	-18.3
Extraction of fossil fuels		-51.6	-24.9		-5.3	-5.3
Solvent and product use		7.7		0.0	-2.0	-2.0
Road transport gasoline	-78.7	-71.3	-50.0	-33.0		
Road transport diesel	-75.4	17.5	50.0	60.0	-90.0	-90.0
Road transport lpg						
Brake and tyrewear					12.3	12.2
Volatilisation losses		-53.4				
Traffic resuspension					8.2	9.4
Non road transport	-35.7	-40.4	-60.1	5.4	-64.3	-64.3
Waste handling and disposal	12.5		14.3		12.5	12.5
Agriculture	1.8	0.0		1.0	0.9	8.5
SUM OVER ALL SECTORS	-41.4	-3.9	-19.1	0.4	-25.3	-13.1

Change 2005-2020 %, TREMOVE 2.7	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	-0.3	0.5	-11.3	-6.1	-8.9	-9.2
Small combustion sources	-8.2	12.3	-53.7	6.9	10.6	11.0
Industrial combustion	-8.8	4.4	-3.4	-16.7	-12.7	-16.2
Industrial process emissions	-25.7	-10.0	-22.5	0.8	-26.4	-18.3
Extraction of fossil fuels		-51.6	-24.9		-5.3	-5.3
Solvent and product use		7.7		0.0	-2.0	-2.0
Road transport gasoline	-89.4	-84.4	-78.1	-32.4		
Road transport diesel	-48.0	-57.7	-66.8	41.9	-76.2	-76.2
Road transport lpg						
Brake and tyrewear					25.8	25.8
Volatilisation losses		-88.5				
Traffic resuspension					9.4	9.4
Non road transport	-35.7	-40.4	-60.1	5.4	-64.3	-64.3
Waste handling and disposal	12.5		14.3		12.5	12.5
Agriculture	1.8	0.0		1.0	0.9	8.5
SUM OVER ALL SECTORS	-36.6	-12.5	-19.5	0.4	-27.8	-14.9

Tabelle 3-4 Änderung der Emissionen der Referenz 2020 bezogen auf die Referenz 2005, Deutschland. Oben: Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOD, Version 4.17M. Unten: Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOVE 2.7.

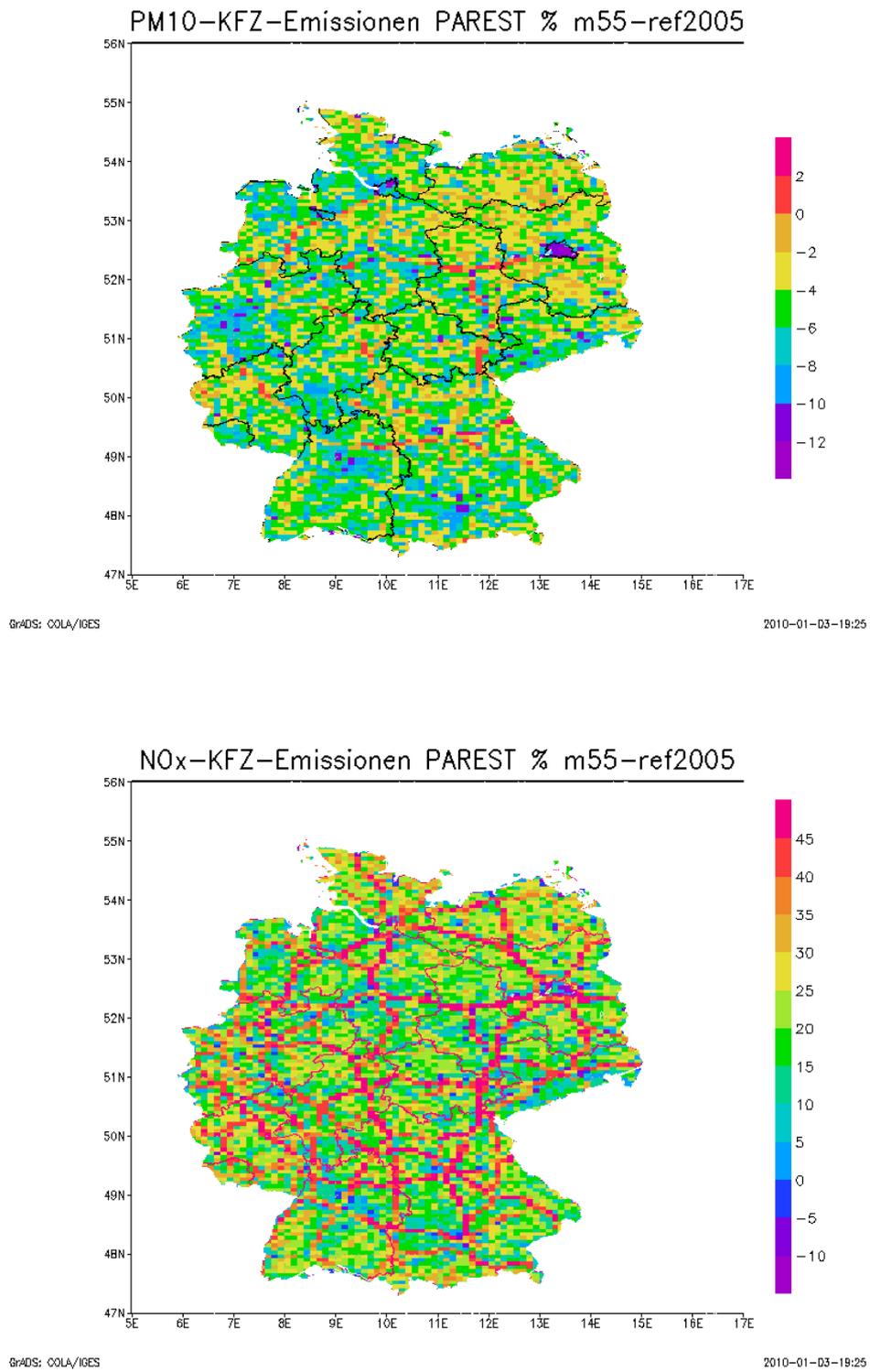


Abbildung 3-1 TREMOVE 2.7-Verkehrsemissionen relativ zu den TREMOD 4.17M-Verkehrsemissionen für die Referenz 2005. Angaben in %. Oben verkehrsbedingte PM10-Emissionen, unten verkehrsbedingte NO_x-Emissionen.

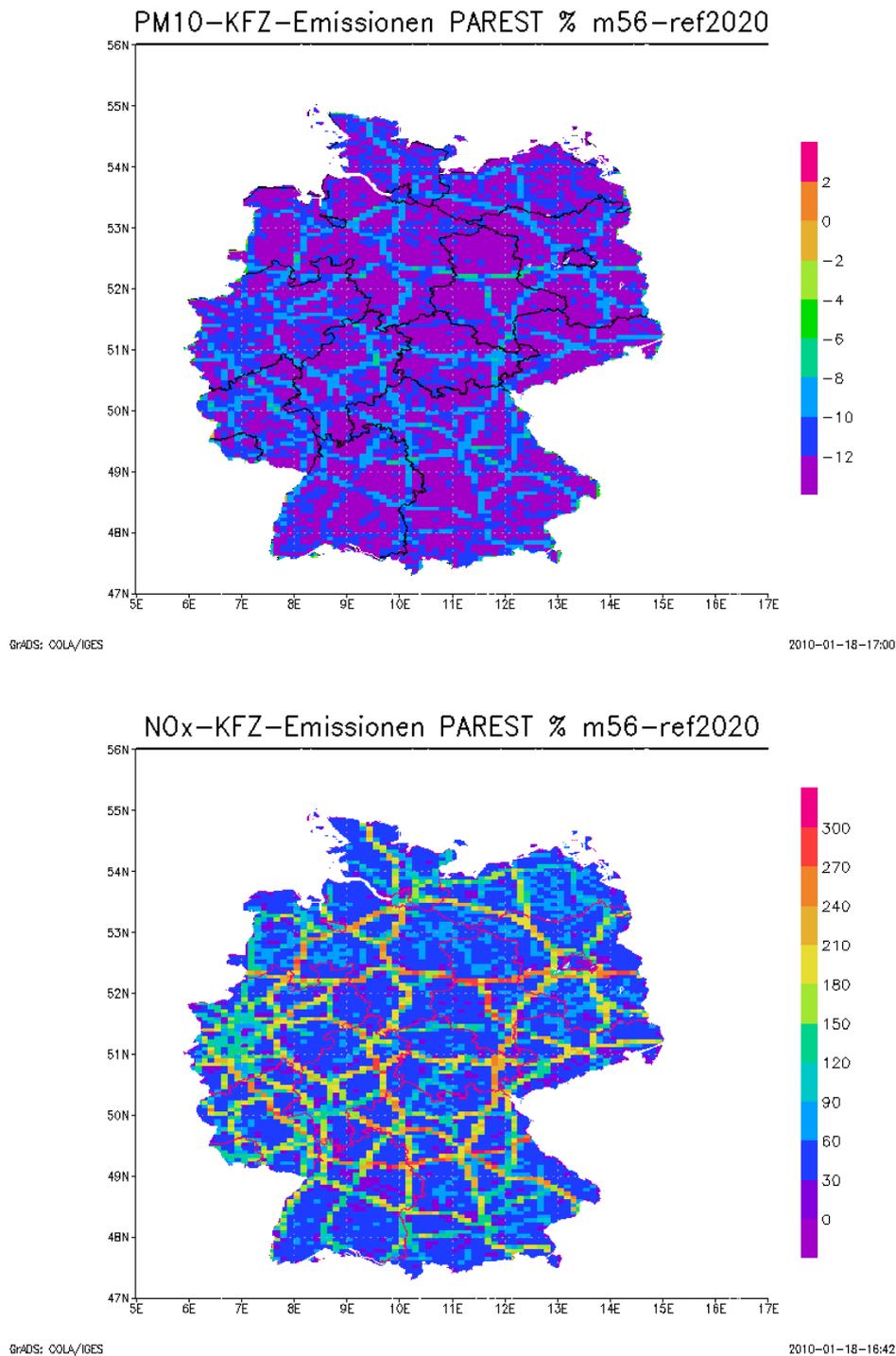


Abbildung 3-2 TREMOVE 2.7-Verkehrsemissionen relativ zu den TREMOD 4.17M-Verkehrsemissionen für die Referenz 2020. Angaben in %. Oben verkehrsbedingte PM10-Emissionen, unten verkehrsbedingte NO_x-Emissionen.

4 Vergleich der Immissionsberechnungen TREMOD-TREMOVE

4.1 Überblick zu den RCG-Rechenläufen

Für den Vergleich TREMOD 4.17M mit TREMOVE 2.7 wurden folgende RCG-Rechenläufe ausgeführt:

- Jahreslauf für die Referenz 2005 mit den Straßenverkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M
- Jahreslauf für die Referenz 2005 mit den Straßenverkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7
- Jahreslauf für die Referenz 2020 mit den Straßenverkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M
- Jahreslauf für die Referenz 2020 mit den Straßenverkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7

Alle anderen Emissionen sind für die jeweiligen Referenzen identisch.

Im nächsten Kapitel erfolgt eine Bewertung entsprechend der in Kapitel 2 beschriebenen Auswertesystematik. Diese Auswertung erfolgt zum Einen für die Referenzen 2005 und 2020. Zusätzlich zur zusammenfassenden Auswertung werden zur Erfassung der lokalen Unterschiede für Deutschland die flächenhaften Ergebnisse der RCG-Rechenläufe für Deutschland auf Basis der TREMOD-, bzw. TREMOVE-Verkehrsemissionen für die Referenz 2005 und 2020 vorgestellt und verglichen.

Für die Referenz 2020 wird weiterhin untersucht, ob und wie die Beiträge der einzelnen Verursachergruppen zu dem im Jahre 2020 noch verfügbaren Minderungspotenzial durch die alternative Berechnungsweise der Verkehrsemissionen beeinflusst werden. Dazu werden noch eine Reihe hypothetischer Szenarienzläufe diskutiert. Diese Läufe dienen dazu, das maximal mögliche Minderungspotenzial pro Verursachergruppe abzuschätzen. Folgende Szenarien werden betrachtet:

- Keine anthropogenen Emissionen in Deutschland

Jeweils keine Emissionen der Verursachergruppe:

- „Energy transformation“ (SNAP 1)
- „Small combustion sources“ (SNAP 2)
- „Industrial combustion“ (SNAP 3)
- „Industrial Process emissions“ (SNAP 4)
- „Extraction of fossil fuels“ (SNAP 5)
- „Solvent and product use“ (SNAP 6)
- „Road transport exhaust“ (SNAP 7-1 und SNAP 7-2)
- „Brake and tyre wear“ (SNAP 7-4)
- „Traffic resuspension“ (SNAP 7_6)
- „Road traffic total“ (SNAP 7)
- „Non road transport“ (SNAP 8)
- „Agriculture“ (SNAP 10)

Diese Serie von Rechenläufen wurde einmal auf Basis der Referenz 2020 mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD, Version 4.17M, und einmal auf der Basis der Referenz mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE, Version 2.7, gerechnet.

Die durch das Abschalten einzelner Verursachergruppen erreichbaren Emissionsminderungen bezüglich der Emissionen der Referenz 2020 zeigt die Tabelle 4-1 für die Referenz 2020 mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD bzw. den Verkehrsemissionen nach TREMOVE. Bei den Stickoxiden stellen die Emissionen von SNAP 1 (Energieerzeugung) den größten Einzelanteil an den Emissionen der Referenz 2020-TREMOD gefolgt vom Verkehr. Bei der Referenz 2020-TREMOVE haben dagegen die NO_x -Verkehrsemissionen das größte Minderungspotenzial gefolgt von SNAP 1. Das NO_x -Emissionsminderungspotenzial für Dieselfahrzeuge der Referenz 2020-TREMOVE ist circa doppelt so hoch wie das der Referenz 2020-TREMOD. Ammoniakemissionen werden zu über 95% von der Landwirtschaft gestellt. Die Kleinf Feuerungsanlagen haben bei beiden Referenzen 2020 das größte Emissionsminderungspotenzial beim $\text{PM}_{2.5}$ gefolgt von dem des Straßenverkehrs. Das gesamte PM_{10} -Minderungspotenzial der Verkehrsemissionen ist für TREMOD und TREMOVE recht ähnlich, allerdings ist das Potenzial der Dieselfahrzeuge bei TREMOVE circa dreifach höher als das bei TREMOD. Dieses höhere Potential für die PM_{10} -Auspuffemissionen wird in der Summe ausgeglichen durch das deutliche niedrigere TREMOVE-Potenzial für den Brems- und Reifenabrieb. Bei den PM_{10} -Emissionen stellt der Verkehr wegen der hohen Wiederaufwirbelungsemissionen bei beiden Referenzen den größten Einzelbeitrag.

Die 100%ige Reduzierung der Emissionen aller Verursachergruppen ergibt das Szenario „keine deutschen anthropogenen Emissionen“, dessen Immissionsminderungspotenzial die in Deutschland maximal mögliche Absenkung der Immissionen durch nationale Maßnahmen beschreibt. Die Restimmission wird dann bestimmt durch den Beitrag des Ferntransports über die deutschen Grenzen und dem Beitrag der natürlichen Emissionen.

Der Beitrag der einzelnen Verursacher zu den Immissionen innerhalb von Deutschland wird durch Nullsetzen der entsprechenden Emissionen in Deutschland bestimmt. Für inerte Schadstoffe führt die Addition der Einzelbeiträge exakt zu den Ergebnissen des Basislaufs mit allen Emissionen. Für chemisch reagierende Stoffe ist dies nur näherungsweise der Fall, was eine Folge der nichtlinearen Beziehungen zwischen den Vorläuferemissionen und den über eine komplexe Kette chemischer Reaktionen entstehenden Folgeprodukten wie NO_2 und PM_{10} ist. Eine Änderung der Zusammensetzung der Emissionen führt auch zu einer Änderung der chemischen Abläufe und damit zu einer Änderung der Konzentrationsbeiträge. Aus diesen Gründen können die berechneten Beiträge der einzelnen Verursachergruppen zur Gesamtkonzentration auch nur als Näherung betrachtet werden.

Minderungspotenziale 2020 %	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	-31.2	-0.6	-56.6	-0.5	-9.0	-4.5
Small combustion sources	-10.3	-6.9	-7.9	-0.5	-29.9	-14.3
Industrial combustion	-7.2	-0.3	-13.7	-0.2	-7.5	-7.2
Industrial process emissions	-7.5	-5.6	-20.0	-1.6	-11.9	-18.8
Extraction of fossil fuels	0.0	-0.9	-1.3	0.0	-0.8	-1.8
Solvent and product use	0.0	-57.9	0.0	-0.3	-8.8	-3.9
Road transport gasoline	-2.6	-1.9	-0.1	-1.1	0.0	0.0
Road transport diesel	-15.5	-3.3	-0.1	-0.1	-2.1	-0.9
Brake and tyrewear	0.0	0.0	0.0	0.0	-11.7	-9.7
Volatilisation losses	0.0	-0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Traffic resuspension	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.3	-23.4
Road traffic total TREMOD 4.17M	-18.2	-6.0	-0.2	-1.2	-19.1	-34.0
Non road transport	-16.6	-3.4	-0.3	-0.2	-7.4	-3.3
Waste handling and disposal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agriculture	-9.1	-18.5	0.0	-95.6	-5.7	-12.2

Minderungspotenziale 2020 %	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	-25.4	-0.6	-56.5	-0.5	-9.2	-4.7
Small combustion sources	-8.4	-7.1	-7.9	-0.5	-30.5	-14.8
Industrial combustion	-5.9	-0.3	-13.7	-0.2	-7.7	-7.4
Industrial process emissions	-6.1	-5.8	-20.0	-1.6	-12.1	-19.5
Extraction of fossil fuels	0.0	-0.9	-1.3	0.0	-0.8	-1.9
Solvent and product use	0.0	-59.5	0.0	-0.3	-9.0	-4.0
Road transport gasoline	-2.2	-2.4	-0.1	-1.1	0.0	0.0
Road transport diesel	-31.1	-0.8	-0.2	-0.1	-7.1	-3.2
Brake and tyrewear	0.0	0.0	0.0	0.0	-4.8	-4.0
Volatilisation losses	0.0	-0.8	0.0	0.0	0.0	0.0
Traffic resuspension	0.0	0.0	0.0	0.0	-5.4	-24.3
Road traffic total TREMOVE 2.7	-33.2	-3.4	-0.3	-1.2	-17.3	-31.5
Non road transport	-13.5	-3.5	-0.3	-0.2	-7.6	-3.4
Waste handling and disposal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agriculture	-7.4	-19.0	0.0	-95.6	-5.8	-12.7

Tabelle 4-1 Erreichbare Emissionsminderungen in % bezüglich der Emissionsreferenz 2020 für das Abschalten einzelner Verursachergruppen (-100% aller Emissionen einer Verursachergruppe). Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M, unten: Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7. Die Summe der Einzelminderungen ergibt -100%.

4.2 Referenz 2005

Die zusammenfassende, bevölkerungsgewichtete Bewertung erfolgt nach der in Kapitel 2 beschriebenen Vorgehensweise für die 4 Klassen mit zunehmender Bevölkerungsdichte, für Deutschland gesamt und für die zur Berechnung des AEI ausgewählten städtischen Hintergrundstationen.

Ausgangspunkt der Betrachtung sind die bevölkerungsgewichteten PM₁₀-, PM_{2.5}- und NO₂-Konzentrationen der Referenzen 2005 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen, jeweils ermittelt aus dem Lauf mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M bzw. TREMOVE 2.7 (Abbildung 4-1). Die Unterschiede der für die beiden Referenzen ermittelten PM₁₀-Jahresmittelwerte und PM_{2.5}-Jahresmittelwerte sind gering. Das bevölkerungsgewichtete PM₁₀-Jahresmittel beträgt im Mittel über Deutschland für die Referenz 2005 circa 18 µg/m³. Von der Bevölkerungsklasse 1 (ländliche Regionen) bis zur Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsgebiete) steigt die PM₁₀-Konzentration von 15 auf 22 µg/m³ an. Die mittlere Konzentration an den AEI-Stationen ist nahezu identisch mit dem Wert für die Bevölkerungsklasse 4.

Für die NO₂-Jahresmittelwerte machen sich die höheren Verkehrsemissionen der Referenz 2005-TREMOVE dagegen deutlich bemerkbar (Abbildung 4-1 unten). In ländlichen Regionen (Bevölkerungsklasse 1, BVK1) ergeben sich mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE im Mittel circa 1 µg/m³ höhere NO₂-Jahresmittelwerte, in städtischen Regionen (BVK 3 und 4, AEI-ST) zwischen 2 bis 3 µg/m³ höhere NO₂-Jahresmittelwerte als für die Referenz 2005-TREMOD.

Die Abbildung 4-2 zeigt die horizontale Verteilung der PM₁₀-Jahresmittelwerte in Deutschland für die Referenz 2005-TREMOD und die Referenz 2005-TREMOVE. Es ist ersichtlich, dass die Unterschiede zwischen den beiden Ergebnissen gering sind. Die absoluten Konzentrationsunterschiede liegen unter 0.5 µg/m³ (Abbildung 4-3 oben), die relativen Unterschiede in dem Bereich von -1.5 bis +2.5 % (Abbildung 4-3 unten).

Die entsprechenden horizontalen Verteilungen für die NO₂-Jahresmittelwerte zeigen die Abbildung 4-4 und die Abbildung 4-5. Hier ist offensichtlich, dass die Berechnung der Verkehrsemissionen mit TREMOVE 4.17M hauptsächlich im Bereich der Hauptverkehrsachsen zu höheren NO₂-Jahresmittelwerten führt. Lokal werden auf der Basis von TREMOVE 2.7 bis zu 6 µg/m³ höhere NO₂-Jahresmittelwerte berechnet als auf der Basis von TREMOD 4.17M. Dies entspricht bezogen auf die Ergebnisse mit TREMOD in verkehrsbelasteten Regionen bis zu 25% höheren NO₂-Jahresmittelwerten.

Zur Klärung der Frage, wie weit sich die alternative Berechnung der Verkehrsemissionen bei der Evaluierung der Modellrechnungen bemerkbar macht, zeigt die Abbildung 4-6 den Vergleich der berechneten mit den beobachteten PM₁₀-Jahresmittelwerten. Wie zu erwarten ist kaum ein Unterschied zwischen dem TREMOD- und TREMOVE-Vergleich zu erkennen. Grundsätzlich werden die beobachteten PM₁₀-Jahresmittelwerte an den meisten Stationen mit steigender Konzentration zunehmend unterschätzt. Die im Vergleich zu den Unterschätzungen wenigen Überschätzungen treten überwiegend an Stationen auf, die im Einflussbereich von Industrieemissionen liegen. Hauptsächlich liegen diese Stationen im Raum Ludwigshafen/Mannheim und im Ruhrgebiet. Dies mag ein Hinweis sein, dass Industrieemissionen, insbesondere die Emissionen von Schüttgutanlagen zum Teil überschätzt werden, da die Emissionen von Schüttgutanlagen unabhängig von den meteorologischen Bedingungen berechnet werden, was unter gewissen meteorologischen Bedingungen (niedrige Windgeschwindigkeit, Regen) zu Emissionsüberschätzungen führen kann. Aber auch eine zu geringe turbulente Vermischung der Schadstoffe kann eine mögliche Ursache der Überschätzung sein (siehe dazu Stern, 2010d; Kerschbaumer, 2010).

Die systematische Unterschätzung von PM₁₀-Jahresmittelwerten, insbesondere der Konzentrationen während Episoden mit erhöhtem Feinstaubeintrag, ist ein übliches Phänomen bei der Modellierung der PM₁₀-Belastung, das zum Einen darin begründet ist, dass nicht alle PM₁₀-Quellen mit ihren Emissionen bekannt sind und auch die Qualität der verfügbaren anthropogenen Partikel-Emissionsdaten geringer ist als diejenige der klassischen Schadstoffe wie z. B. NO_x und SO₂. Partikelemissionen aus landwirtschaftlichen Aktivitäten, windbedingte Staubaufwirbelung von naturbelassenen Böden oder in Stadtgebieten (z. B. aus Baustellentätigkeit oder Wiederaufwirbelung durch den Kfz-Verkehr) sowie biogene Aerosole sind ungenau, unvollständig oder gar nicht erfasst, da die Emissionsprozesse wegen der Abhängigkeit der Emissionen von den meteorologischen Bedingungen und der Beschaffenheit des Untergrunds schwer zu beschreiben sind oder die Verursacher nicht bekannt sind. Auch die gasförmigen Primäremissionen, die zu den organischen und anorganischen Sekundäraerosolen führen, stehen nur zum Teil zur Verfügung (z. B. biogen emittierte Isoprene und Terpene, aber auch anthropogen verursachte NH₃-Emissionen). Zum Anderen sind die physikalisch/chemischen Prozesse, die zur Bildung und dynamischen Entwicklung von Aerosolen führen, wegen der extrem inhomogenen Eigenschaften der Aerosole bzgl. Größe, Masse, Oberfläche und Zusammensetzung nur zum Teil bekannt oder können wegen ihrer Komplexität im Rahmen dreidimensionaler Modellierungen nur vereinfachend behandelt werden. Ein weiterer Grund für die allgemeine Unterschätzung gravimetrischer PM₁₀-Beobachtungen ist der Wassergehalt der Proben, der bis zu 30% der Gesamtmasse betragen kann (Putaud et al., 2004). Dieser Wassergehalt ist in Modellrechnungen nicht berücksichtigt, da die für das Wiegen der Proben vorgeschriebenen Bedingungen (50% relative Feuchte, 20°C) nicht reproduziert werden können (s. z. B. Tsyro, 2005). Die Ergebnisse mehreren internationaler Modellvergleiche zeigen, dass all dies Unsicherheiten in den meisten Modellrechnungen mit chemischen Transportmodellen zu einer Unterschätzung der beobachteten PM₁₀-Masse führen (Stern et al., 2008; Sartelet et al., 2007; Vautard et al., 2007).

Auch für die NO₂-Jahresmittelwerte sind die Unterschiede zwischen den Evaluierungsergebnissen für die Referenz 2005-TREMOD und denjenigen für die Referenz 2005-TREMOVE gering, wenn auch deutlicher als für PM₁₀ (Abbildung 4-7). Wie schon bei den Flächendarstellungen gezeigt, liefert die Referenz 2005-TREMOVE höhere NO₂-Jahresmittelwerte als die Referenz 2005-TREMOD. In den ländlichen Regionen wird die leichte Überschätzung der beobachteten NO₂-Jahresmittelwerte dadurch etwas verstärkt. Im städtischen Hintergrund dagegen ist die Streuung der RCG-Ergebnisse mit TREMOVE um die Beobachtungen etwas ausgeglichener als bei denjenigen mit TREMOD, die eine stärkere Tendenz zur Unterschätzung zeigen. Insgesamt lässt sich aus diesen Unterschieden aber nicht ableiten, ob eine der beiden Methoden zur Berechnung der Verkehrsemissionen zu besseren Evaluierungsergebnissen führt, da die Streuungen der RCG-Ergebnisse um die Beobachtungen dazu zu groß sind. Die Modellierung beobachteter NO₂-Jahresmittelwerte ist wegen des lokalen Charakters der NO₂-Verteilung extrem abhängig von der verwendeten Rechenskala. Die hier verwendete Auflösung von circa 7 x 8 km² für die Emissionen und die Konzentrationen dürfte insbesondere in den höher belasteten Ballungsräumen, die durch eine inhomogene Emissionsstruktur gekennzeichnet sind, oft nicht ausreichen, um die Beobachtungen zu reproduzieren. Es treten Unter- und Überschätzungen auf, da in den Modellrechnungen alle Emissionen sofort gleichmäßig in einer Gitterzelle verteilt werden. Die Beobachtungen an Stationen, die in der Realität nur bei einer gewissen Windrichtung unter dem Einfluss einer Quelle liegen oder relativ weit entfernt von einer Quelle liegen, können wegen dieser Skalenproblematik überschätzt werden. Auf der anderen Seite kommt es zu Unterschätzungen an Stationen, die im direkten Nahbereich einer Quelle liegen. Generell gilt diese Problematik natürlich auch für die PM₁₀-Simulation, aber nur in abgeschwächtem Maße, da PM₁₀ zu einem großen Anteil aus sekundären Aerosolen besteht. Die Sekundäraerosole bilden sich erst während des Transports der

Vorläufer und sind damit weit weniger von der Skalenproblematik betroffen als die primären Emissionen. Außerdem führt die oben dargestellte Problematik der PM10-Simulation tendenziell eher zu einer generellen Unterschätzung der PM10-Beobachtungen.

Abbildung 4-8 zeigt noch einmal direkt die Unterschiede zwischen der Simulation mit TREMOD bzw. TREMOVE an den für den Vergleich mit Beobachtungen benutzten Stationen. Wie schon festgestellt, sind die Unterschiede für die PM10-Jahresmittelwerte gering. Bei den NO₂-Jahresmittelwerten steigen die Unterschiede mit zunehmender Belastung bis auf circa 4 bis 5 µg/m³ an.

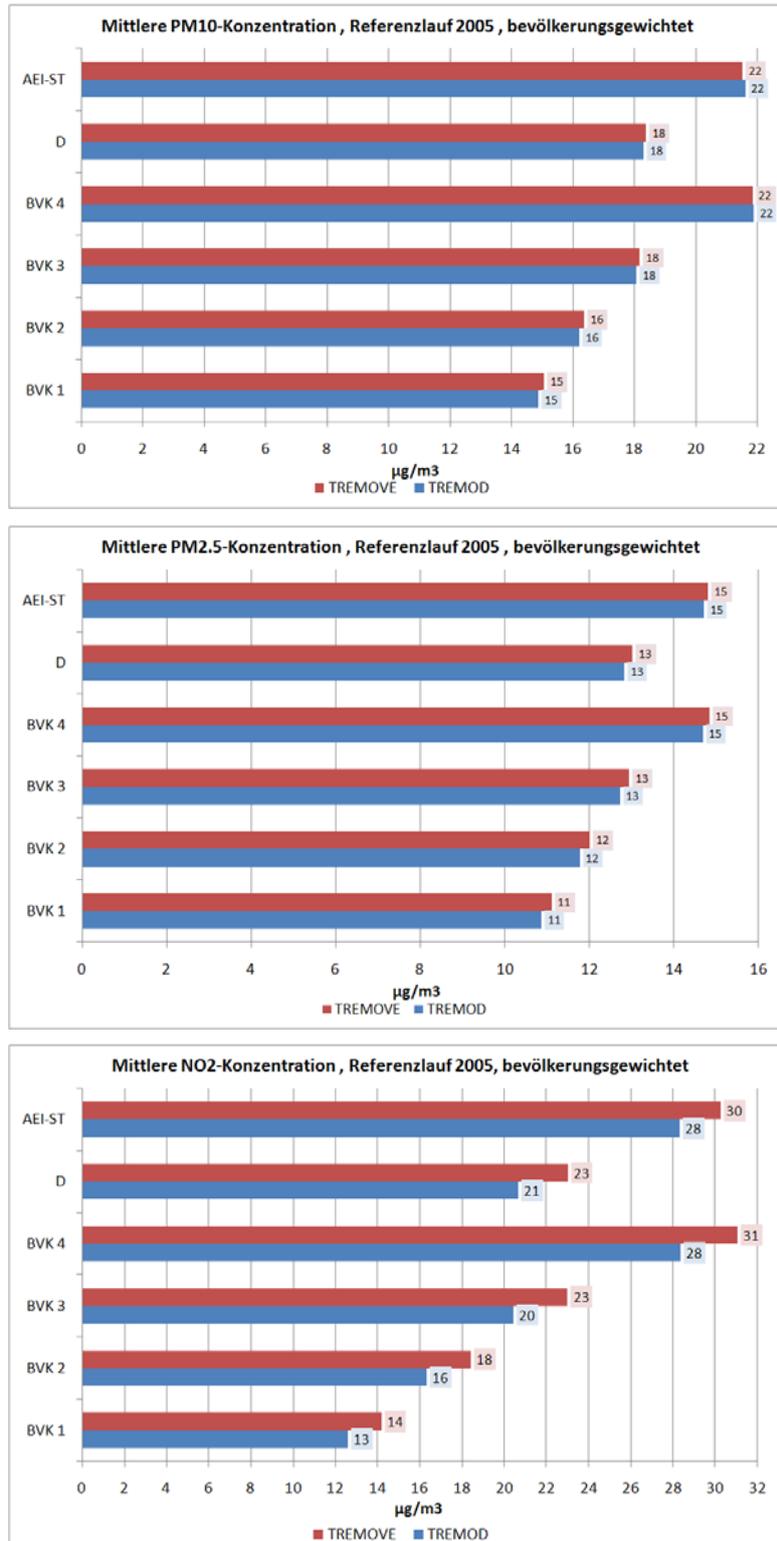


Abbildung 4-1 Bevölkerungsgewichtete PM10-, PM2.5- und NO₂-Konzentrationen der Referenz 2005 TREMOD 4.17M und TREMOVE 2.7 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

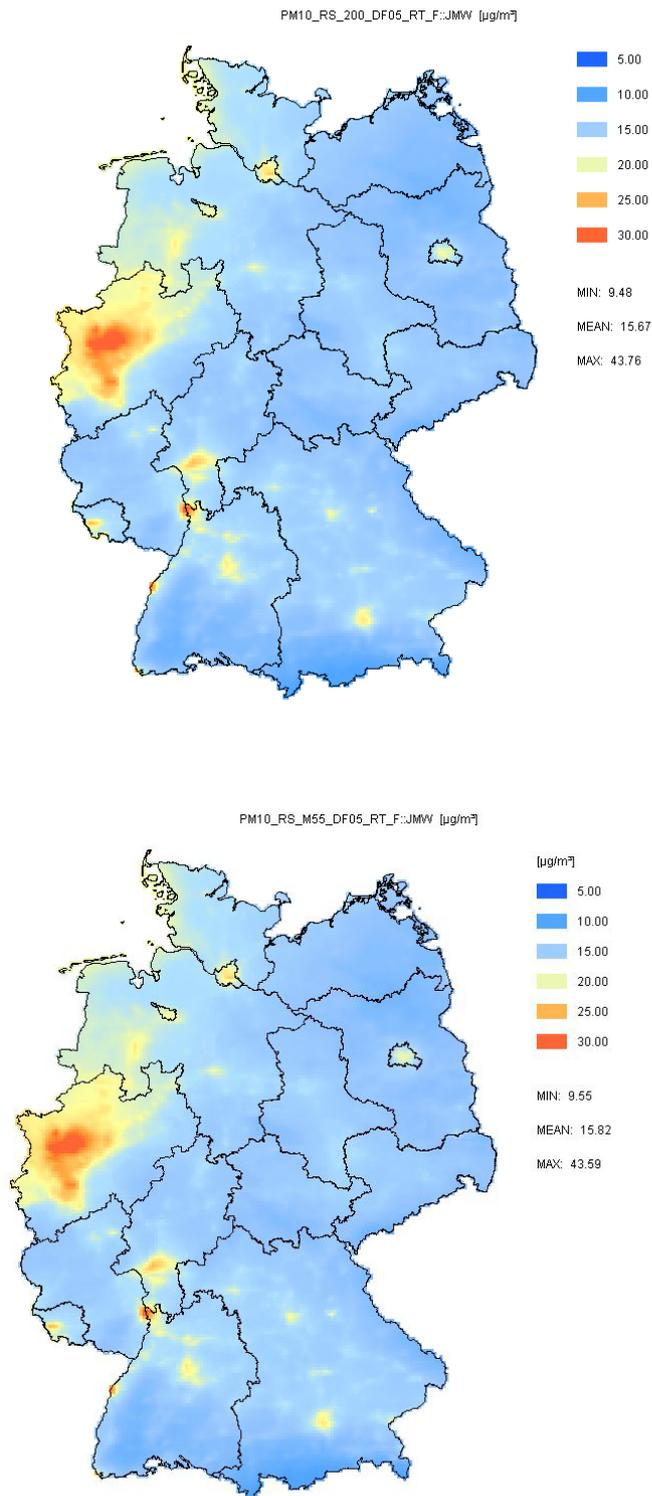


Abbildung 4-2 PM10-Jahresmittelwerte für die Emissionsreferenz 2005 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M. Unten: Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentration (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

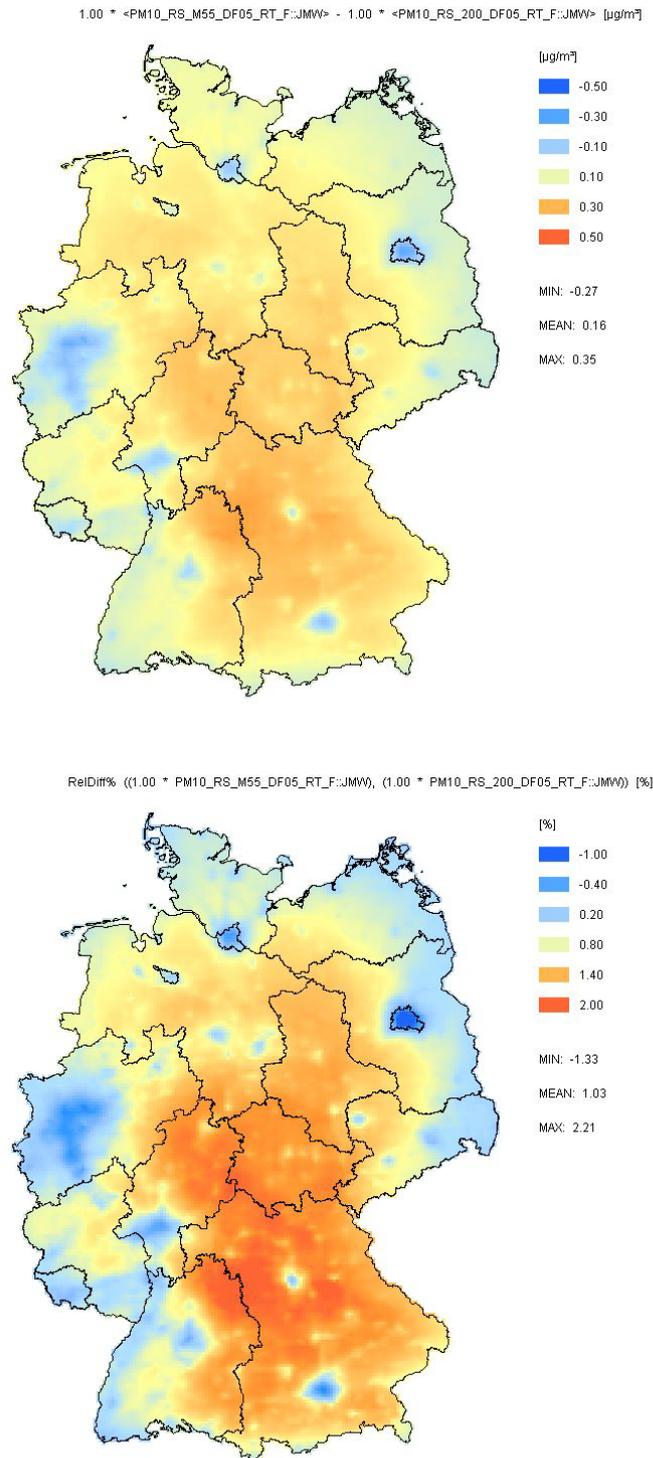


Abbildung 4-3 Absolute (oben, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und relative (unten, %) Änderung der PM10-Jahresmittelwerte 2005 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch REMOVE 2.7 ersetzt). MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

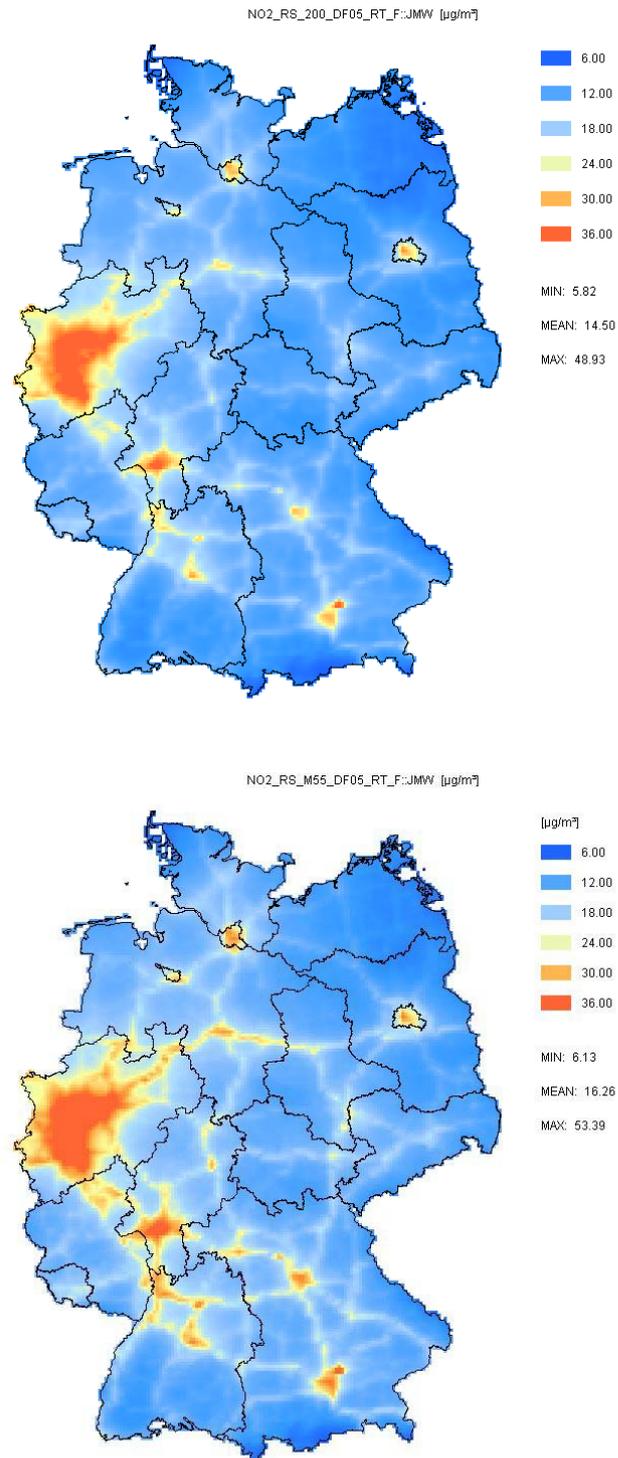


Abbildung 4-4 NO₂-Jahresmittelwerte für die Emissionsreferenz 2005 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M. Unten: Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentration (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

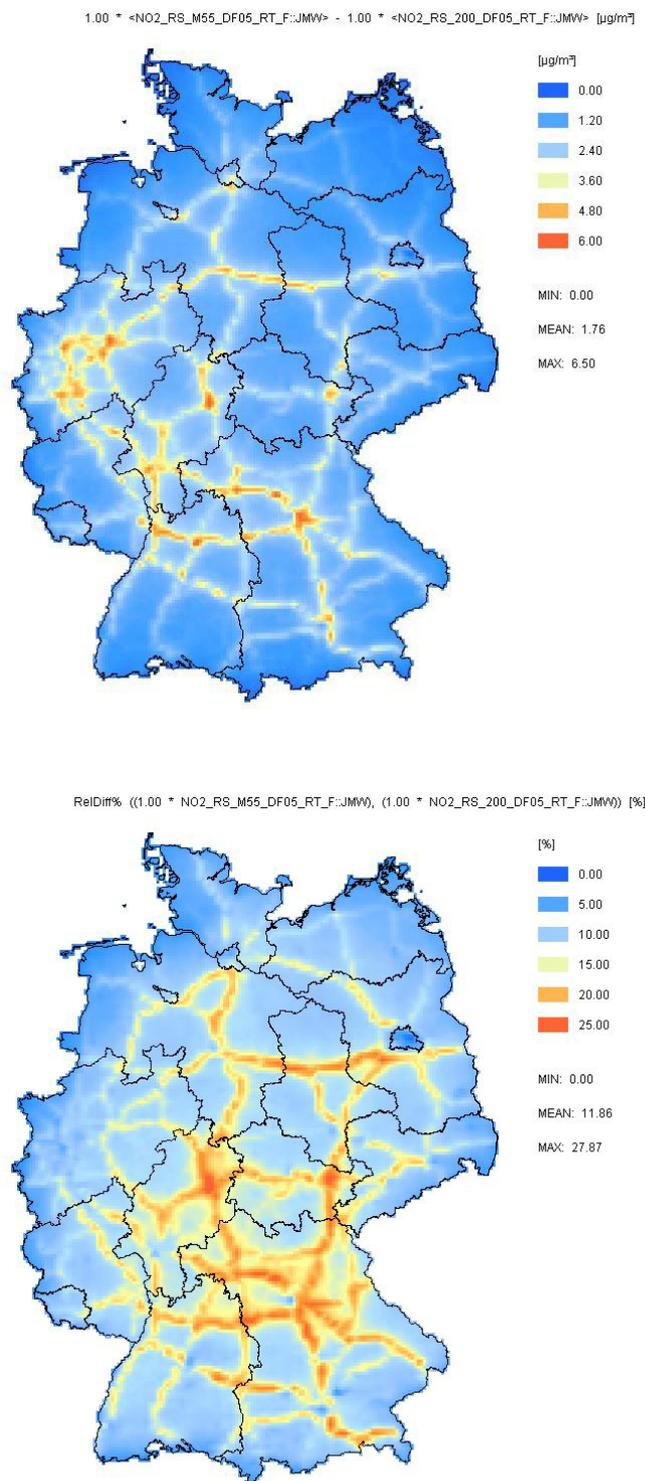


Abbildung 4-5 Absolute (oben, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und relative (unten, %) Änderung der NO_2 -Jahresmittelwerte 2005 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch TREMOVE 2.7 ersetzt). MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

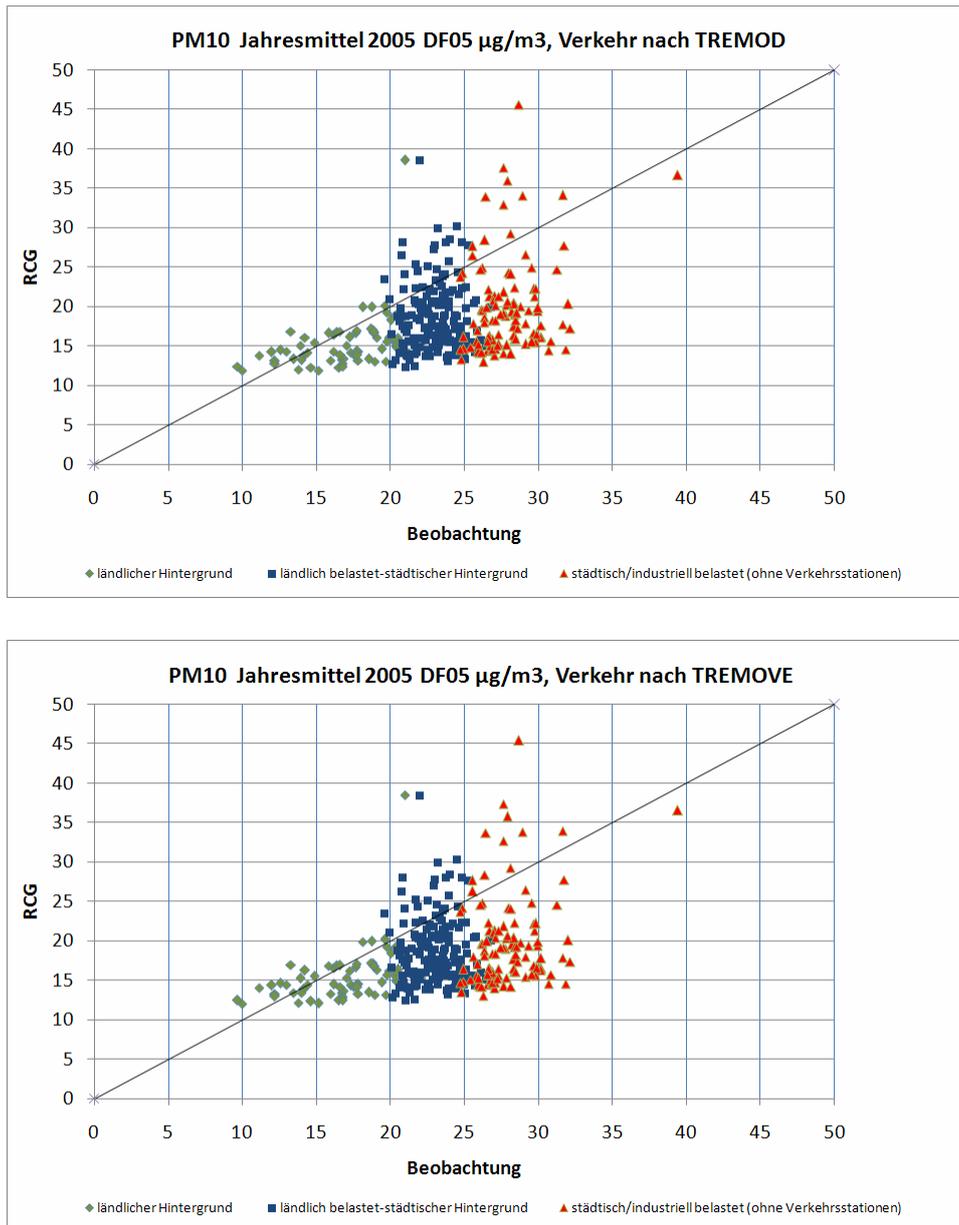


Abbildung 4-6 Vergleich der berechneten PM10-Jahresmittelwerte 2005 mit Beobachtungen. Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M, unten Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7.

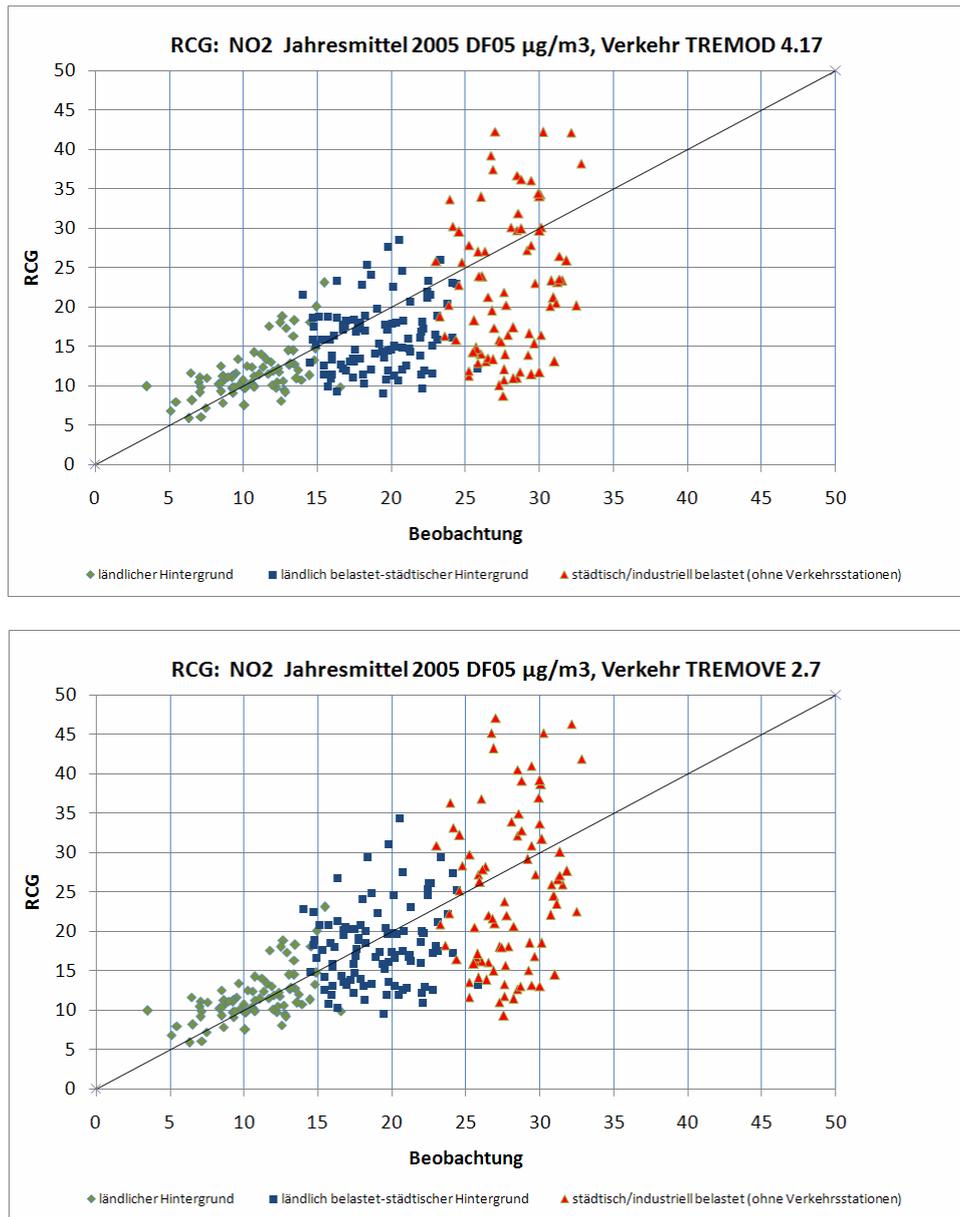


Abbildung 4-7 Vergleich der berechneten NO₂-Jahresmittelwerte 2005 mit Beobachtungen. Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M, unten Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7.

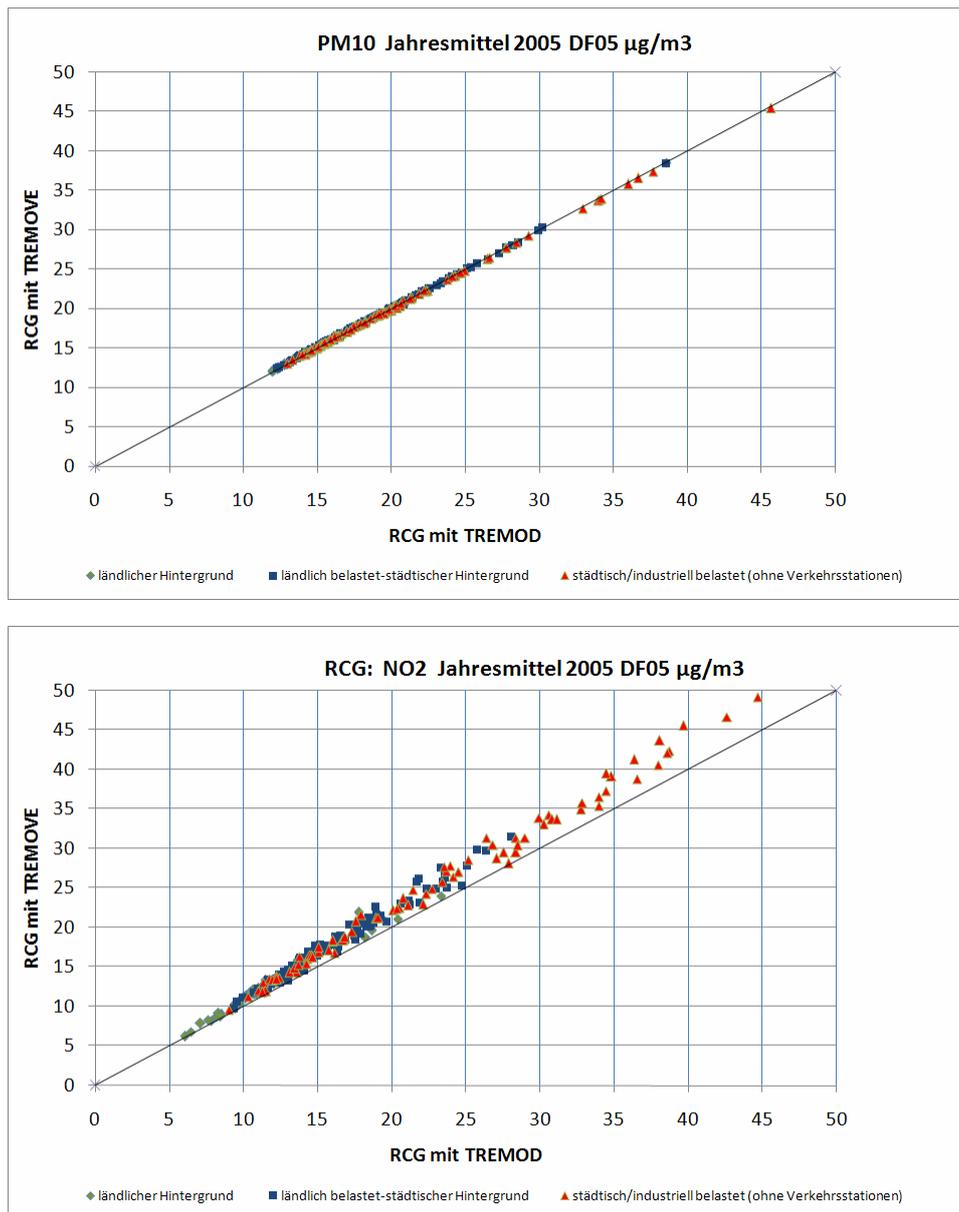


Abbildung 4-8 Vergleich der berechneten PM₁₀- und NO₂-Jahresmittelwerte 2005 mit Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M und Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 an den für Abbildung 4-6 und Abbildung 4-7 verwendeten Stationen.

4.3 Referenz 2020

Die Abbildung 4-9 zeigt die der Abbildung 4-1 entsprechende bevölkerungsgewichtete Auswertung für die Referenz 2020. Grundsätzlich ist das Konzentrationsniveau der Referenz 2020 deutlich niedriger als das der Referenz 2005. Wie schon in 2005 sind die Unterschiede der für die beiden Referenzen 2020 ermittelten PM₁₀-Jahresmittelwerte und PM_{2.5}-Jahresmittelwerte gering. Das bevölkerungsgewichtete PM₁₀-Jahresmittel beträgt im Mittel über Deutschland für die Referenz 2020 circa 15 µg/m³ (Referenz 2005: 18 µg/m³). Von der Bevölkerungsklasse 1 (ländliche Regionen) bis zur Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsgebiete) steigt die PM₁₀-Konzentration von 12 auf 18 µg/m³ (Referenz 2005: 15 auf 22 µg/m³) an. Bei

den NO₂-Jahresmittelwerten machen sich die höheren Verkehrsemissionen von TREMOVE 2.7 in der Referenz 2020 vor allem in den höheren Bevölkerungsklassen noch deutlicher bemerkbar als in der Referenz 2005. In ländlichen Regionen (Bevölkerungsklasse 1, BVK1) ergeben sich mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE für 2020 im Mittel circa 1 µg/m³ höhere NO₂-Jahresmittelwerte, in städtischen Regionen (BVK 3 und 4, AEI-ST) zwischen 3 und 4 µg/m³ höhere NO₂-Jahresmittelwerte als für die Referenz 2020-TREMOD 4.17M.

Die sich aus den verschiedenen Verkehrsemissionen der beiden Verkehrsmodelle ergebenden Konzentrationstendenzen von 2005 nach 2020 zeigt die Abbildung 4-10. Beim PM10 und PM2.5 sind die relativen Abnahmen der Jahresmittelwerte von 2005 nach 2020 für beide Verkehrsdatensätze ähnlich hoch. Insgesamt bewegen sich die berechneten Abnahmen zwischen 17 und 20%, je nach Bevölkerungsklasse. Bei den NO₂-Jahresmittelwerten zeigen sich in der Tendenz jedoch Unterschiede. Auf Basis der Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M wird für die Entwicklung der NO₂-Konzentrationen bis 2020 eine positivere Prognose berechnet, d. h. die prognostizierten Abnahmen der Konzentrationen sind deutlich höher als diejenigen auf Basis der Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7. Für TREMOD 4.17M wird im Deutschlandmittel eine Abnahme der NO₂-Jahresmittelwerte bis 2020 um 46% berechnet, für TREMOVE 2.7 nur um 39%.

Die Abbildung 4-11 zeigt die horizontale Verteilung der PM10-Jahresmittelwerte in Deutschland für die Referenz 2020-TREMOD und die Referenz 2020-TREMOVE. Wie schon bei der Referenz 2005 ist ersichtlich, dass die Unterschiede zwischen den beiden Ergebnissen auch für die Referenz 2020 gering sind. Die absoluten Konzentrationsunterschiede liegen unter 0.5 µg/m³ (Abbildung 4-12 oben), die relativen Unterschiede in dem Bereich von circa -2 % bis +3 % (Abbildung 4-12 unten). In Abbildung 4-13 ist die räumliche Verteilung der absoluten und relativen Änderung der PM10-Jahresmittelwerte von 2005 nach 2020 für die Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M, in Abbildung 4-14 für die Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 dargestellt. Wie schon in der zusammenfassenden Auswertung gezeigt, sind auch die räumlichen Tendenzen für beide Berechnungen sehr ähnlich. Die berechneten Abnahmen bis 2020 liegen in Deutschland zwischen 1 und 11 µg/m³ oder 7 % und 29 %, unabhängig von der Wahl des Verkehrsmodells.

Die horizontalen Verteilungen für die NO₂-Jahresmittelwerte der Referenz 2020 zeigen die Abbildung 4-15 und die Abbildung 4-16. Die Berechnung der Verkehrsemissionen mit TREMOVE 2.7 führt hauptsächlich im Bereich der Hauptverkehrsachsen und den Ballungsräumen zu höheren NO₂-Jahresmittelwerten als für die Berechnung nach TREMOD 4.17M. Lokal werden auf der Basis von TREMOVE 2.7 bis zu 9 µg/m³ höhere NO₂-Jahresmittelwerte berechnet als auf der Basis von TREMOD 4.17M. Dies entspricht bezogen auf die Ergebnisse mit TREMOD bis zu 100% höheren Konzentrationswerten. Die Unterschiede zwischen den TREMOD- und TREMOVE-Berechnungen sind für die Referenz 2020 also größer als für die Referenz 2005. Die entsprechenden Zahlen für die Referenz 2005 sind lokal bis zu 6 µg/m³ oder bis zu 25% höhere NO₂-Jahresmittelwerte für TREMOVE (siehe Abbildung 4-5).

Abbildung 4-19 zeigt die mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 berechnete Änderung der PM10- und NO₂-Jahresmittelwerte von 2005 nach 2020 normiert auf die Änderung mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M. Beim PM10 liegen die mit TREMOVE berechneten Konzentrationsabnahmen zwischen 98 % und 105 % der Abnahmen mit TREMOD (100% bedeutet identische Abnahmen), sind also nur geringfügig niedriger oder höher als diejenigen für TREMOD. Die mit TREMOVE berechneten NO₂-Abnahmen bis 2020 betragen aber durchweg nur 60% bis 80% derjenigen mit TREMOD und sind damit deutlich niedriger.

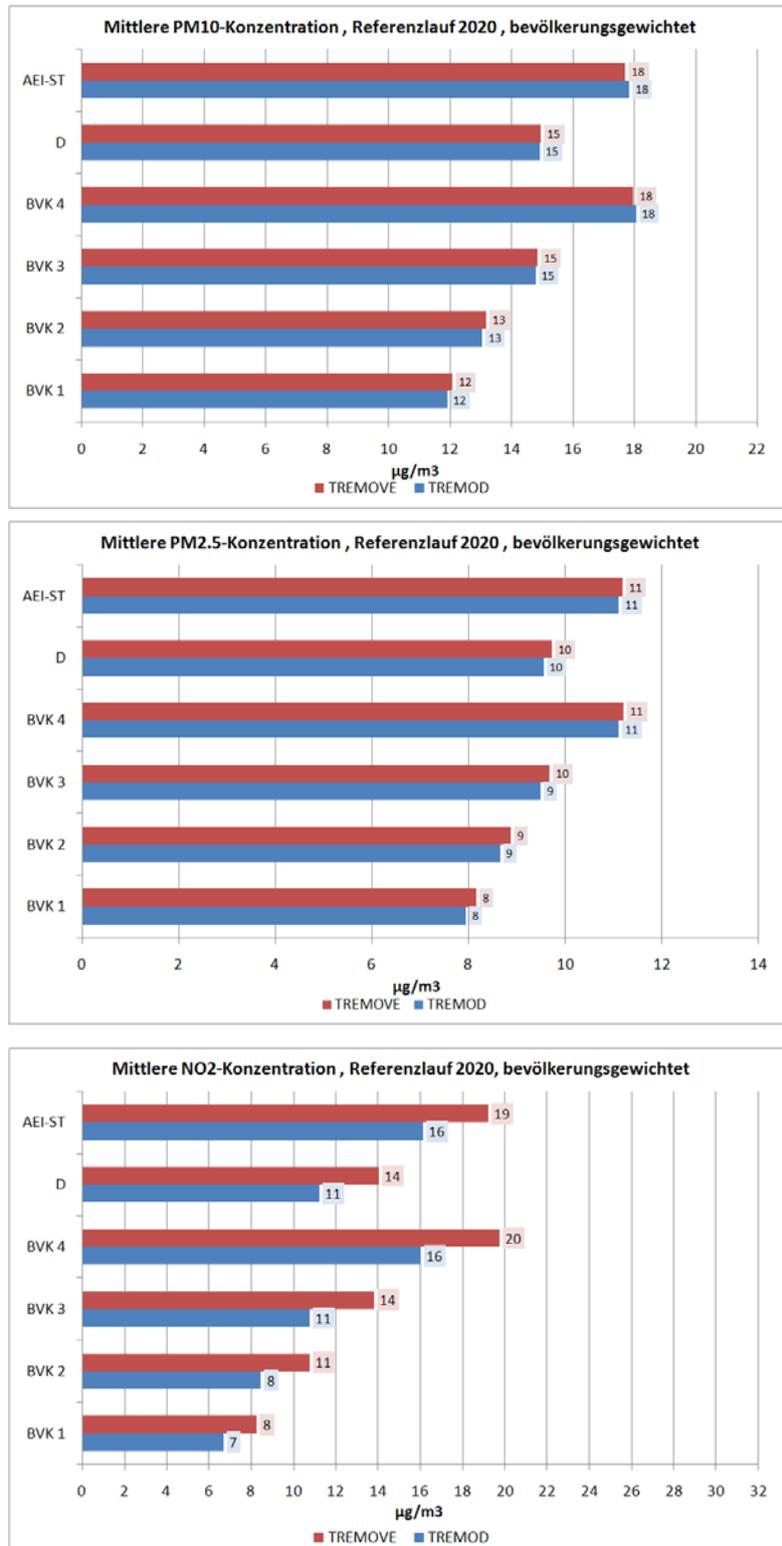


Abbildung 4-9 Bevölkerungsgewichtete PM10-, PM2.5- und NO₂-Konzentrationen der Referenz 2020 TREMOD 4.17M und TREMOVE 2.7 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in µg/m³.

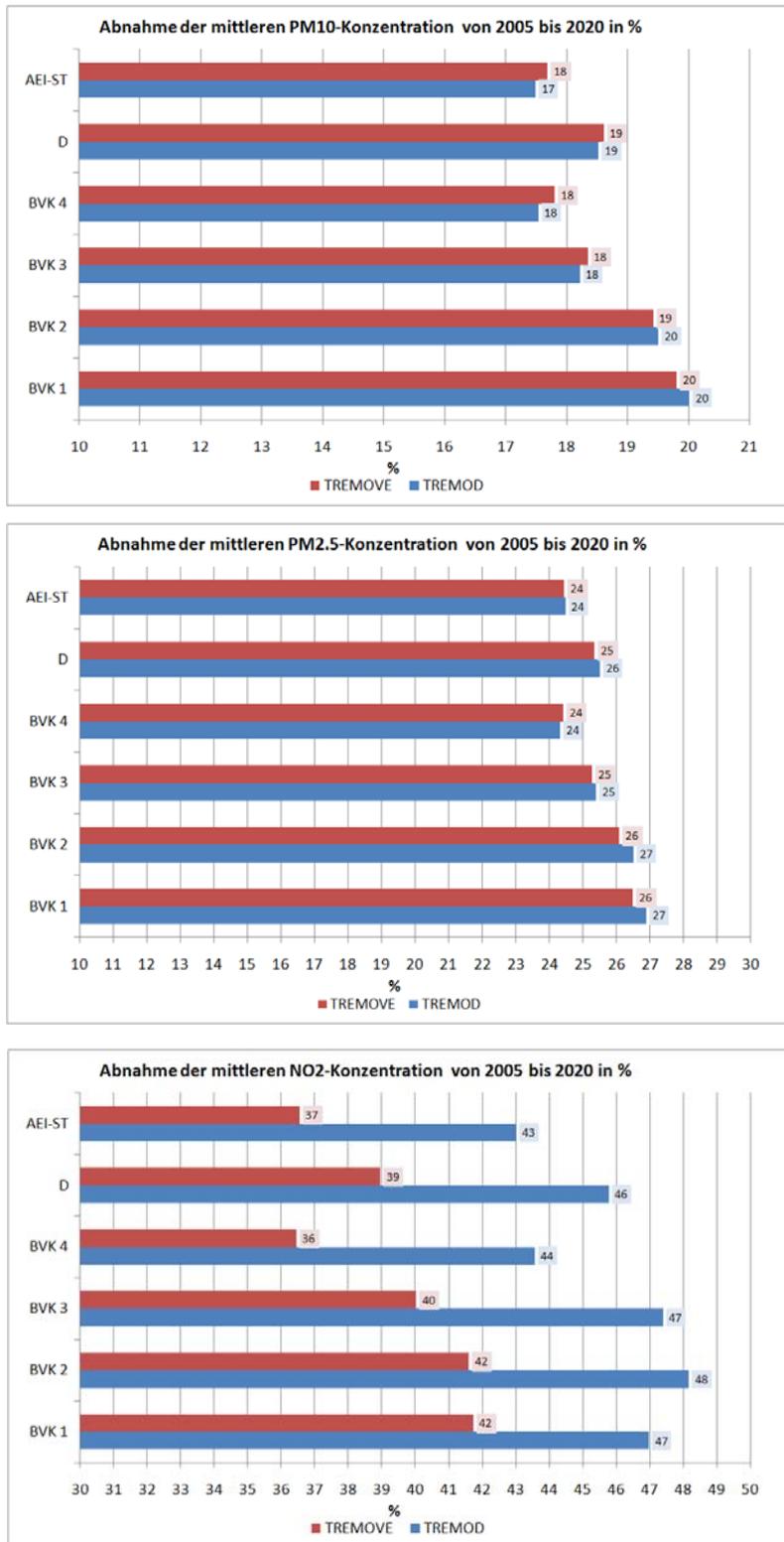


Abbildung 4-10 Bevölkerungsgewichtete relative PM10-, PM2.5- und NO₂-Abnahmen von 2005 nach 2020 basierend auf TREMOD 4.17M und TREMOVE 2.7 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in %.

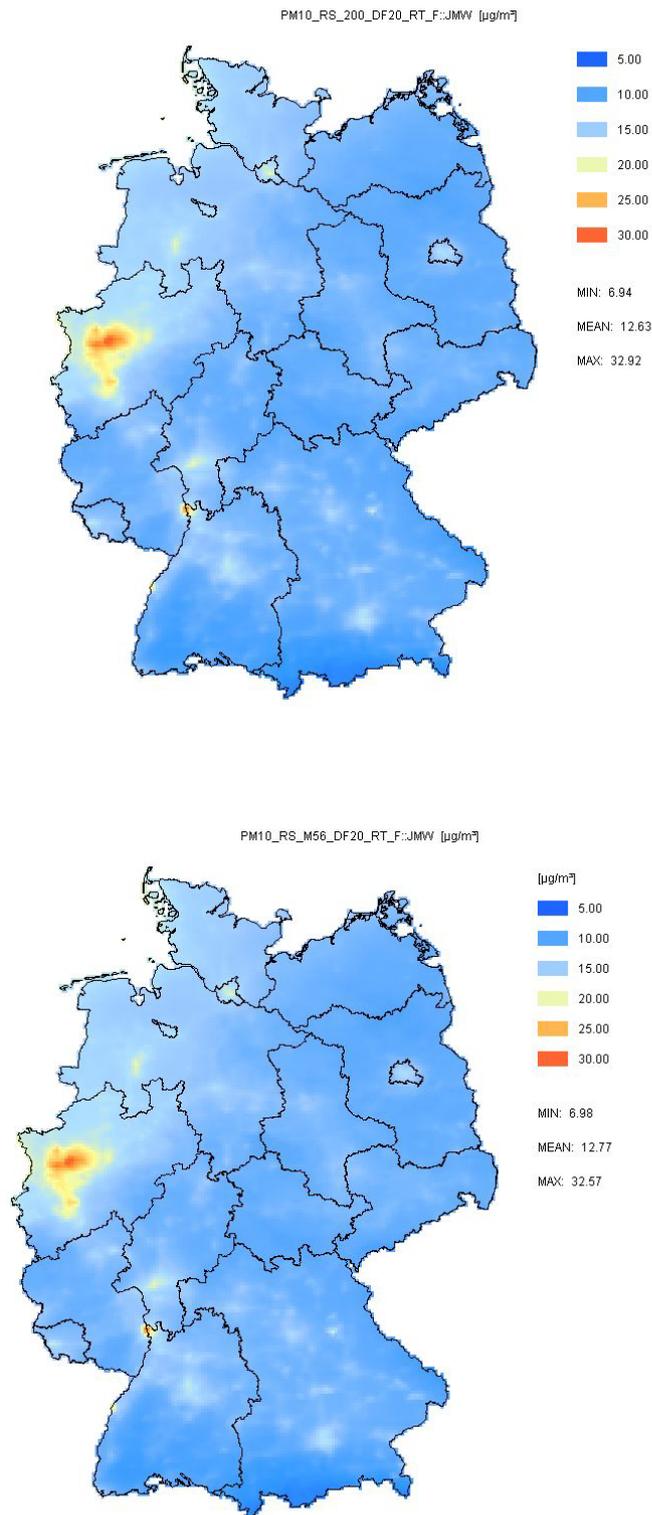


Abbildung 4-11 PM10-Jahresmittelwerte für die Emissionsreferenz 2020 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M. Unten: Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentration (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

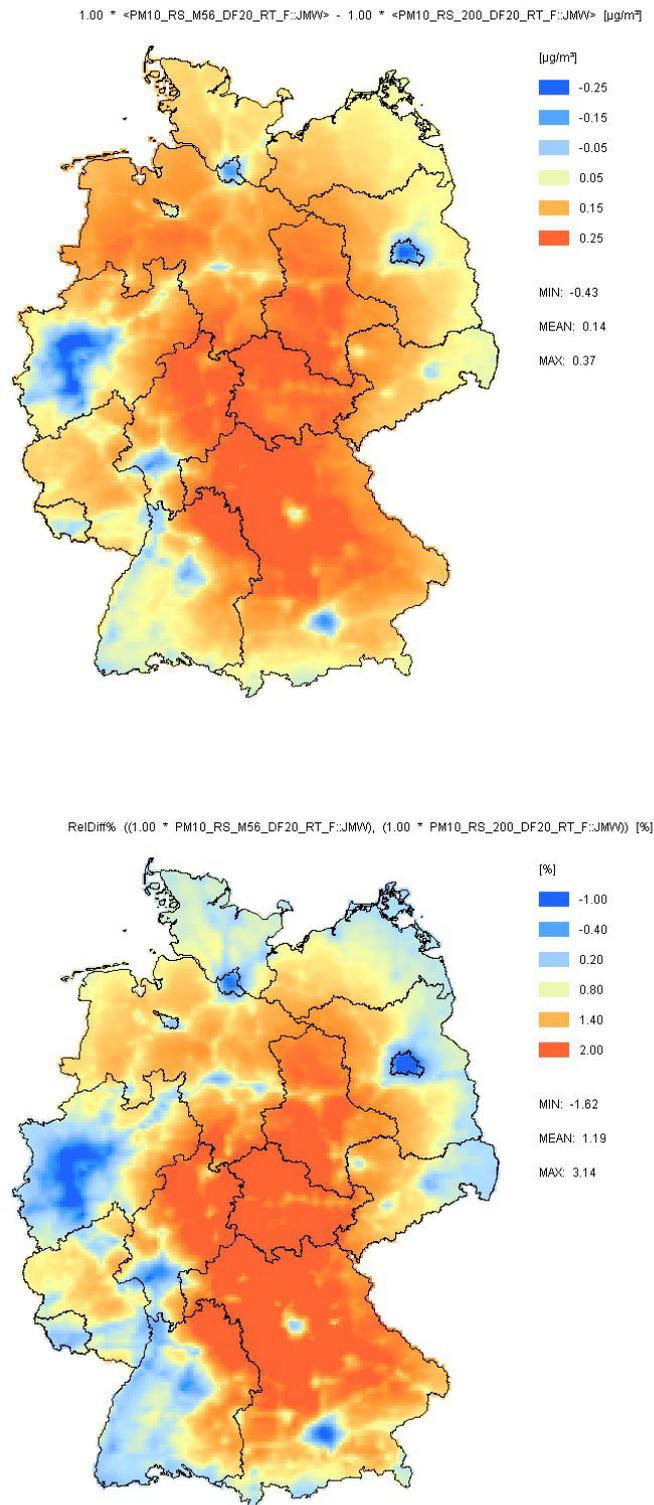


Abbildung 4-12 Absolute (oben, µg/m³) und relative (unten, %) Änderung der PM10-Jahresmittelwerte 2020 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch REMOVE 2.7 ersetzt). MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

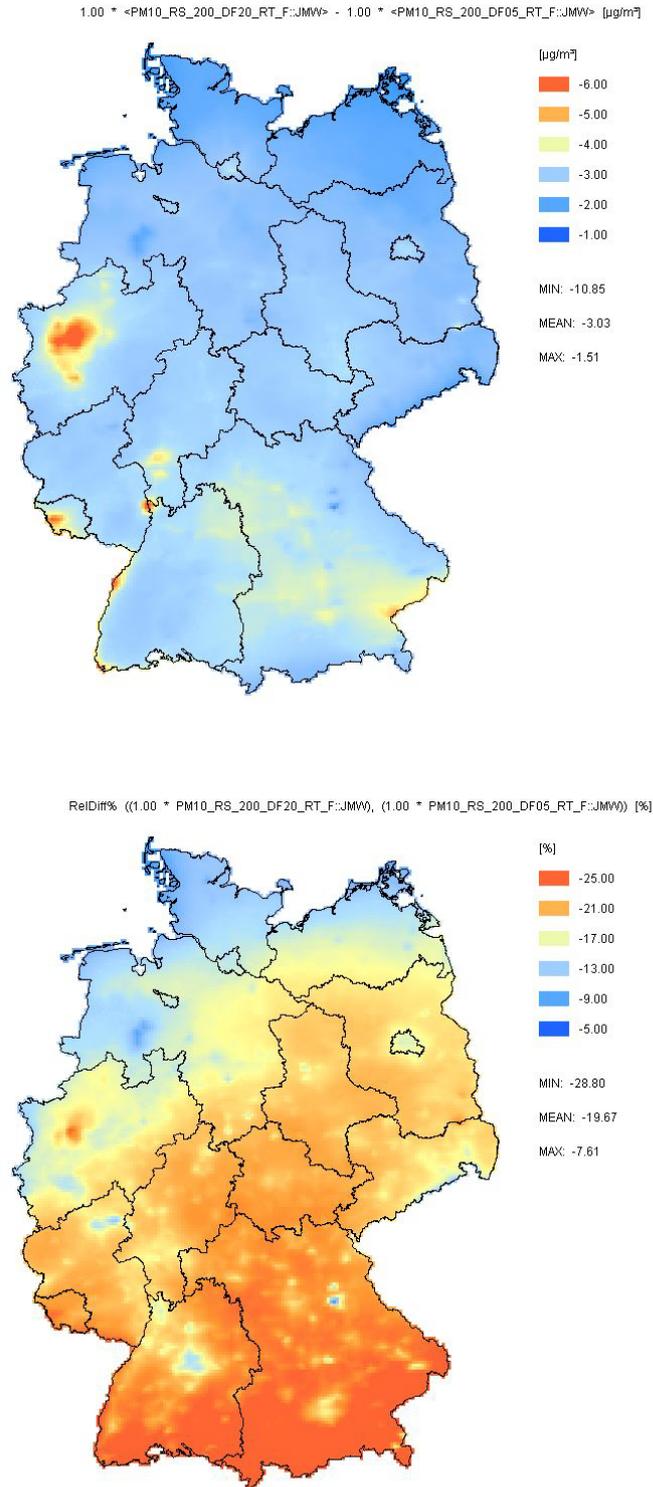


Abbildung 4-13 Absolute (oben, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und relative (unten, %) Änderung der PM10-Jahresmittelwerte als Folge der Emissionsentwicklung 2005 nach 2020. Verkehrsmodell TREMOD 4.17M. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

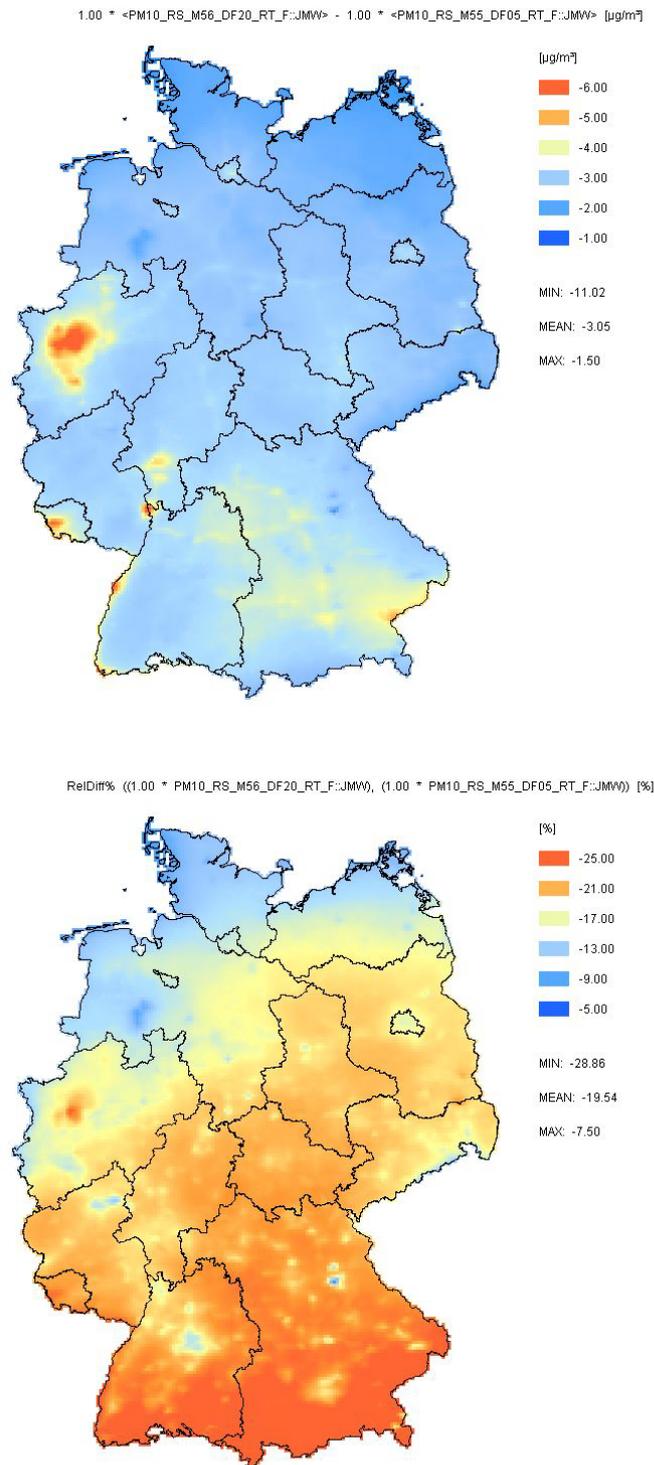


Abbildung 4-14 Absolute (oben, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und relative (unten, %) Änderung der PM10-Jahresmittelwerte als Folge der Emissionsentwicklung 2005 nach 2020. Verkehrsmodell TREMOVE 2.7. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

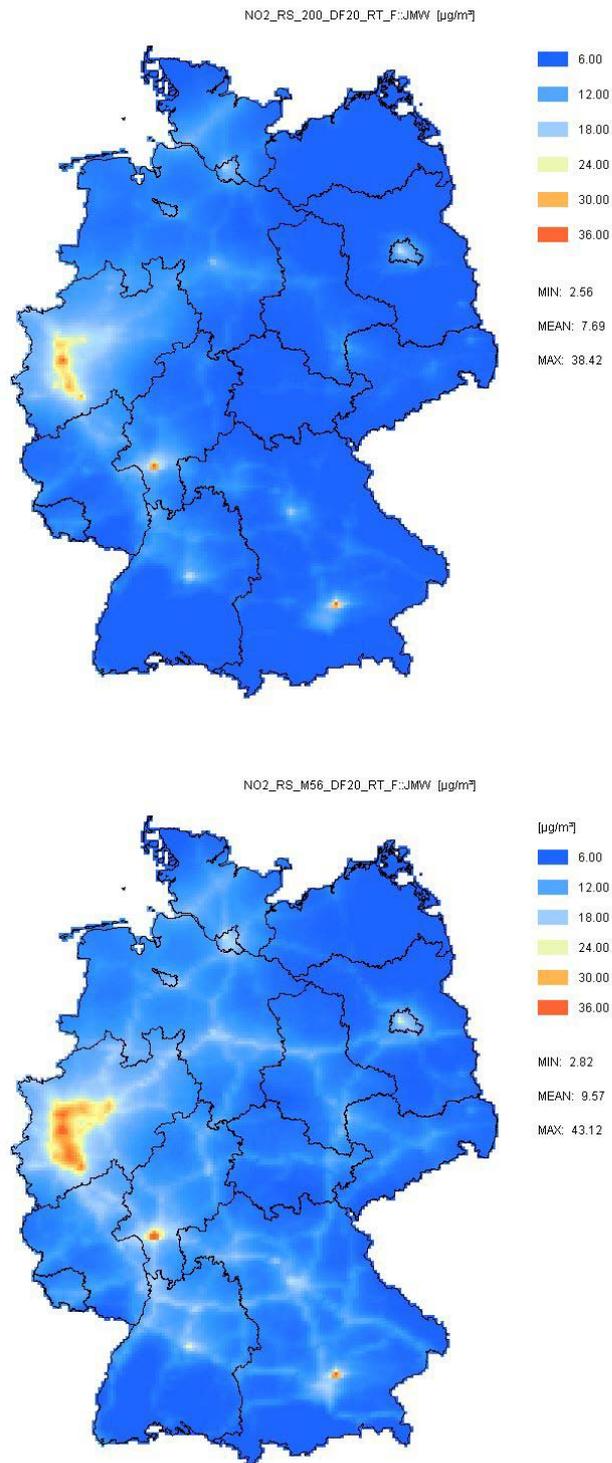


Abbildung 4-15 NO₂-Jahresmittelwerte für die Emissionsreferenz 2020 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M. Unten: Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentration (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

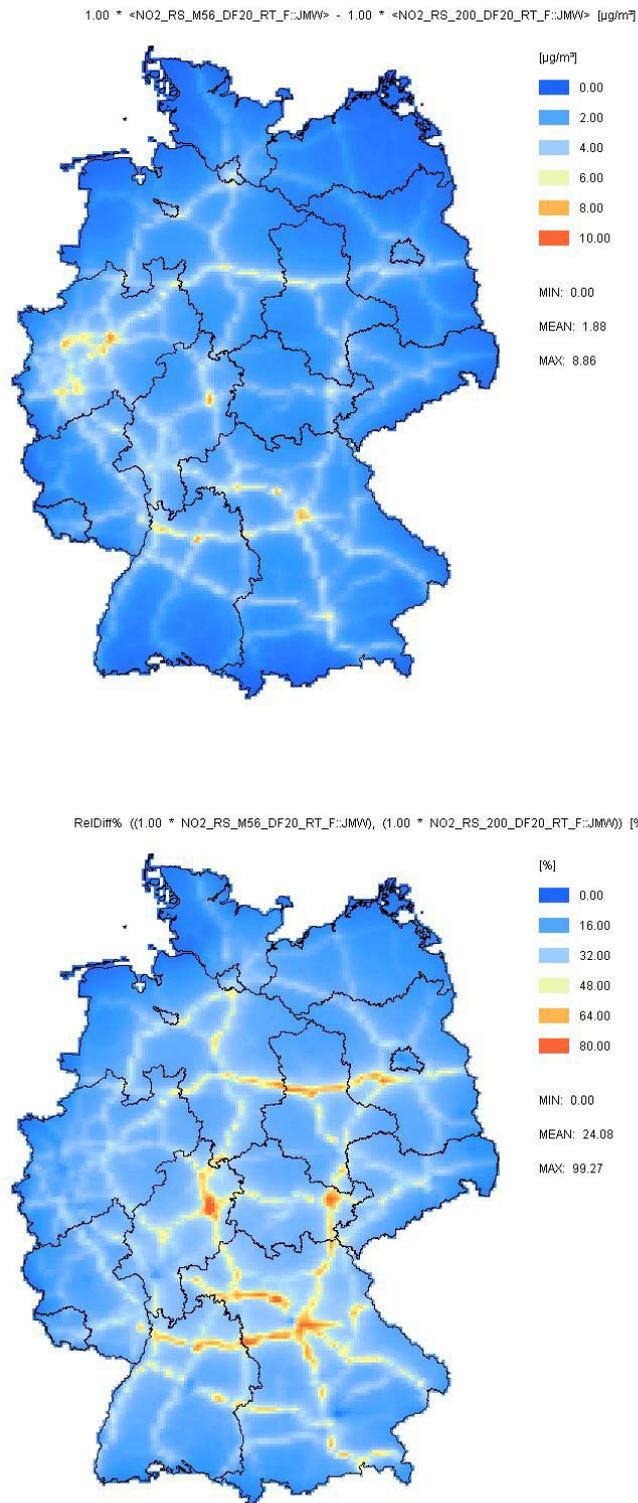


Abbildung 4-16 Absolute (oben, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und relative (unten, %) Änderung der NO_2 -Jahresmittelwerte 2020 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch REMOVE 2.7 ersetzt). MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

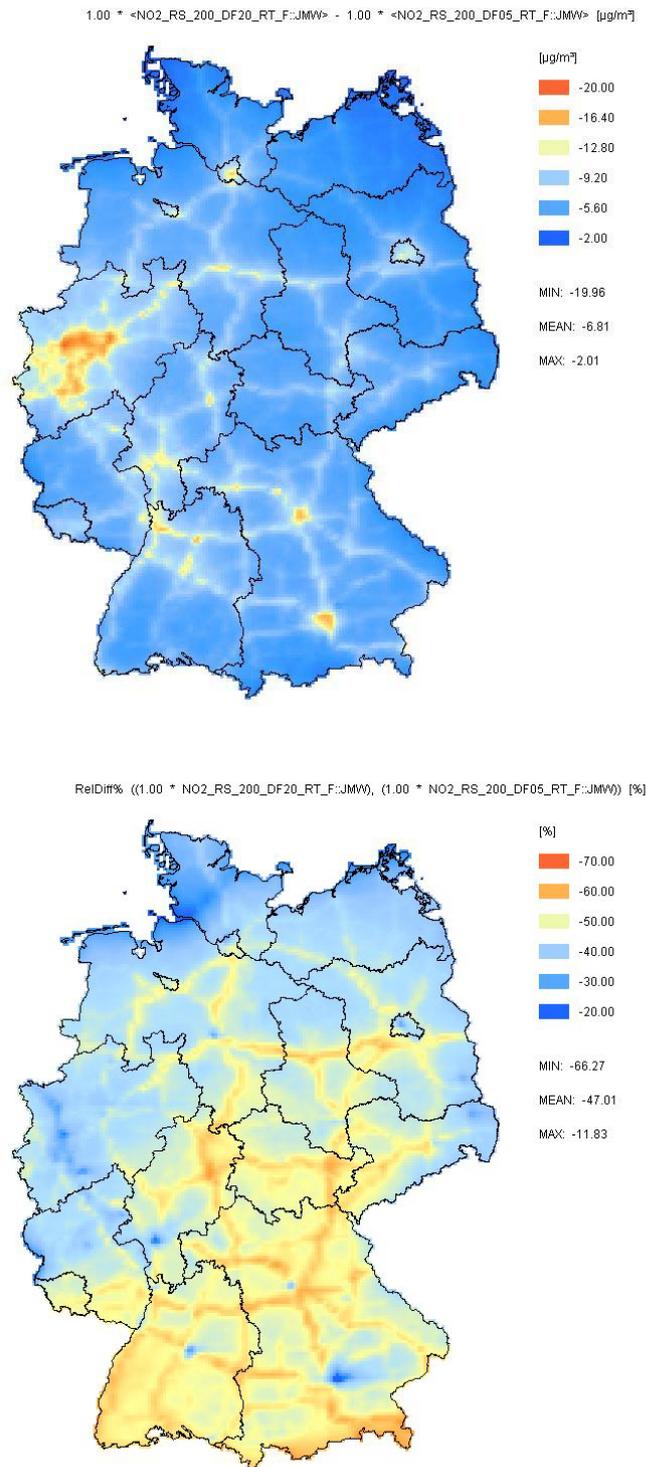


Abbildung 4-17 Absolute (oben, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und relative (unten, %) Änderung der NO_2 -Jahresmittelwerte als Folge der Emissionsentwicklung 2005 nach 2020. Verkehrsmodell TREMOD 4.17M. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

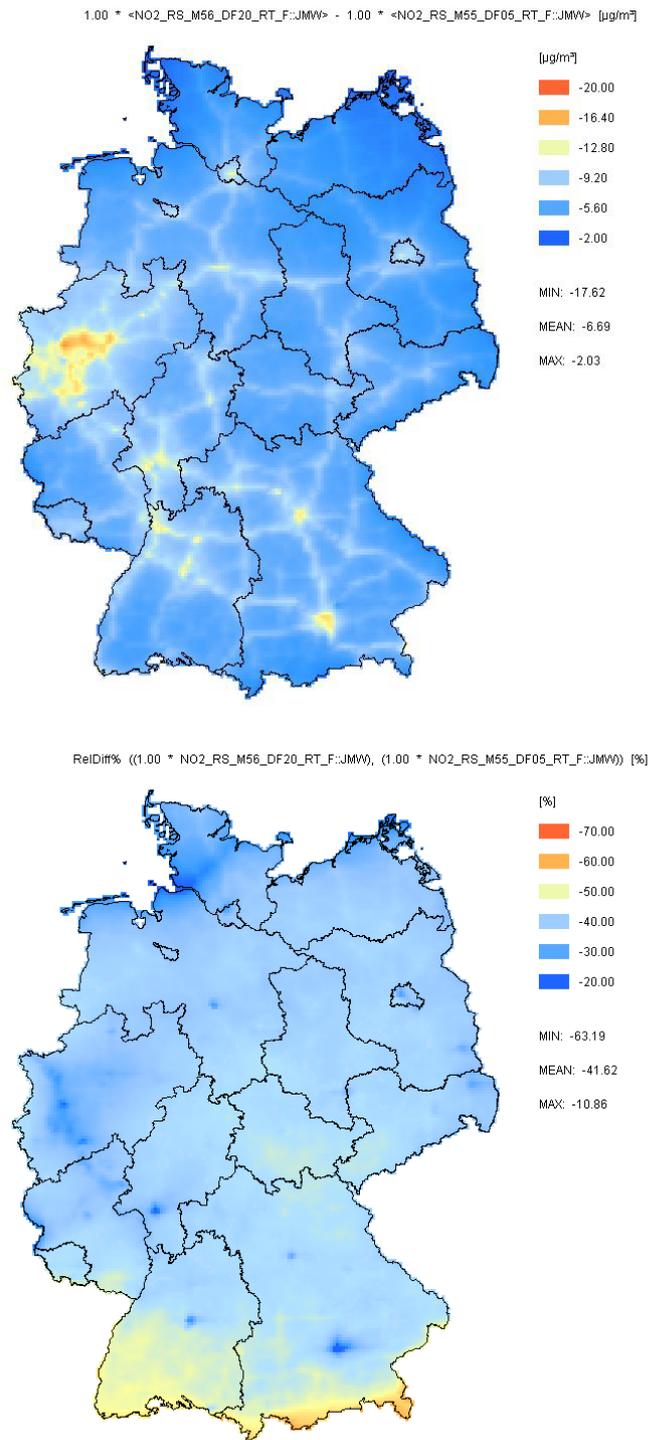


Abbildung 4-18 Absolute (oben, µg/m³) und relative (unten, %) Änderung der NO₂-Jahresmittelwerte als Folge der Emissionsentwicklung 2005 nach 2020. Verkehrsmodell TREMOVE 2.7. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

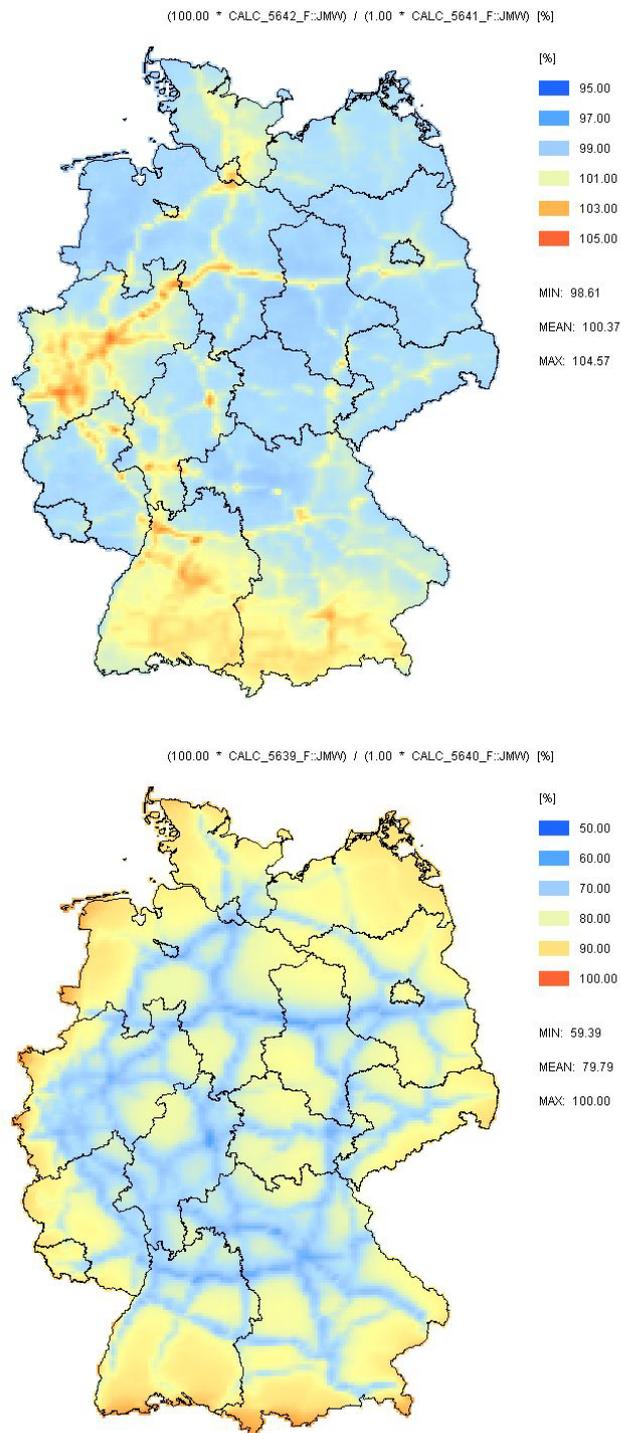


Abbildung 4-19 Verhältnis (%) der Änderung der PM10-Jahresmittelwerte (oben) und der NO₂-Jahresmittelwerte (unten) als Folge der Entwicklung der Emissionen aller Verursacherguppen von 2005 nach 2020, Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 normiert auf die Änderung mit Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M. 100% bedeutet identische Konzentrationsänderungen für TREMOD und TREMOVE. 50% bedeutet, dass die auf Basis von TREMOVE prognostizierte Konzentrationsänderung nur 50% der auf Basis von TREMOD prognostizierten Konzentrationsänderung beträgt. MIN, MEAN und MAX geben den Bereich (MIN und MAX) der Verhältnisse sowie das mittlere Verhältnis (MEAN) über Deutschland an. Die Unterschiede resultieren ausschließlich aus den unterschiedlichen Beiträgen der Verkehrsemissionen zu den gesamten Emissionen.

4.4 Beiträge der einzelnen Verursachergruppen zum Minderungspotenzial 2020

4.4.1 Maximal mögliches Minderungspotenzial

Im letzten Kapitel wurde gezeigt, dass die Verwendung von REMOVE 2.7 als Modell zur Berechnung der Verkehrsemissionen zu keinen großen Änderungen der auf Basis von TREMOD 4.17M für 2020 prognostizierten PM10-Jahresmittelwerte führt. Die mit REMOVE berechneten PM10-Auspuffemissionen sind zwar höher als diejenigen von TREMOD. Diese höheren Auspuffemissionen werden aber durch niedrige Brems- und Reifenabriebemissionen kompensiert, so dass sich in der Summe der Verkehrsemissionen zwischen TREMOD und REMOVE nur geringe Unterschiede ergeben. Die mit REMOVE für 2020 berechneten NO₂-Konzentrationen sind wegen der höheren NO_x-Emissionen von REMOVE dagegen deutlich höher als die mit TREMOD berechneten NO₂-Jahresmittelwerte. Damit stellt sich die Frage, wie sich das im Jahre 2020 noch verbleibende Immissionsminderungspotenzial auf die einzelnen Verursachergruppen aufteilt. Dazu werden in diesem Kapitel die in Kapitel 4.1 vorgestellten hypothetischen Szenarien diskutiert.

Das maximal mögliche Minderungspotenzial für 2020 ergibt sich aus der 100%igen Reduktion aller deutschen (anthropogenen) Emissionen der Referenz 2020. Dazu zeigen die Gesamtbalken in der Abbildung 4-20 die bevölkerungsgewichteten mittleren PM10-Konzentrationen der Referenz 2020, oben für die Verkehrsemissionen nach TREMOD, unten nach REMOVE. Die farbige Unterteilung der Balken gibt den Anteil der Immissionen an, der den deutschen Emissionen zugeschrieben werden kann sowie den Anteil, der auf den Ferntransport und die natürlichen Quellen zurückgeführt werden kann. Das maximal mögliche PM10-Minderungspotenzial ist für beide Berechnungsarten der Verkehrsemissionen sehr ähnlich und liegt im Mittel zwischen circa 5 µg/m³ für die ländlichen Regionen und 11 µg/m³ für die Ballungsräume. Dieses Potenzial ist der Beitrag aller Emissionen in Deutschland zu den PM10-Jahresmittelwerten der Referenz 2020. Die entsprechende Auswertung für die klassengemittelten NO₂-Jahresmittelwerte zeigt die Abbildung 4-21. Es ist offensichtlich, dass das ausgehend von der Referenz 2020 noch zur Verfügung stehende maximale NO₂-Minderungspotenzial basierend auf REMOVE deutlich höher ist als das maximale Minderungspotenzial basierend auf TREMOD.

Die hypothetischen Szenarien sollen aufzeigen, wie sich die Beiträge der einzelnen Verursacher zum maximal möglichen Minderungspotenzial 2020 ändern, wenn man die TREMOD-Methodik zur Berechnung der Verkehrsemissionen gegen die REMOVE-Methodik austauscht. Dazu wurden für jede der beiden Referenzen 2020 systematisch jeweils die Emissionen einer Verursachergruppe komplett abgeschaltet. Die Ergebnisse dieser Serie von Rechenläufen werden in den nächsten beiden Kapiteln beschrieben.

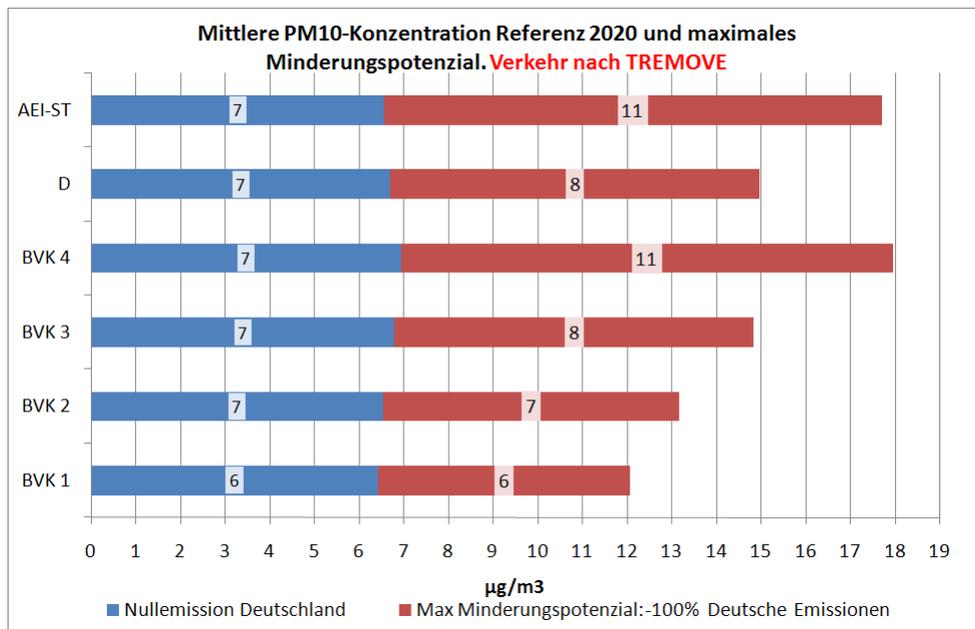
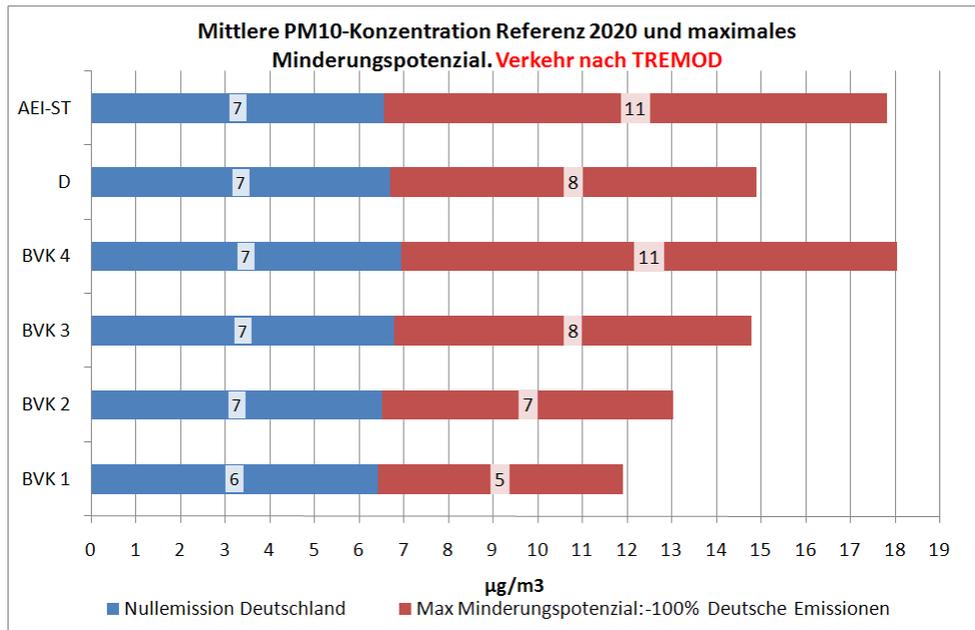


Abbildung 4-20 Bevölkerungsgewichtete PM10-Jahresmittelwerte der Referenz 2020 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Roter Anteil: Maximal erreichbares Minderungspotenzial durch eine 100%ige Reduktion aller deutschen Emissionen. Blauer Anteil: Mittlere PM10-Konzentration ohne die deutschen Emissionen. Oben: Verkehr nach TREMOD 4.17M, unten Verkehr nach TREMOVE 2.7.

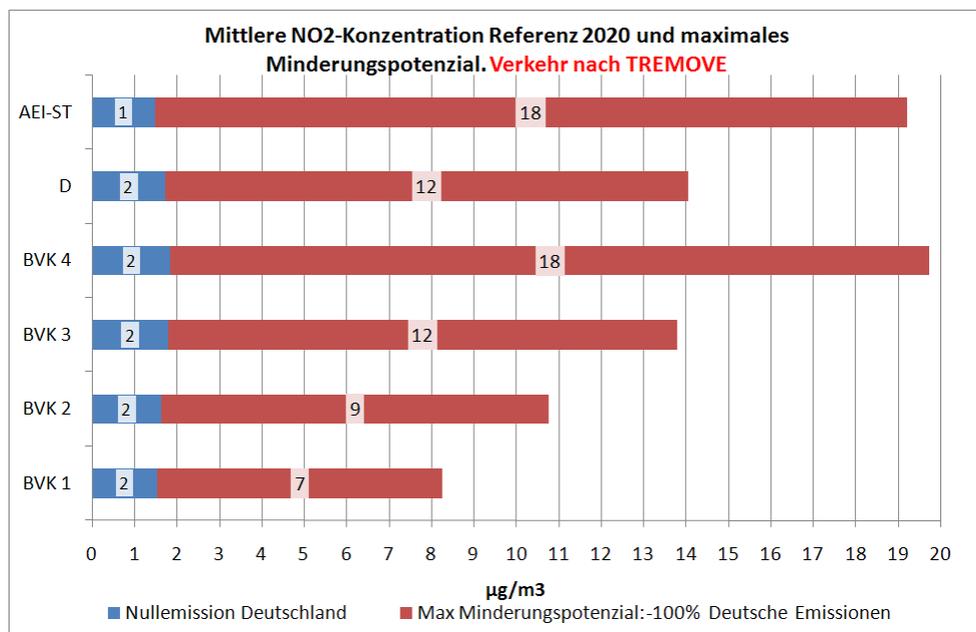
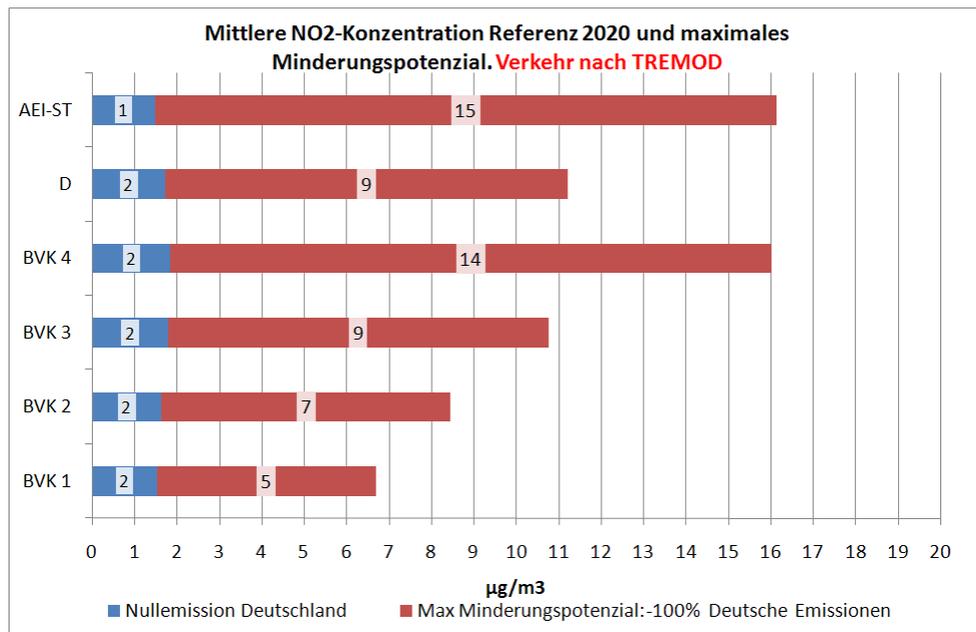


Abbildung 4-21 Bevölkerungsgewichtete NO₂-Jahresmittelwerte der Referenz 2020 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in µg/m³. Roter Anteil: Maximal erreichbares Minderungspotenzial durch eine 100%ige Reduktion aller deutschen Emissionen. Blauer Anteil: Mittlere NO₂-Konzentration ohne die deutschen Emissionen. Oben: Verkehr nach TREMOD 4.17M, unten Verkehr nach TREMOVE 2.7.

4.4.2 Beiträge der Verursachergruppen zum PM10-Minderungspotenzial der Referenz 2020

In Tabelle 4-2 sind die bevölkerungsgewichteten Minderungspotenziale der betrachteten Verursachergruppen für alle Bewertungsklassen zusammengestellt. Zusätzlich angeführt sind die Ausgangskonzentrationen der Referenz 2020. Auf der Basis von REMOVE 2.7 ergeben sich in den Bevölkerungsklassen 1 bis 3 und im Deutschlandmittel geringfügig höhere mittlere PM10-Konzentrationen. Nur in den Ballungsräumen liefert REMOVE 2.7 etwas niedrigere Konzentrationen als TREMOD 4.17M. Die Unterschiede sind aber insgesamt gering.

In den Bevölkerungsklassen 1 bis 3 und im Deutschlandmittel stellt die Verursachergruppe Landwirtschaft das größte Immissionsminderungspotenzial gefolgt vom Verkehr. In den Ballungsräumen und an den AEI-Stationen ist es umgekehrt, der Verkehr gesamt hat das größte Minderungspotenzial gefolgt von der Landwirtschaft. Diese Rangfolge gilt für beide Referenzen.

Die Abbildung 4-22 und Abbildung 4-23 zeigen für die Bevölkerungsklasse 1 die Rangfolge der verursacherbezogenen PM10-Potenziale absolut und relativ zu dem maximal möglichen Potenzial (100%ige Reduzierung aller deutschen Emissionen, SNAP 1-10). Die Abbildungen sind eine sortierte Auswertung der Angaben in Tabelle 4-2. Bei beiden Referenzen stellt die Landwirtschaft in den ländlichen Regionen circa die Hälfte des gesamt möglichen Potenzials. Es folgt der Verkehr gesamt mit einem Potenzial, das weniger als die Hälfte des Potenzials der Landwirtschaft beträgt. Das REMOVE-Verkehrspotenzial ist mit 20% oder $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ etwas höher als das TREMOD-Potential (18% oder $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Auf den nächsten Plätzen liegen eng zusammen die Kleinf Feuerungsanlagen, die Energieerzeugung und die industriellen Prozessemissionen. Betrachtet man die Untergruppen des Verkehrs, ergeben sich deutliche Unterschiede in den berechneten Potenzialen. Bei REMOVE haben die Auspuffemissionen mit einem Anteil von 10% am maximal möglichen Potenzial einen doppelt so hohen Anteil wie bei TREMOD mit 5%. Umgekehrt ist es bei dem Beitrag des Brems- und Reifenabriebs, der bei TREMOD mit 4%, bei REMOVE nur mit 2% zum Potential beiträgt.

In den Ballungsräumen (Abbildung 4-24 und Abbildung 4-25) ergibt sich eine deutlich andere Rangfolge. An erster Stelle liegt der Verkehr, der bei beiden Referenzen etwas mehr als ein Viertel des gesamt möglichen Potenzials stellt. An zweiter und dritter Stelle der Rangfolge in Ballungsgebieten liegen die Landwirtschaft und die industriellen Prozessemissionen. Bei beiden Referenzen stellen die Aufwirbelungsemissionen des Verkehrs mit 16% den höchsten Anteil der Verkehrsuntergruppen. Bei TREMOD tragen die Auspuffemissionen mit 3% nur sehr wenig zum maximalen Minderungspotenzial bei. Verwendet man REMOVE, steigt der Anteil der Auspuffemissionen auf 7%. Umgekehrt ist es wieder bei dem Beitrag des Brems- und Reifenabriebs.

Es sei an dieser Stelle nochmals angemerkt, dass sich die relativen Beiträge der Verursachergruppen zum gesamten PM10-Minderungspotenzial wegen der nichtlinearen Beziehungen zwischen den Vorläuferemissionen und den über eine komplexe Kette chemischer Reaktionen entstehenden Folgeprodukten nicht notwendigerweise zu 100% addieren müssen. Insbesondere die von der verfügbaren Menge an Sulfat, Ammoniak und Salpetersäure abhängende Ammoniumnitratbildung erfolgt streng nichtlinear. Der höhere Beitrag der Landwirtschaft zum verfügbaren PM10-Minderungspotenzial bei der REMOVE-Referenz weist auf solch eine Nichtlinearität hin, da für die REMOVE-Referenz als Folge der höheren Verfügbarkeit an NO_2 und damit auch Salpetersäure eine verstärkte Bildung von Ammoniumnitrat ausgelöst wird.

Die lokale Verteilung der PM10-Immissionsbeiträge der Verkehrsemissionen nach TREMOD und TREMOVE zur Referenz 2020 zeigt die Abbildung 4-26. Lokal werden Beiträge von über $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ berechnet. Die Unterschiede sind gering, da sich die PM10-Emissionen für den Verkehr insgesamt zwischen TREMOD und TREMOVE kaum unterscheiden.

	BVK 1	BVK 2	BVK 3	BVK 4	D	AEI-ST
Referenz 2020: Verkehr nach TREMOD	11.90	13.04	14.78	18.05	14.91	17.83
SNAP 1-10	5.48	6.52	7.99	11.11	8.21	11.27
Energy Transformation (SNAP 1)	0.64	0.67	0.73	0.83	0.73	0.75
Small combustion sources (SNAP 2)	0.68	0.89	1.10	1.45	1.09	1.69
Industrial combustion (SNAP 3)	0.27	0.31	0.36	0.46	0.37	0.45
Industrial processes (SNAP 4)	0.58	0.88	1.32	2.12	1.34	2.02
Extraction of fossil fuels (SNAP 5)	0.05	0.08	0.16	0.41	0.20	0.33
Solvent and product use (SNAP 6)	0.14	0.21	0.32	0.65	0.37	0.82
Road transport exhaust	0.26	0.28	0.30	0.33	0.30	0.34
Road transport, brake and tyre wear	0.24	0.34	0.49	0.80	0.51	0.84
Road transport, resuspension	0.49	0.73	1.06	1.77	1.11	1.89
Road transport total (SNAP 7)	0.98	1.36	1.85	2.90	1.93	3.07
Non road transport (SNAP 8)	0.29	0.30	0.31	0.38	0.33	0.37
Agriculture (SNAP 10)	2.60	2.49	2.42	2.26	2.41	2.11

	BVK 1	BVK 2	BVK 3	BVK 4	D	AEI-ST
Referenz 2020: Verkehr nach TREMOVE	12.08	13.18	14.84	17.96	14.96	17.71
SNAP 1-10	5.66	6.65	8.06	11.02	8.26	11.15
Energy Transformation (SNAP 1)	0.60	0.62	0.67	0.77	0.68	0.70
Small combustion sources (SNAP 2)	0.65	0.87	1.07	1.42	1.06	1.66
Industrial combustion (SNAP 3)	0.26	0.30	0.35	0.45	0.35	0.44
Industrial processes (SNAP 4)	0.57	0.87	1.31	2.11	1.33	2.01
Extraction of fossil fuels (SNAP 5)	0.05	0.08	0.16	0.41	0.20	0.33
Solvent and product use (SNAP 6)	0.14	0.21	0.32	0.66	0.38	0.83
Road transport exhaust	0.58	0.63	0.66	0.72	0.66	0.72
Road transport, brake and tyre wear	0.09	0.14	0.20	0.32	0.20	0.34
Road transport, resuspension	0.49	0.73	1.06	1.77	1.11	1.89
Road transport total (SNAP 7)	1.16	1.50	1.91	2.81	1.98	2.94
Non road transport (SNAP 8)	0.28	0.29	0.29	0.36	0.31	0.35
Agriculture (SNAP 10)	2.87	2.76	2.67	2.48	2.66	2.32

Tabelle 4-2 Bevölkerungsgewichtete PM10-Jahresmittelwerte der Referenz 2020 in den 6 Bewertungsklassen. Maximal mögliches Minderungspotenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10) bezogen auf die Referenz 2020. Maximal mögliches Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen. Rot gekennzeichnet in jeder Bewertungsklasse ist das jeweils höchste Einzelpotenzial einer Verursachergruppe. Alle Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Verkehr nach TREMOD 4.17M, unten: Verkehr nach TREMOVE 2.7.

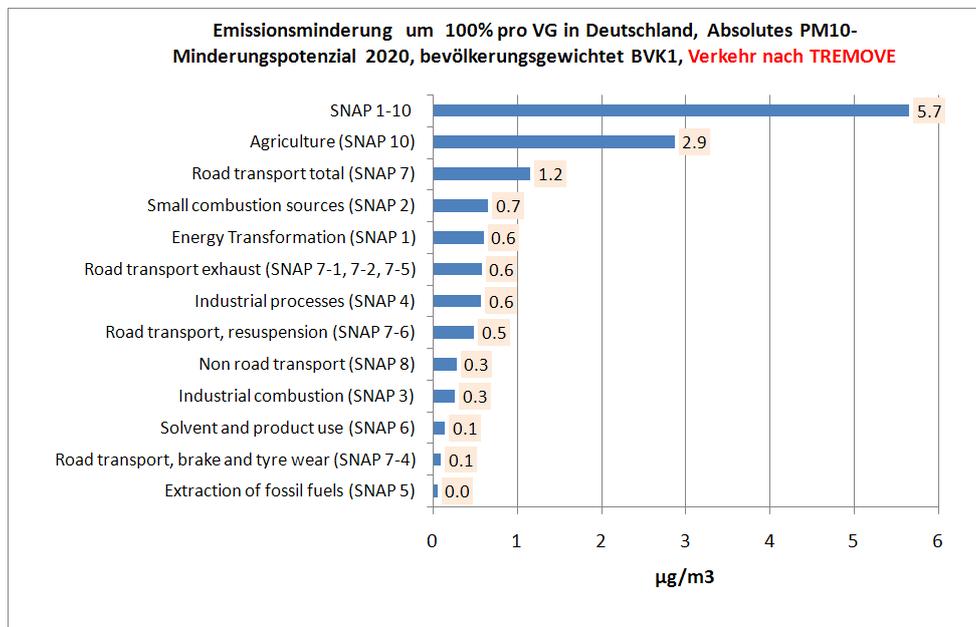
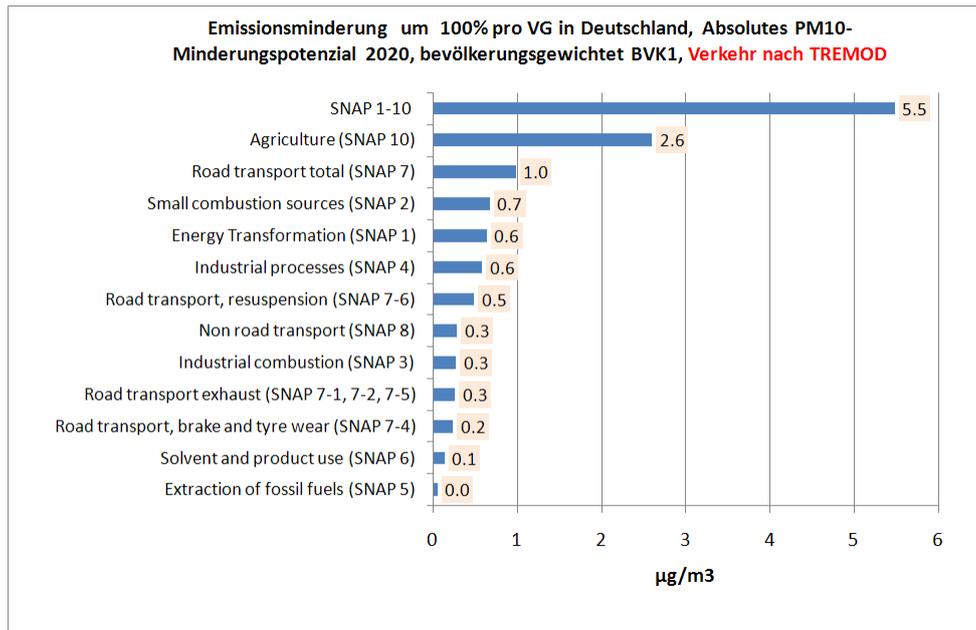


Abbildung 4-22 Maximal mögliches absolutes PM10-Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 1 (Ländliche Gebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10) beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa $5.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und $5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit den Verkehrsemissionen nach REMOVE 2.7 (unten).

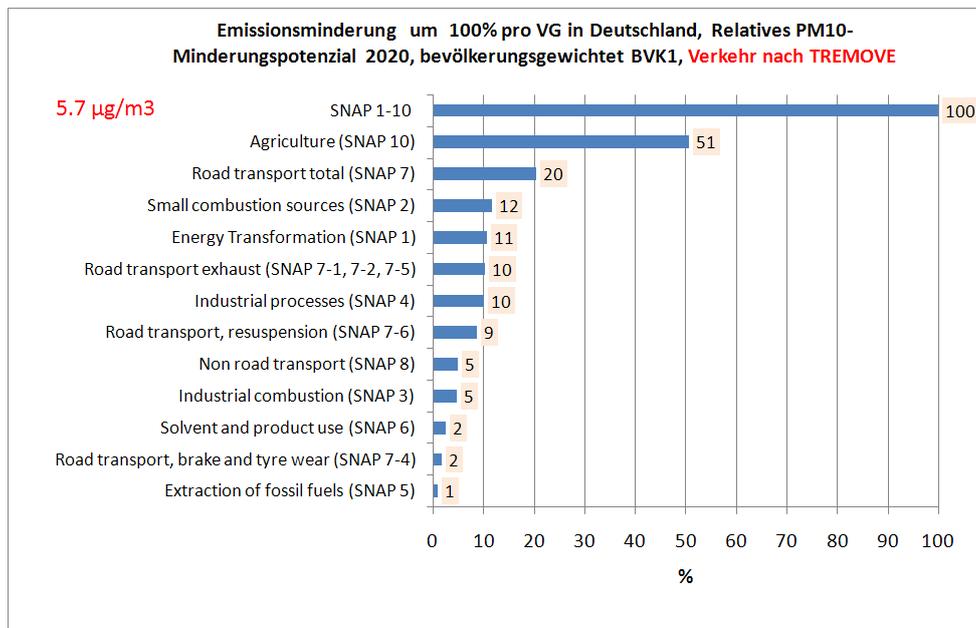
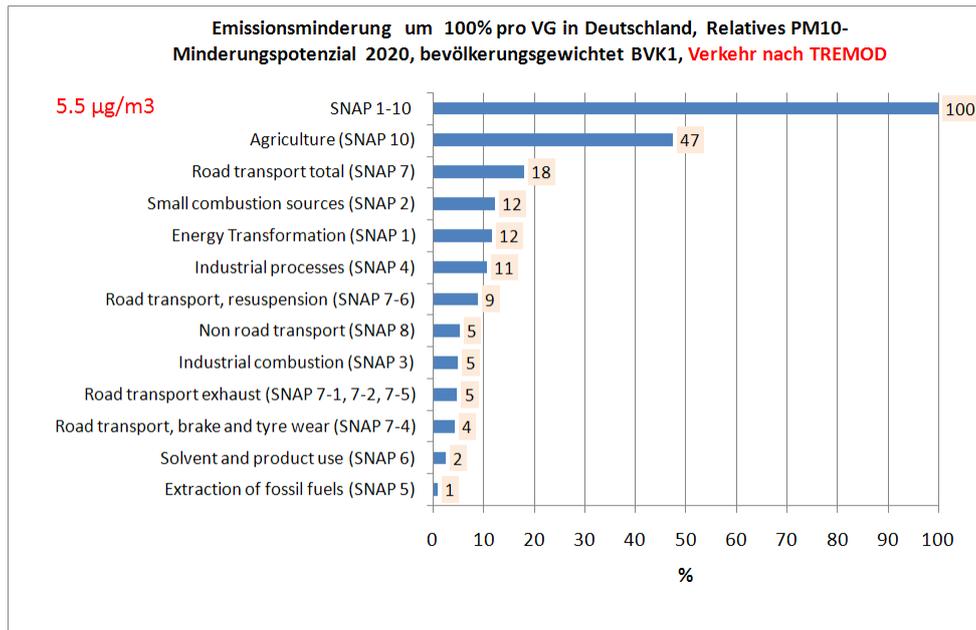


Abbildung 4-23 Maximal mögliches relatives PM10-Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen relativ zum Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10 = 100%). Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 1 (Ländliche Gebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa 5.5 µg/m³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und 5.7 µg/m³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 (unten).

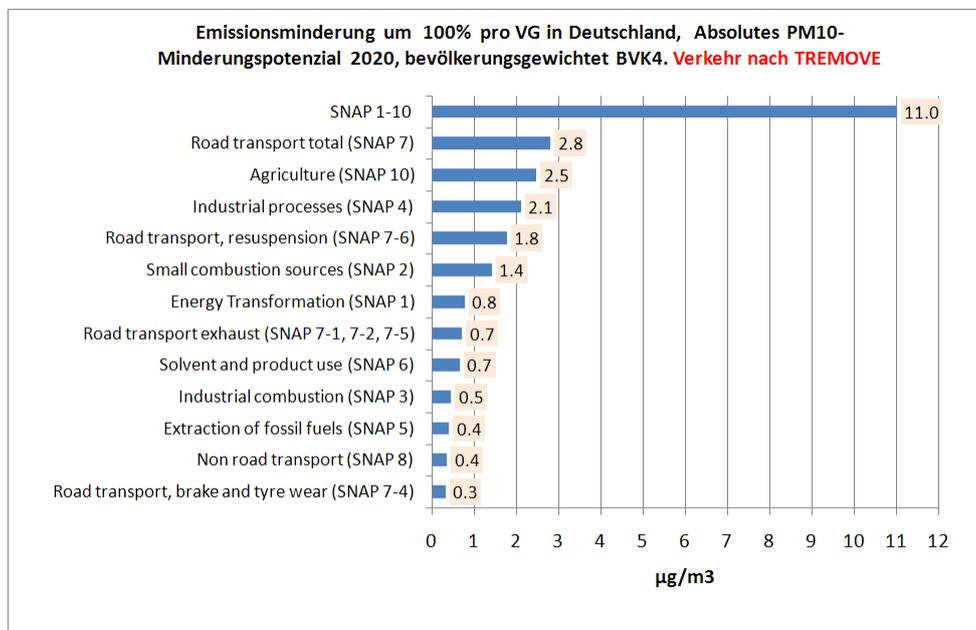
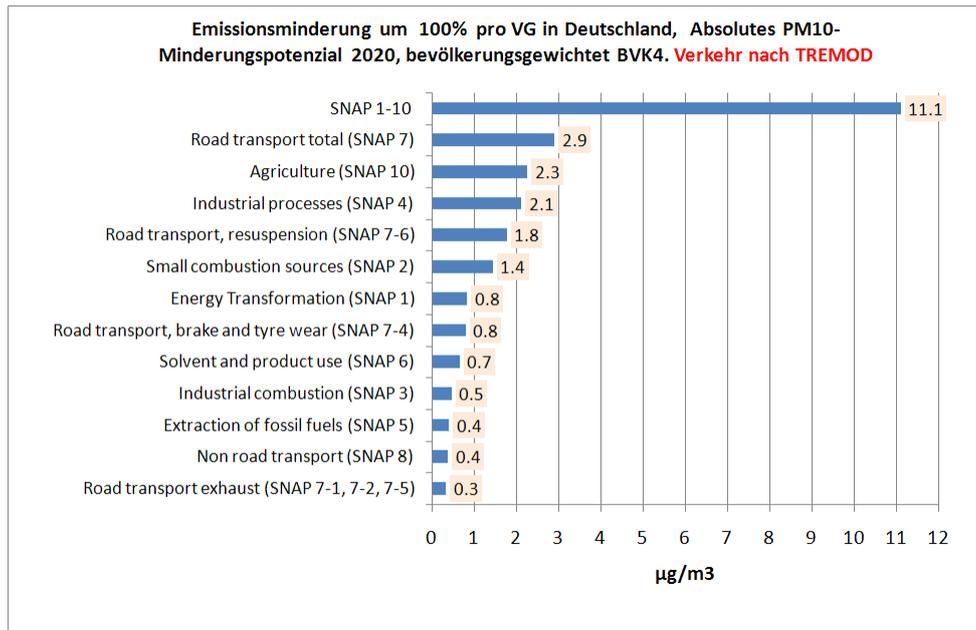


Abbildung 4-24 Maximal mögliches absolutes PM10-Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen in µg/m³. Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsgebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10) beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa 5.5 µg/m³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und 5.7 µg/m³ mit den Verkehrsemissionen nach REMOVE 2.7 (unten).

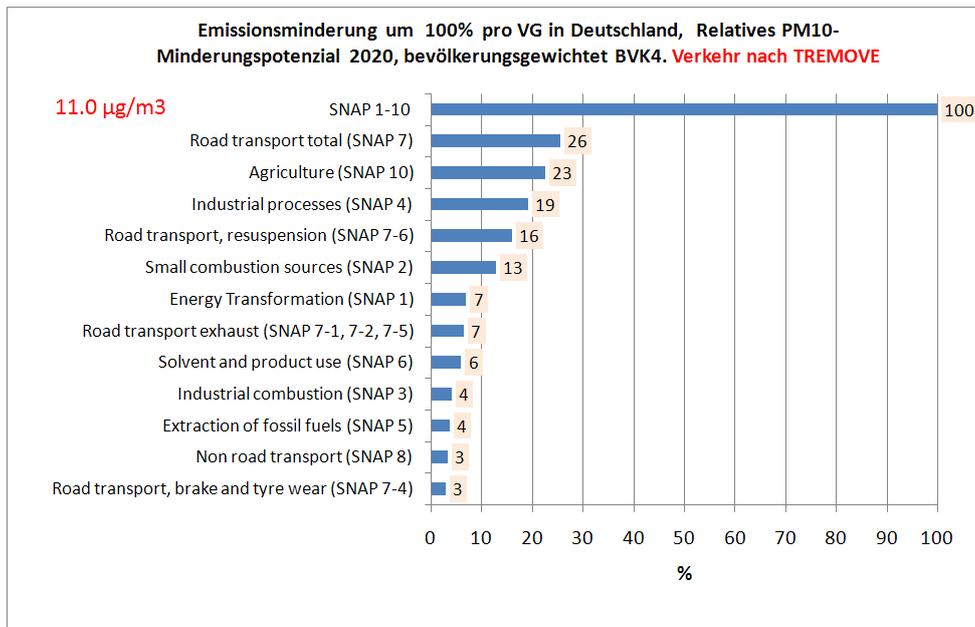
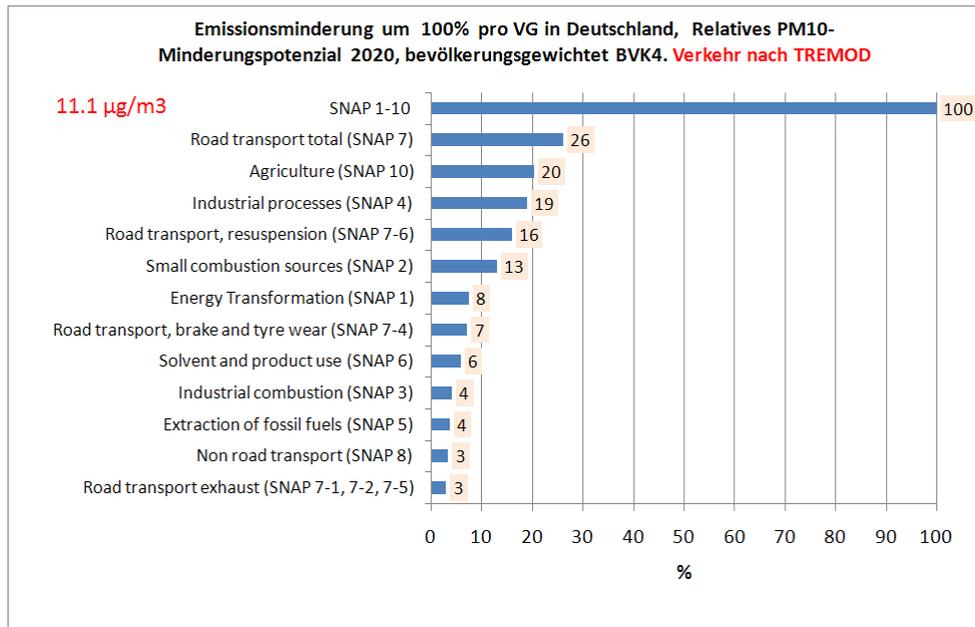


Abbildung 4-25 Maximal mögliches relatives PM10-Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen relativ zum Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10 = 100%). Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsgebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa 5.5 µg/m³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und 5.7 µg/m³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 (unten).

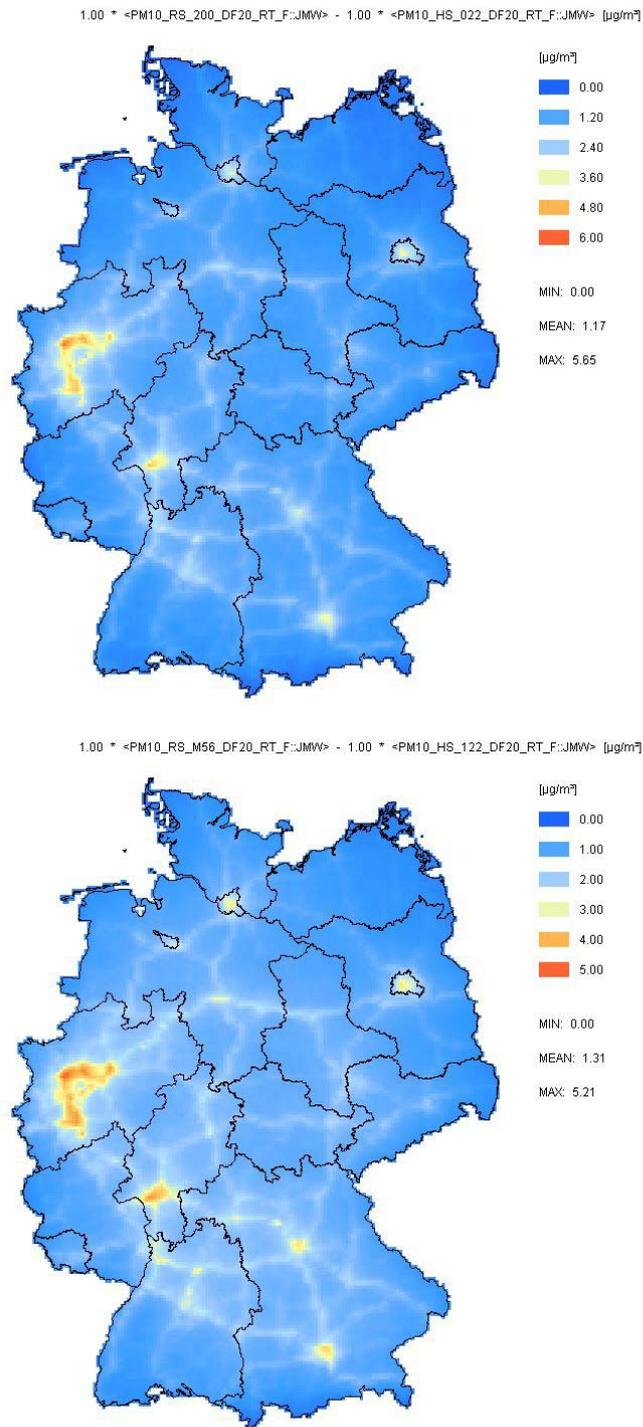


Abbildung 4-26 Beitrag ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) der Verursachergruppe „Road transport total“ (SNAP 7) zu den PM10-Jahresmitteln der Referenz 2020. Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M, unten: Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7.

4.4.3 Beiträge der Verursachergruppen zum NO₂-Minderungspotenzial der Referenz 2020

In Tabelle 4-3 sind die bevölkerungsgewichteten NO₂-Minderungspotenziale der betrachteten Verursachergruppen für alle Bewertungsklassen zusammengestellt. Zusätzlich angeführt sind wieder die Ausgangskonzentrationen der Referenz 2020. Die mittleren NO₂-Konzentrationen sind in allen Klassen für die Referenz 2020-TREMOVE deutlich höher als für die Referenz-2020-TREMOD.

Der Verkehr besitzt bei der Referenz 2020-TREMOD und der Referenz 2020-TREMOVE nahezu in allen Bevölkerungsklassen im Deutschlandmittel das größte NO₂-Minderungspotenzial. Lediglich für die Referenz 2020-TREMOD hat der nicht-straßengebundene Verkehr ein leicht höheres Minderungspotenzial als der Verkehr. Es ist offensichtlich, dass das auf der Basis von TREMOVE 2.7 berechnete NO₂-Minderungspotenzial sehr viel höher ist als das auf der Basis von TREMOD 4.17M berechnete Potenzial.

Dies wird verdeutlicht in Abbildung 4-28 bis Abbildung 4-30. Diese Abbildungen zeigen für die Bevölkerungsklasse 1 und 4 die Rangfolge der verursacherbezogenen NO₂-Potenziale absolut und relativ zu dem maximal möglichen Potenzial (100%ige Reduzierung aller deutschen Emissionen, SNAP 1-10). Die Abbildungen sind eine sortierte Auswertung der Angaben in Tabelle 4-3. Bei beiden Referenzen stellt der Straßenverkehr in den ländlichen Regionen und den Ballungsräumen das höchste Minderungspotenzial (Referenz 2020-TREMOD in BVK 4 zusammen mit SNAP 8, anderer Verkehr). Die Beiträge sind für die Referenz 2020-TREMOVE aber sehr viel höher als diejenigen für die Referenz 2020-TREMOD (BVK 1: TREMOD 23%, TREMOVE 41% des maximal möglichen Potenzials, BVK 4: TREMOD 27%, TREMOVE 42% des maximal möglichen Potenzials). Auf den nächsten Plätzen liegen in den ländlichen Regionen die Landwirtschaft (SNAP 10) und der nicht-straßengebundene Verkehr (SNAP 8), in den Ballungsräumen der nicht-straßengebundene Verkehr und die Kleinverbraucher (SNAP 2). Einen leicht negativen Beitrag zum NO₂-Minderungspotenzial liefert die Verursachergruppe der Lösemittel, die nur Kohlenwasserstoffe emittiert. Ohne die Lösemittellemissionen würden die NO₂-Konzentrationen also nach den Berechnungen geringfügig ansteigen, was sich aus den komplexen nichtlinearen photochemischen Reaktionen zwischen den Stickoxiden, den Kohlenwasserstoffen und den Oxidantien erklären lässt.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass der Abstand zwischen dem Straßenverkehr mit dem größten NO₂-Minderungspotenzial und den nachfolgenden anderen Verursachergruppen für die Referenz 2020-TREMOD deutlich größer ist als für die Referenz 2020-TREMOD. Die Rolle des Straßenverkehrs als möglichen Kandidaten für weitere Minderungsmaßnahmen zur Senkung der NO₂-Konzentrationen über die Emissionsreferenz 2020 hinaus wird auf Basis des Verkehrsmodells TREMOVE also sehr viel höher bewertet als auf Basis des Verkehrsmodells TREMOD. In ländlichen Gebieten ist das absolute TREMOVE-Minderungspotenzial im Mittel mehr als doppelt so hoch, in den Ballungsgebieten knapp doppelt so hoch wie das TREMOD-Potenzial.

Die lokale Verteilung der Beiträge des Verkehrs zu den NO₂-Jahresmittelwerten der Referenz 2020 kann der Abbildung 4-31 entnommen werden, die die großen Unterschiede zwischen TREMOD und TREMOVE nochmals aufzeigt. Nach TREMOD liegen die maximalen Beiträge des Verkehrs unter 7 µg/m³, nach TREMOVE werden maximal über 14 µg/m³ den Verkehrsemissionen zugeordnet.

	BVK 1	BVK 2	BVK 3	BVK 4	D	AEI-ST
Referenz 2020: Verkehr nach TREMOD	6.69	8.45	10.75	16.01	11.21	16.13
SNAP 1-10	5.16	6.82	8.97	14.17	9.49	14.65
Energy Transformation (SNAP 1)	0.83	1.10	1.52	1.99	1.44	1.52
Small combustion sources (SNAP 2)	0.77	1.07	1.42	2.25	1.50	2.60
Industrial combustion (SNAP 3)	0.22	0.26	0.29	0.33	0.29	0.33
Industrial processes (SNAP 4)	0.21	0.25	0.29	0.35	0.29	0.31
Extraction of fossil fuels (SNAP 5)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Solvent and product use (SNAP 6)	-0.08	-0.08	-0.08	-0.07	-0.08	-0.06
Road transport total (SNAP 7)	1.21	1.78	2.46	3.76	2.51	3.93
Non road transport (SNAP 8)	1.09	1.50	1.99	3.86	2.34	4.48
Agriculture (SNAP 10)	1.14	1.08	0.98	0.78	0.97	0.71

	BVK 1	BVK 2	BVK 3	BVK 4	D	AEI-ST
Referenz 2020: Verkehr nach TREMOVE	8.26	10.75	13.79	19.74	14.04	19.21
SNAP 1-10	6.73	9.13	12.02	17.90	12.32	17.73
Energy Transformation (SNAP 1)	0.85	1.09	1.46	1.87	1.39	1.46
Small combustion sources (SNAP 2)	0.77	1.06	1.37	2.10	1.44	2.44
Industrial combustion (SNAP 3)	0.23	0.26	0.29	0.32	0.28	0.32
Industrial processes (SNAP 4)	0.22	0.25	0.29	0.33	0.28	0.29
Extraction of fossil fuels (SNAP 5)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Solvent and product use (SNAP 6)	-0.08	-0.09	-0.08	-0.06	-0.08	-0.06
Road transport total (SNAP 7)	2.78	4.09	5.51	7.50	5.33	7.01
Non road transport (SNAP 8)	1.10	1.48	1.87	3.53	2.20	4.16
Agriculture (SNAP 10)	1.15	1.08	0.97	0.76	0.96	0.70

Tabelle 4-3 Bevölkerungsgewichtete NO₂-Jahresmittelwerte der Referenz 2020 in den 6 Bewertungsklassen. Maximal mögliches Minderungspotenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10) bezogen auf die Referenz 2020. Maximal mögliches Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen. Rot gekennzeichnet in jeder Bewertungsklasse ist das jeweils höchste Einzelpotenzial einer Verursachergruppe. Alle Angaben in µg/m³. Oben: Verkehr nach TREMOD 4.17M, unten: Verkehr nach TREMOVE 2.7.

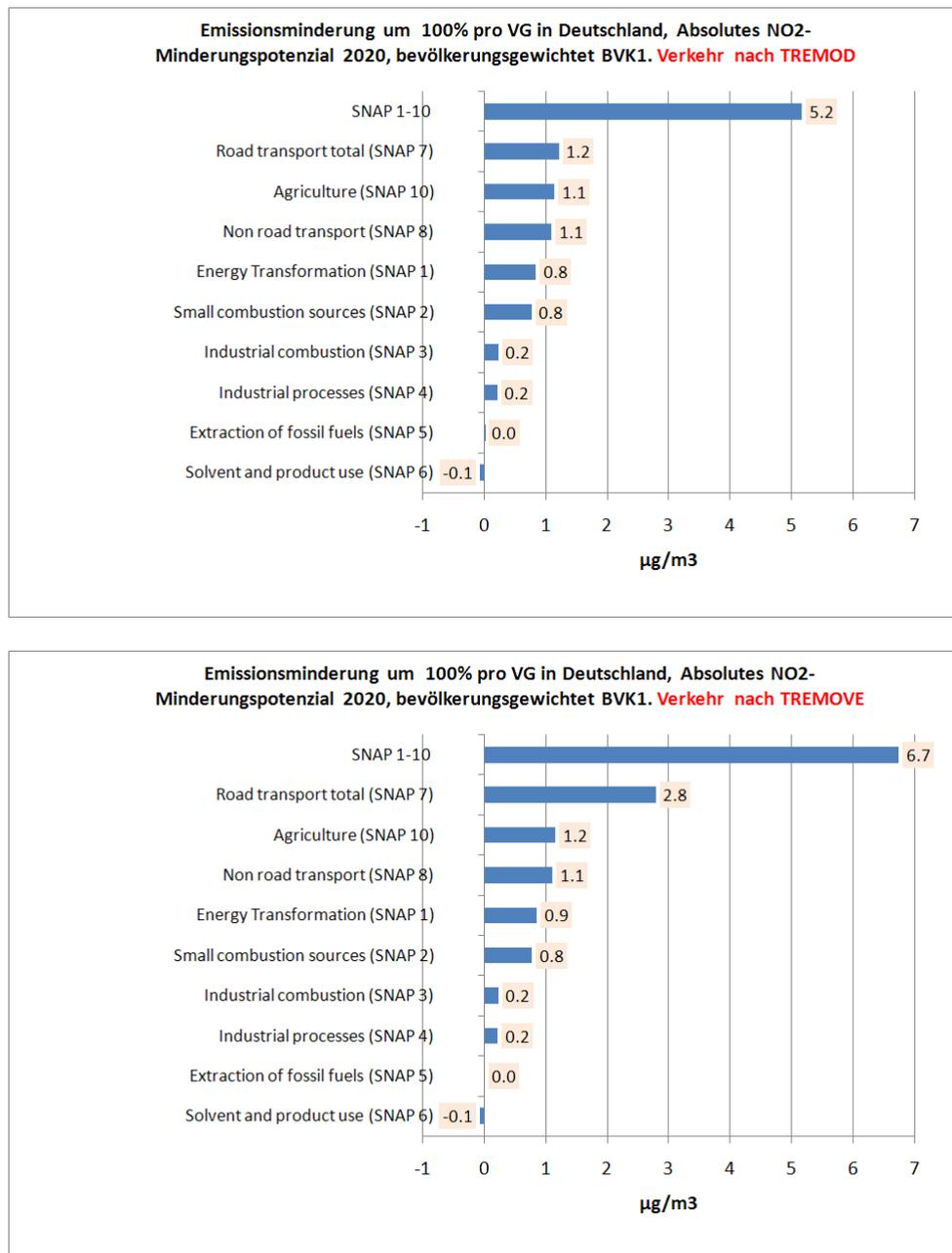


Abbildung 4-27 Maximal mögliches absolutes NO₂-Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen in µg/m³. Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 1 (Ländliche Gebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10) beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa 5.2 µg/m³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und 6.7 µg/m³ mit den Verkehrsemissionen nach REMOVE 2.7 (unten).

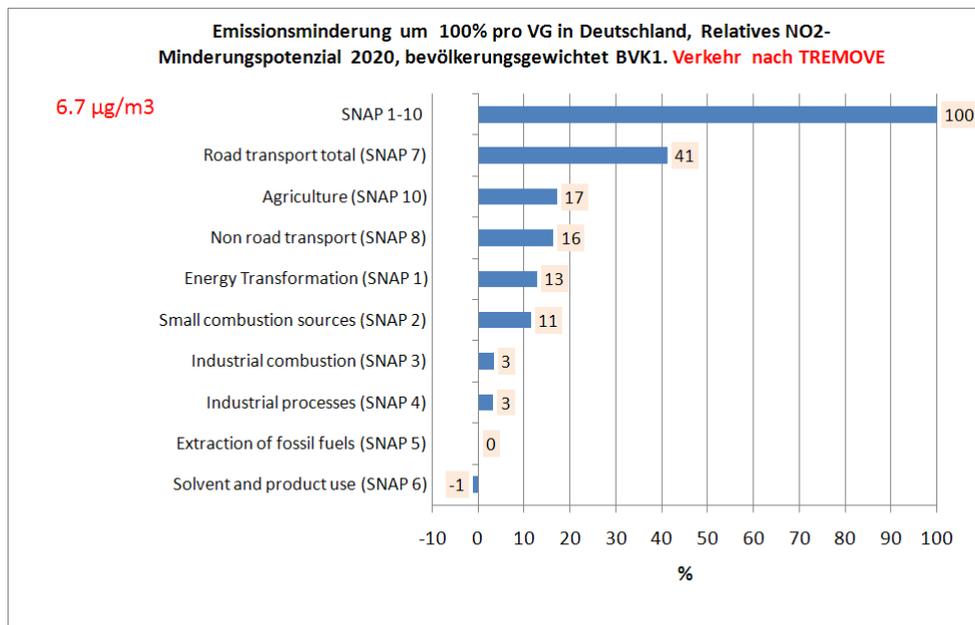
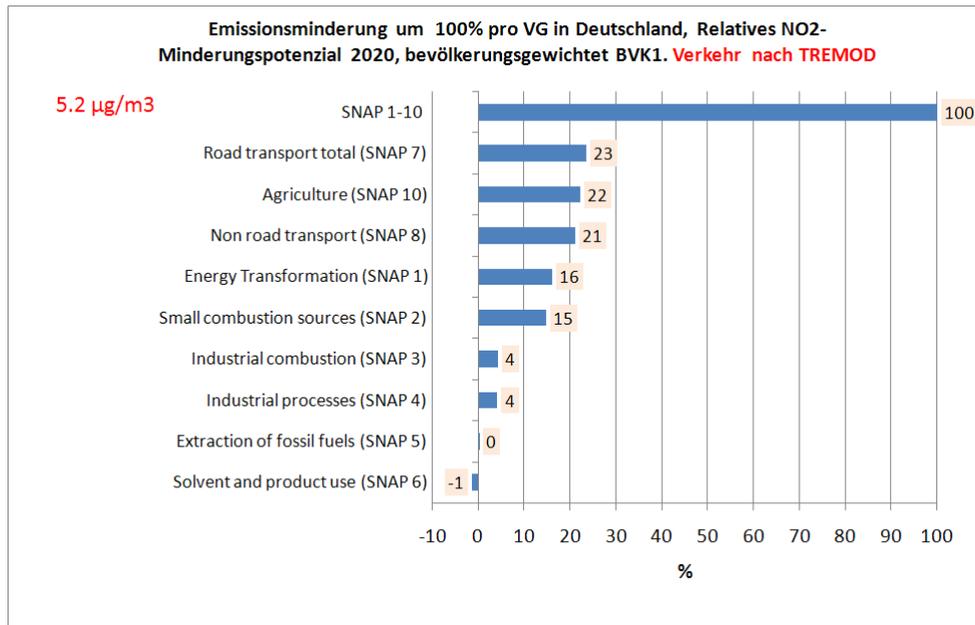


Abbildung 4-28 Maximal mögliches relatives NO₂-Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen relativ zum Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10 = 100%). Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 1 (Ländliche Gebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa 5.2 µg/m³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und 6.7 µg/m³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 (unten).

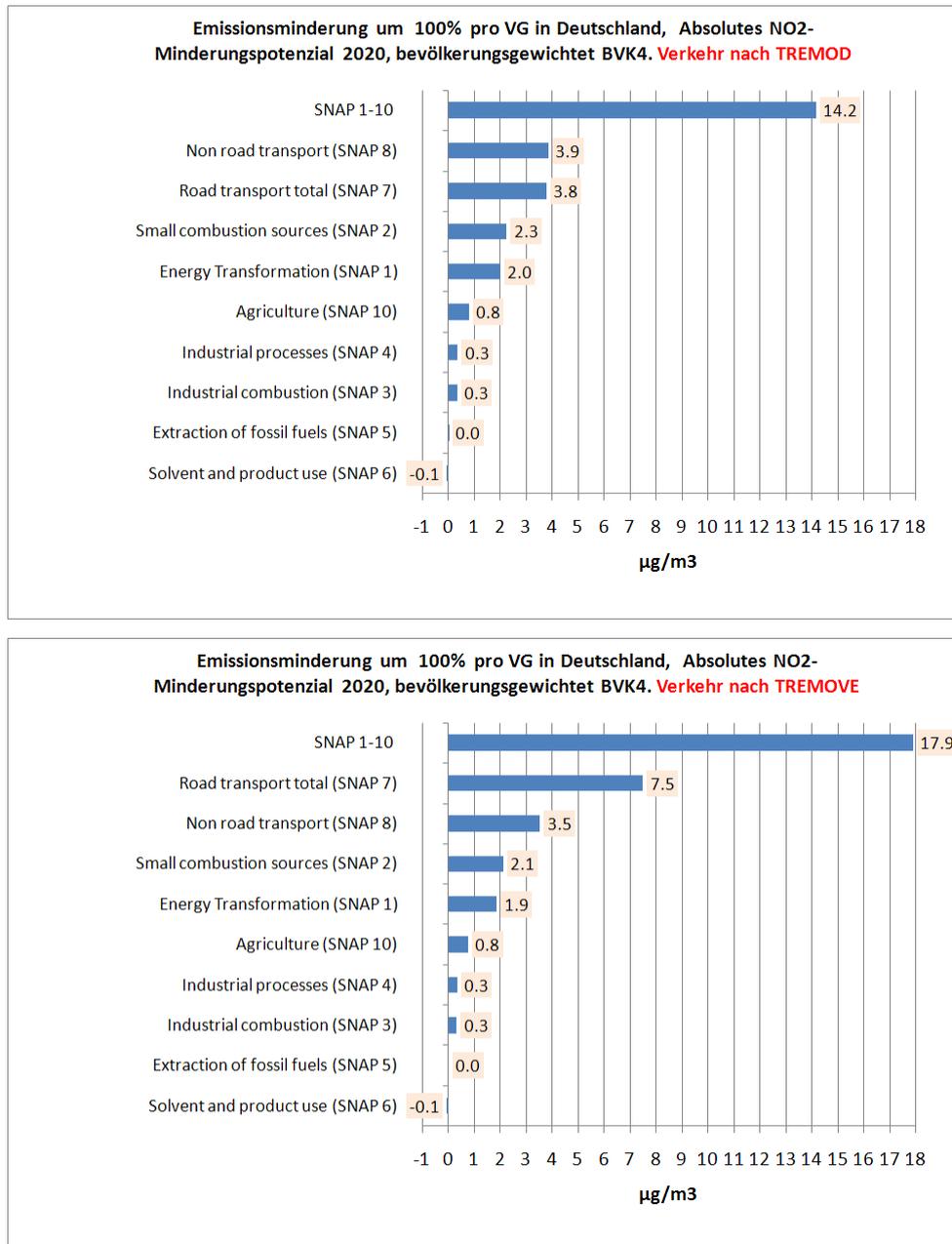


Abbildung 4-29 Maximal mögliches absolutes NO₂-Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen in µg/m³. Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsgebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10) beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa 14.2 µg/m³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und 17.9 µg/m³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 (unten).

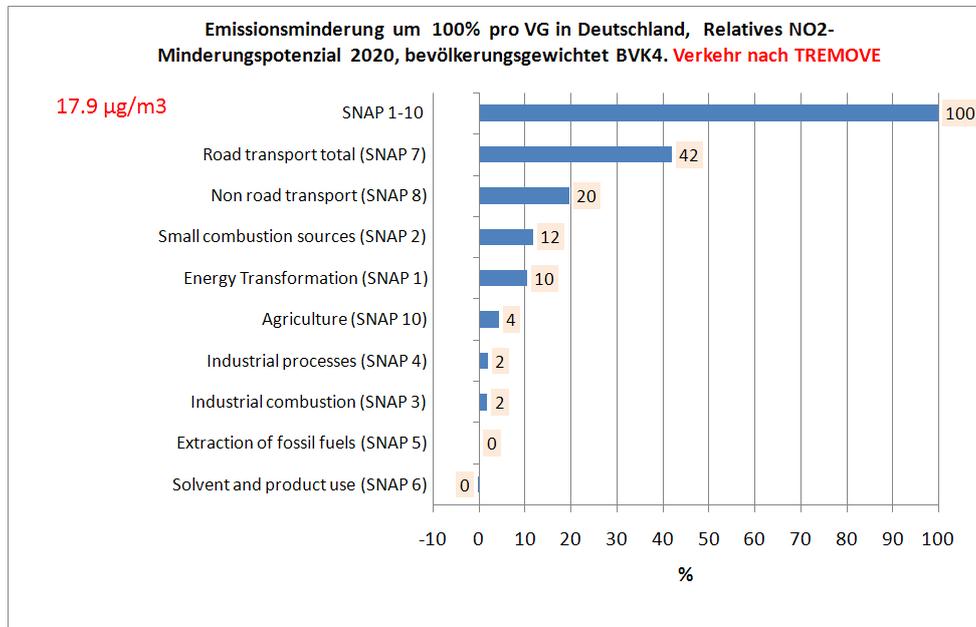
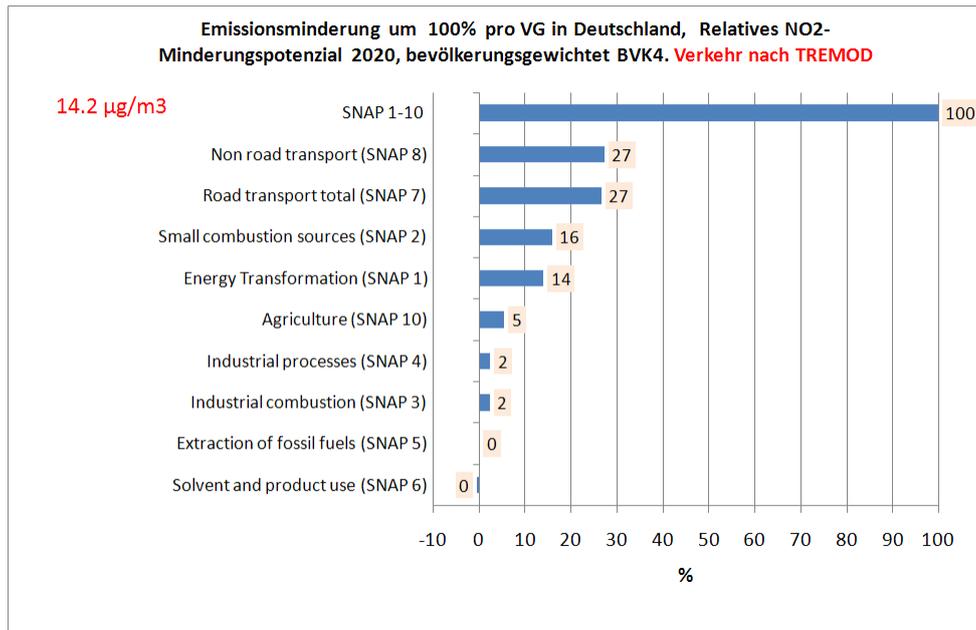


Abbildung 4-30 Maximal mögliches relatives NO₂-Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen relativ zum Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10 = 100%). Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsgebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa 14.2 µg/m³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und 17.9 µg/m³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 (unten).

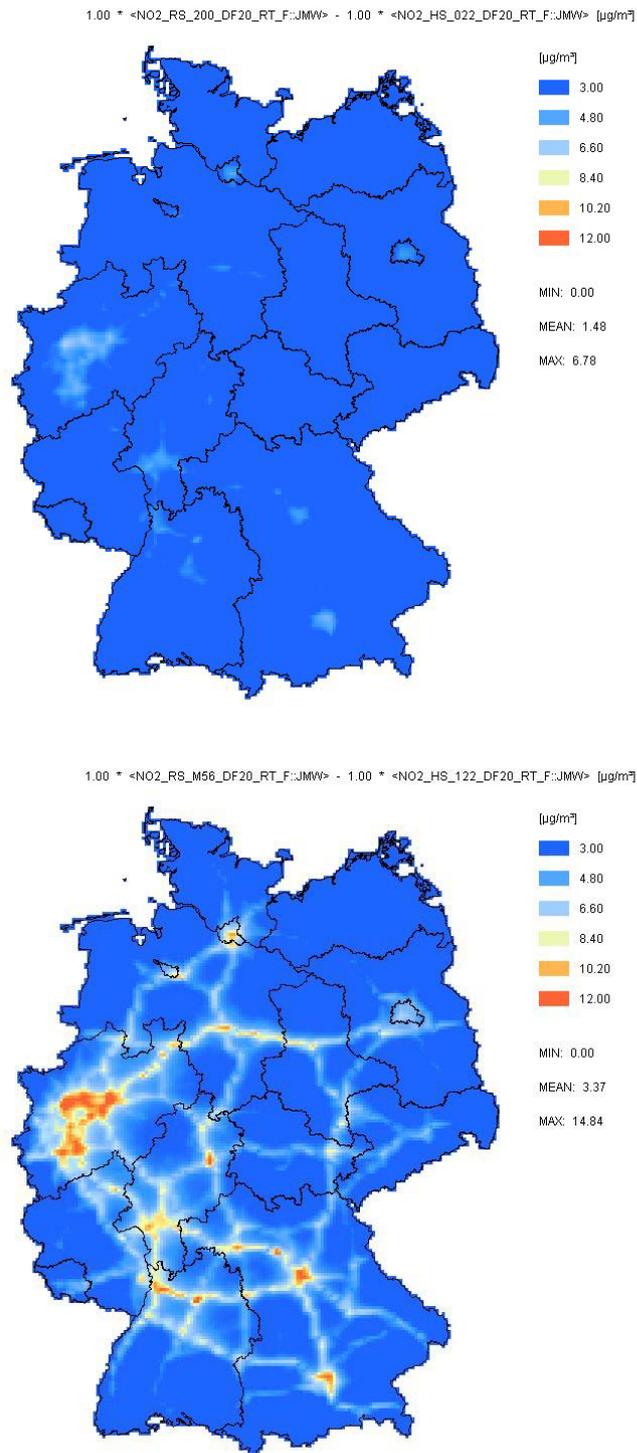


Abbildung 4-31 Absoluter Beitrag ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) der Verursachergruppe „Road transport total“ (SNAP 7) zu den NO_2 -Jahresmitteln der Referenz 2020. Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M, unten: Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7.

5 Nachtrag: Berechnungen mit der TREMOD-Version 5.04

Nach Abschluss der in den vorhergehenden Kapiteln beschriebenen Arbeiten wurden auf Basis der neueren TREMOD-Version 5.04 von IER noch zwei weitere Emissionsdatensätze für die Ausbreitungsrechnungen erstellt:

- Referenz 2005 mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 5.04
- Referenz 2020 mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 5.04

Die Ergebnisse der RCG-Berechnungen auf Basis dieser neuen Emissionen werden in diesem Kapitel präsentiert.

In TREMOD 5.04 wurden im Gegensatz zu TREMOD 4.17M (Standardversion für PAREST) andere Annahmen zu den Auswirkungen von Euro 5/6 auf Pkw und leichte Nutzfahrzeuge sowie Euro VI auf schwere Nutzfahrzeuge und zu der Lkw-Maut implementiert. Weiterhin wurde eine Güterverkehrsprognose integriert, die einen deutlich höheren Anstieg der Fahrleistungen der schweren Nutzfahrzeuge prognostiziert als noch in TREMOD 4.17 angenommen wurde. Weitere Details zu den Unterschieden können in Kugler et al. (2010) gefunden werden.

5.1 Verkehrsemissionen mit TREMOD 5.04

Die Tabelle 5-1 zeigt die auf Basis von TREMOD 5.04 berechneten Emissionen für die Referenzen 2005 und 2020. In Tabelle 5-2 sind die Emissionsunterschiede zwischen TREMOD 5.04 und TREMOVE 2.7 zusammengestellt. Diese beiden Tabellen können direkt mit Tabelle 3-1 und Tabelle 3-2 verglichen werden. Tabelle 5-3 zeigt die relative Änderung der Emissionen der Referenz 2020 bezogen auf die Emissionen der Referenz 2005 für die Verkehrsemissionen nach TREMOD 5.04. Diese Tabelle entspricht der Tabelle 3-4, die die Änderungen für TREMOD 4.17M und TREMOVE 2.7 zeigt. Die Emissionsunterschiede zwischen TREMOD 4.17M und TREMOD 5.04 sind für die Referenz 2005 relativ gering (vergleiche Tabelle 3-1 mit Tabelle 5-1). Für 2020 berechnet TREMOD 5.04 aber circa 60% höhere NO_x-Emissionen als TREMOD 4.17M für die dieselbetriebenen Fahrzeuge. Bei den anderen emittierten Stoffen bleiben die Unterschiede gering. Die mit TREMOD 5.04 berechnete Abnahme der NO_x-Emissionen des Straßenverkehrs von 2005 bis 2020 ist damit deutlich geringer als die mit TREMOD 4.17M berechnete Abnahme.

Die Emissionsunterschiede zwischen TREMOD und TREMOVE bleiben damit für die Referenz 2005 nahezu gleich. Für die Referenz 2020 nähert sich TREMOD 5.04 dagegen an die Emissionen von TREMOVE 2.7 an. Die mit TREMOD 5.04 für 2020 berechneten NO_x-Emissionen des Verkehrs liegen aber immer noch circa 35% niedriger als die mit TREMOVE 2.7 berechneten Emissionen. Damit werden auch mit TREMOD 5.04 immer noch deutlich stärkere Abnahmen der NO_x-Emissionen dieselbetriebener Fahrzeuge für den Zeitraum 2005 bis 2020 berechnet:

- TREMOD 4.17M : -75%
- TREMOD 5.04 : -62%
- TREMOVE : -48%

TREMOD 5.04 2005 kt/y	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	282.5	8.4	290.0	3.0	10.0	11.3
Small combustion sources	101.9	84.7	77.6	2.7	27.4	29.4
Industrial combustion	71.4	3.9	64.6	1.4	8.8	19.5
Industrial process emissions	90.6	86.2	117.6	9.6	16.4	52.5
Extraction of fossil fuels	0.0	25.1	7.9	0.0	0.9	4.4
Solvent and product use	0.0	742.6	0.0	1.7	9.1	9.1
Road transport gasoline	111.9	97.8	0.4	9.8	0.0	0.0
Road transport diesel	582.3	37.4	0.4	0.5	21.0	21.0
Road transport lpg	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Brake and tyrewear	0.0	0.0	0.0	0.0	10.3	19.1
Volatilisation losses	0.0	24.1	0.0	0.0	0.0	0.0
Traffic resuspension	0.0	0.0	0.0	0.0	4.7	47.4
Non road transport	233.1	78.3	3.1	1.1	21.1	21.1
Waste handling and disposal	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agriculture	80.8	254.7	0.0	576.9	5.7	25.7
SUM OVER ALL SECTORS	1554.6	1443.4	561.6	606.7	135.4	260.5

TREMOD 5.04 2020 kt/y	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	281.68	8.48	257.12	2.79	9.10	10.25
Small combustion sources	93.47	95.09	35.92	2.93	30.30	32.57
Industrial combustion	65.09	4.07	62.43	1.14	7.65	16.36
Industrial process emissions	67.32	77.61	91.10	9.70	12.04	42.85
Extraction of fossil fuels	0.00	12.14	5.95	0.00	0.84	4.19
Solvent and product use	0.00	800.02	0.00	1.73	8.89	8.89
Road transport gasoline	22.27	24.37	0.23	6.77	0.00	0.00
Road transport diesel	221.12	46.62	0.60	0.78	2.63	2.63
Road transport lpg	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Brake and tyrewear	0.00	0.00	0.00	0.00	11.98	22.19
Volatilisation losses	0.00	10.46	0.00	0.00	0.00	0.00
Traffic resuspension	0.00	0.00	0.00	0.00	5.49	54.94
Non road transport	149.91	46.68	1.23	1.13	7.55	7.55
Waste handling and disposal	0.14	0.00	0.03	0.00	0.01	0.01
Agriculture	82.27	254.74	0.00	582.50	5.73	27.84
SUM OVER ALL SECTORS	983.26	1380.31	454.60	609.47	102.21	230.26

Tabelle 5-1 Emissionen Referenz 2005 (oben) und 2020 (unten), Deutschland. Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOD, Version 5.04.

Change REF2005 %	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Small combustion sources	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industrial combustion	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industrial process emissions	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Extraction of fossil fuels		0.0	0.0		0.0	0.0
Solvent and product use		0.0		0.0	0.0	0.0
Road transport gasoline	101.6	114.2	490.0	1.2		
Road transport diesel	13.8	-30.9	404.1	4.0	40.2	40.2
Road transport lpg						
Brake and tyrewear					-63.5	-63.4
Volatilisation losses		-29.0				
Traffic resuspension					3.1	3.1
Non road transport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Waste handling and disposal	0.0		0.0		0.0	0.0
Agriculture	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0
SUM OVER ALL SECTORS	12.5	6.4	0.6	0.0	1.5	-0.8

Change REF2020 %	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Small combustion sources	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industrial combustion	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Industrial process emissions	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Extraction of fossil fuels		0.0	0.0		0.0	0.0
Solvent and product use		0.0		0.0	0.0	0.0
Road transport gasoline	7.1	34.0	123.3	-0.5		
Road transport diesel	55.8	-76.5	20.4	-1.6	166.2	166.2
Road transport lpg						
Brake and tyrewear					-60.4	-60.3
Volatilisation losses		-81.2				
Traffic resuspension					-2.7	-2.7
Non road transport	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Waste handling and disposal	0.0		0.0		0.0	0.0
Agriculture	0.0	0.0		0.0	0.0	0.0
SUM OVER ALL SECTORS	12.7	-2.6	0.1	0.0	-2.9	-4.5

Tabelle 5-2 Änderung der Emissionen der Referenz 2005 (oben) und 2020 (unten), Deutschland, bei Austausch der Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOD 5.04 durch die Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOVE 2.7.

Change REF2020 %	NOX	NMVOG	SOX	NH3	PM25	PM10
Energy transformation	-0.3	0.5	-11.3	-6.1	-8.9	-9.2
Small combustion sources	-8.2	12.3	-53.7	6.9	10.6	11.0
Industrial combustion	-8.8	4.4	-3.4	-16.7	-12.7	-16.2
Industrial process emissions	-25.7	-10.0	-22.5	0.8	-26.4	-18.3
Extraction of fossil fuels		-51.6	-24.9		-5.3	-5.3
Solvent and product use		7.7		0.0	-2.0	-2.0
Road transport gasoline	-80.1	-75.1	-42.1	-31.2		
Road transport diesel	-62.0	24.5	39.2	50.0	-87.5	-87.5
Road transport lpg						
Brake and tyrewear					15.9	15.9
Volatilisation losses		-56.7				
Traffic resuspension					15.9	15.9
Non road transport	-35.7	-40.4	-60.1	5.4	-64.3	-64.3
Waste handling and disposal	12.5		14.3		12.5	12.5
Agriculture	1.8	0.0		1.0	0.9	8.5
SUM OVER ALL SECTORS	-36.8	-4.4	-19.0	0.4	-24.5	-11.6

Tabelle 5-3 Änderung der Emissionen der Referenz 2020 bezogen auf die Referenz 2005, Deutschland. Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOD 5.04.

5.2 Referenz 2005 und Referenz 2020

Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2 zeigen die Unterschiede in den PM₁₀- bzw. NO₂-Jahresmittelwerten der Referenz 2005 bei Austausch von TREMOD 4.17M durch TREMOD 5.04. Bei den PM₁₀-Jahresmittelwerten liegen die Konzentrationsunterschiede weit unter 1 µg/m³ oder 1%. Tendenziell werden auf der Basis von TREMOD 5.04 geringfügig niedrigere PM₁₀-Konzentrationen berechnet. Die Unterschiede für die NO₂-Jahresmittelwerte sind größer. Die Verkehrsemissionen nach TREMOD 5.04 führen in den Ballungsräumen bis zu circa 1 µg/m³ oder 3%-4% höheren NO₂-Werten. Außerhalb der Ballungsräume sind die Konzentrationen dagegen etwas niedriger als für die Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M.

In Abbildung 5-3 und Abbildung 5-4 werden die entsprechenden Auswertungen für die Referenz 2020 gezeigt. Wie schon für die Referenz 2005 sind auch für die Referenz 2020 die PM₁₀-Konzentrationsunterschiede zwischen den beiden Berechnungen mit den unterschiedlichen Versionen des TREMOD-Verkehrsmodells gering. Bei den NO₂-Jahresmittelwerten ergeben sich in der Referenz 2020 aber sehr viel größere Unterschiede zwischen den beiden Modellversionen als in der Referenz 2005. In den Ballungsräumen werden für 2020 auf Basis von TREMOD 5.04 bis zu 3 µg/m³ höhere NO₂-Jahresmittelwerte berechnet als auf der Basis von TREMOD 4.17M. Dies entspricht in verkehrsdominierten Regionen bis zu 20% höheren NO₂-Immissionen.

Die auf Basis der neuen Version von TREMOD berechneten PM₁₀- und NO₂-Immissionsänderungen von 2005 bis 2020 zeigen Abbildung 5-5 und Abbildung 5-6. Bei den PM₁₀-Abnahmen bis 2020 führt die Verwendung der Verkehrsemissionen von TREMOD 5.04 zu sehr ähnlichen Ergebnissen wie die PAREST-Version TREMOD 4.17M (vergleiche Abbildung 4-13 mit Abbildung 5-5). Größere Unterschiede ergeben sich wieder für die berechneten NO₂-Abnahmen. Die stärksten Abnahmen werden für TREMOD 4.17M berechnet (Abbildung 4-17), die schwächsten Abnahmen für TREMOVE 2.7 (Abbildung 4-18). Die mit TREMOD 5.04 berechneten Abnahmen liegen zwischen diesen beiden Extremen (Abbildung 5-6).

Die lokale Verteilung der Beiträge des Verkehrs nach TREMOD 5.04 zu den NO₂-Jahresmittelwerten der Referenz 2020 kann der Abbildung 5-7 entnommen werden. Diese Abbildung kann mit Abbildung 4-31 verglichen werden, die die absoluten Verkehrsbeiträge für TREMOD 4.17M und TREMOVE 2.7 zeigt. Nach TREMOD 4.17M liegen die maximalen Beiträge des Verkehrs unter 7 µg/m³, nach TREMOD 5.04 bei knapp unter 10 µg/m³ und nach TREMOVE 2.7 bei über 14 µg/m³. Die Fortschreibung des TREMOD-Modells von der Version 4.17M auf die Version 5.04 führt zwar zu einer Erhöhung der Verkehrsbeiträge zu den NO₂-Konzentrationen, auf der Basis von TREMOVE 2.7 werden aber immer noch deutlich höhere Beiträge berechnet.

In der zusammenfassenden, bevölkerungsgewichteten Auswertung ergeben sich für die Beiträge der Verkehrsemissionen zum theoretisch möglichen Minderungspotenzial (berechnet mit dem hypothetischen Szenario „keine deutschen Emissionen“) die in der Tabelle 5-4 aufgeführten prozentualen Anteile. Für die Berechnungen mit TREMOD 4.17M und TREMOVE 2.7 können die Anteile aller Verursachergruppen der bereits diskutierten Abbildung 4-28 und Abbildung 4-30 entnommen werden. Der niedrigste Anteil der Verkehrsemissionen am möglichen Minderungspotenzial wird mit TREMOD 4.17M berechnet, der höchste Anteil mit TREMOVE 2.7. Die neue Version TREMOD 5.04 liegt in etwa dazwischen. Auf Basis dieser neuen Version 5.04 stellt der Straßenverkehr jetzt auch bei TREMOD eindeutig den höchsten Anteil aller Verursachergruppen am noch möglichen NO₂-Minderungspotenzial wenn auch dieser Anteil immer noch deutlich niedriger ist als auf der Basis von TREMOVE 2.7.

	Bevölkerungsklasse 1	Bevölkerungsklasse 4
TREMOD 4.17M	23%	27%
TREMOD 5.04	31%	35%
TREMOVE 2.7	41%	42%

Tabelle 5-4 Anteil der Verkehrsemissionen am Beitrag der deutschen Emissionen zu den NO₂-Jahresmittelwerten der Referenz 2020. Mittlere, bevölkerungsgewichtete Auswertung für ländliche Regionen (Bevölkerungsklasse 1) und Ballungsgebiete (Bevölkerungsklasse 4).

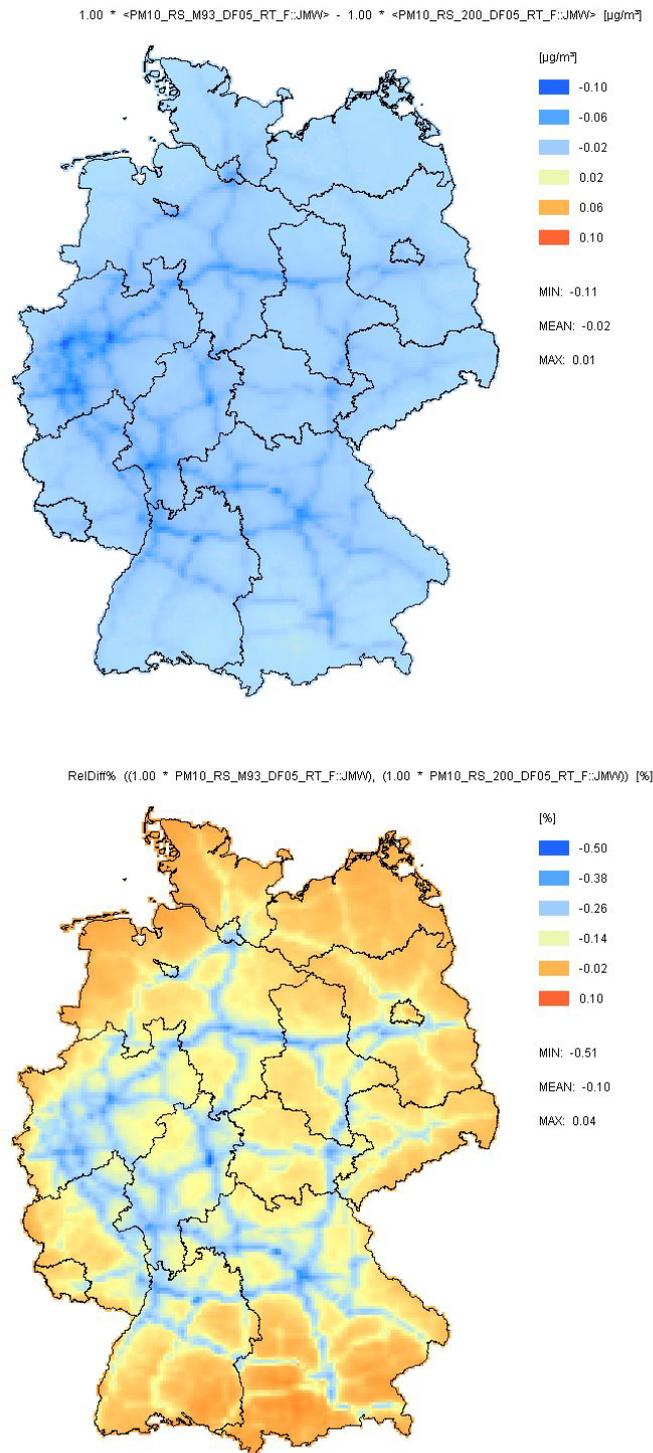


Abbildung 5-1 Absolute (oben, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und relative (unten, %) Änderung der PM10-Jahresmittelwerte 2005 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch TREMOD 5.04 ersetzt). MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

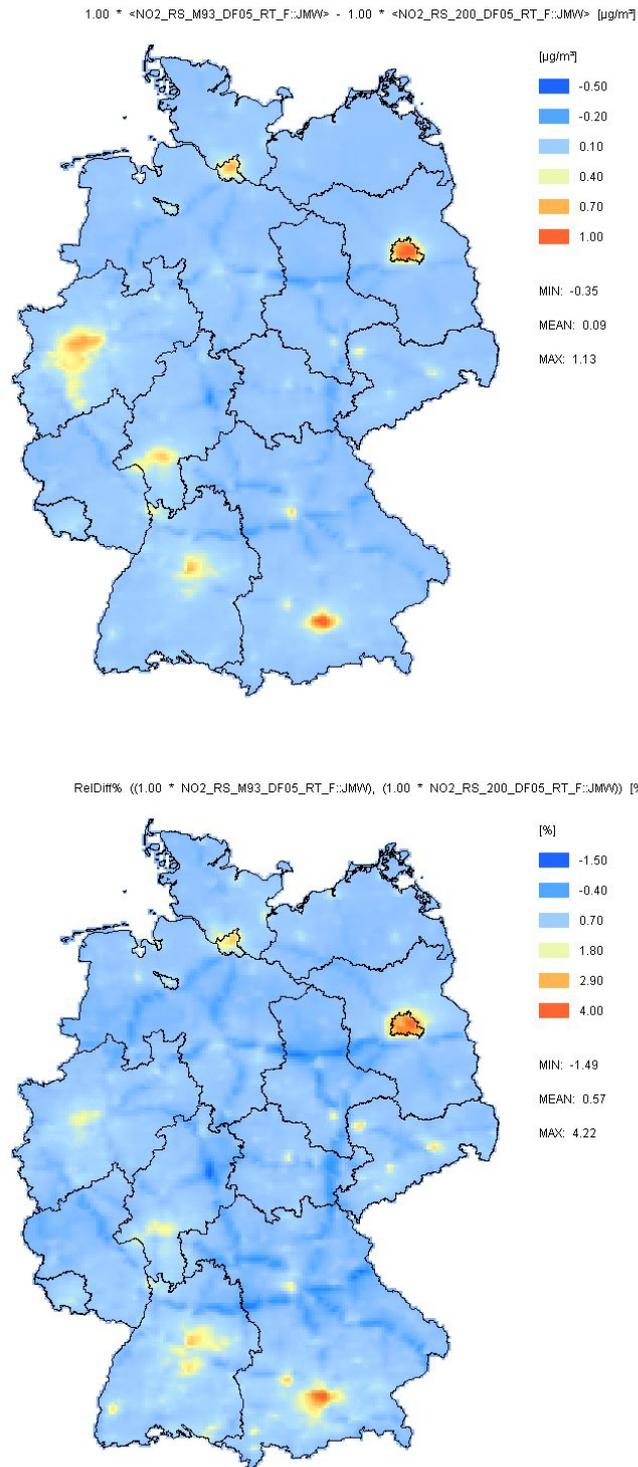


Abbildung 5-2 Absolute (oben, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und relative (unten, %) Änderung der NO_2 -Jahresmittelwerte 2005 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch TREMOD 5.04 ersetzt). MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

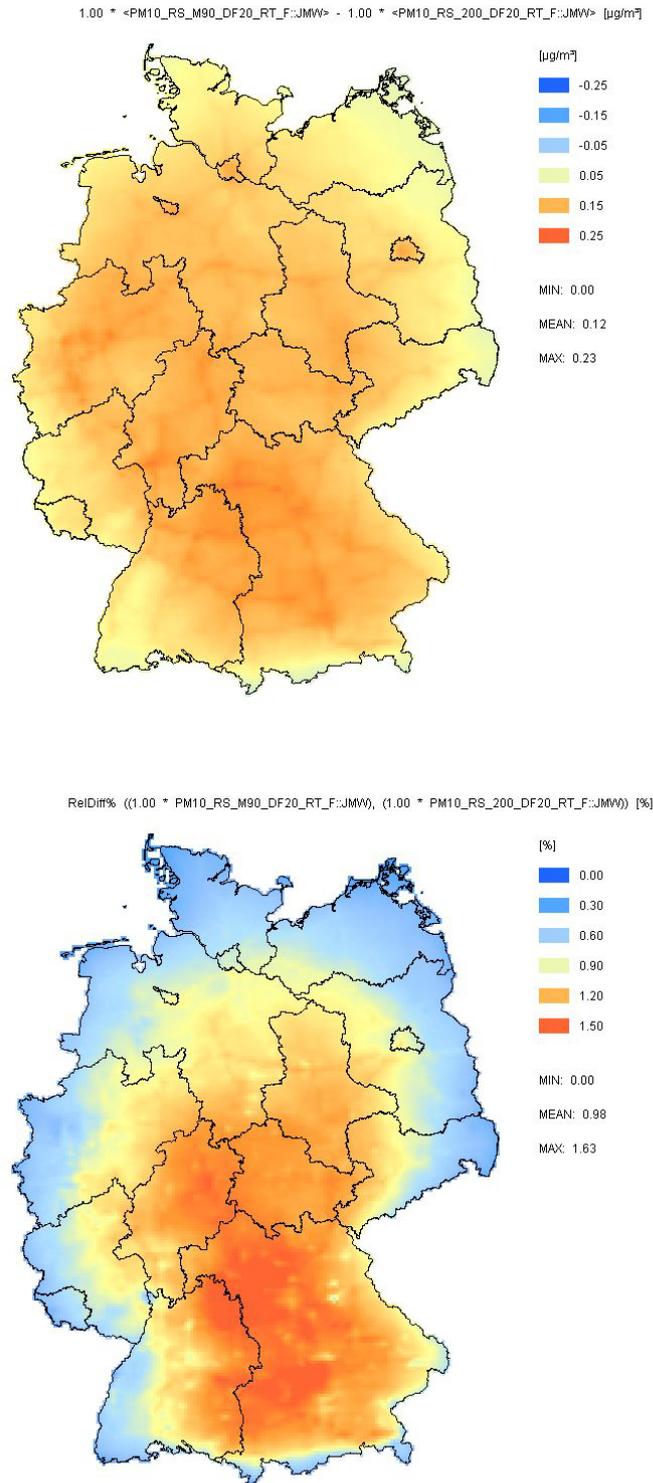


Abbildung 5-3 Absolute (oben, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und relative (unten, %) Änderung der PM10-Jahresmittelwerte 2020 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch TREMOD 5.04 ersetzt). MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

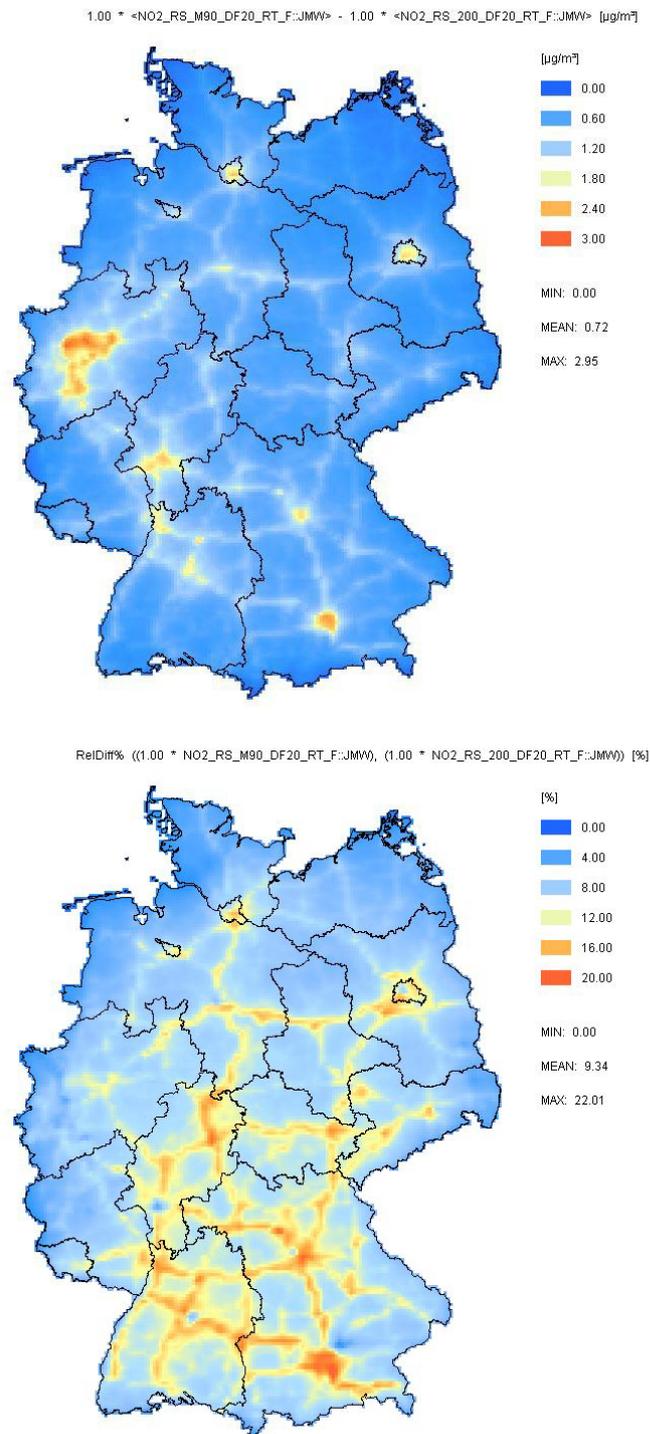


Abbildung 5-4 Absolute (oben, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und relative (unten, %) Änderung der NO_2 -Jahresmittelwerte 2020 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch TREMOD 5.04 ersetzt). MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

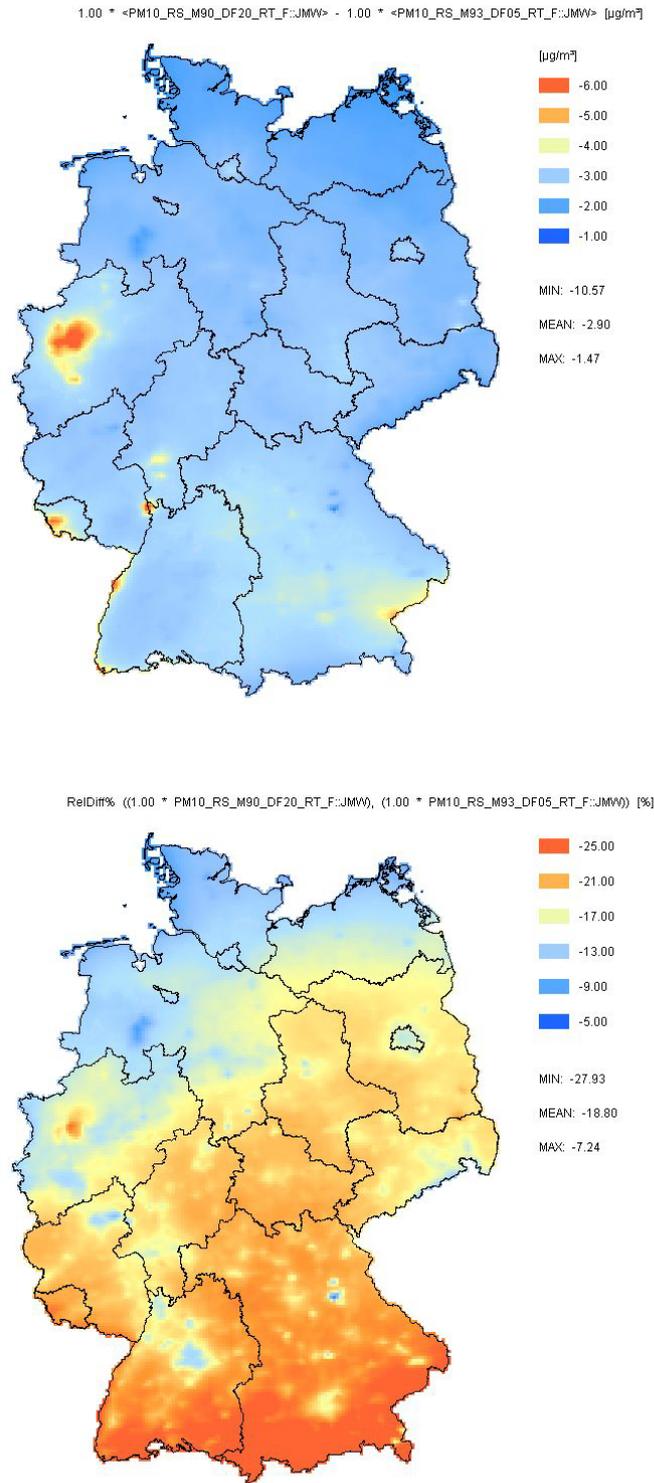


Abbildung 5-5 Absolute (oben, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und relative (unten, %) Änderung der PM10-Jahresmittelwerte als Folge der Emissionsentwicklung 2005 nach 2020. Verkehrsmodell TREMOD 5.04. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

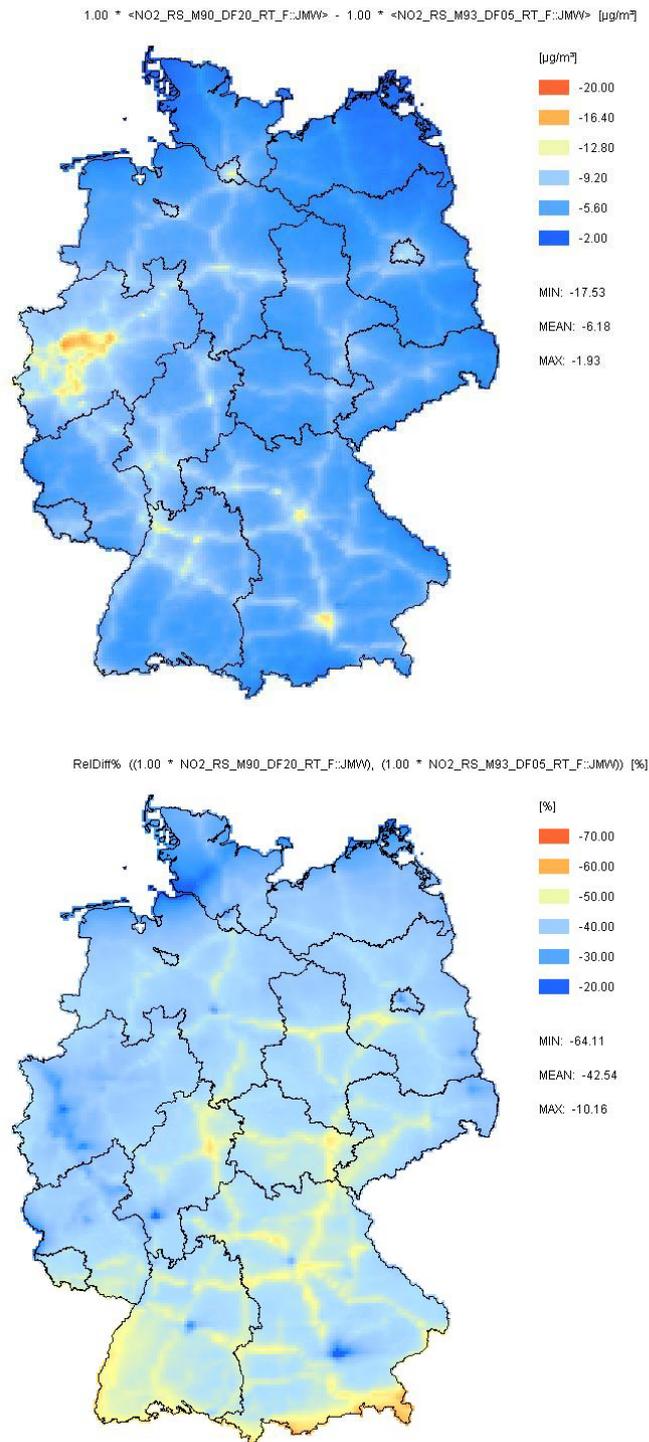


Abbildung 5-6 Absolute (oben, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und relative (unten, %) Änderung der NO_2 -Jahresmittelwerte als Folge der Emissionsentwicklung 2005 nach 2020. Verkehrsmodell TREMOD 5.04. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.

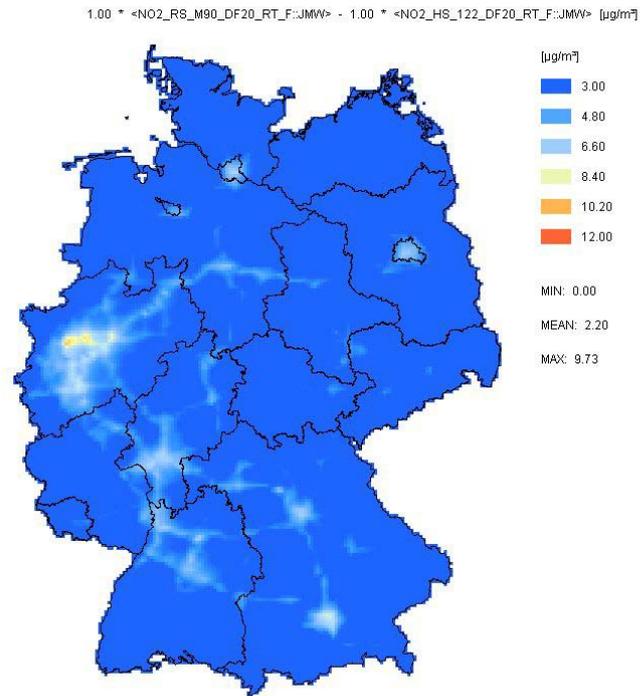


Abbildung 5-7 Absoluter Beitrag ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) der Verursachergruppe „Road transport total“ (SNAP 7) zu den NO_2 -Jahresmitteln der Referenz 2020. Verkehrsemissionen nach TREMOD 5.04.

6 Zusammenfassung

Die Berechnung der Verkehrsemissionen erfolgt im PAREST-Projekt mit dem vom Umweltbundesamt verwendeten Verkehrsmodell TREMOD 4.17 (Transport Emission Model) auf der Grundlage der Emissionsfaktoren des HBEFA 2.1. Für das PAREST-Referenzszenario 2010-2020 (CLE-Szenario, „current legislation“) wurde TREMOD 4.17 so verändert (TREMOD 4.17M), dass die Maßnahmen „Einführung der Grenzwertstufen Euro 5 und 6 für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge“, „Einführung einer Grenzwertstufe Euro VI für schwere Nutzfahrzeuge“ und „Bestehende Lkw-Maut inkl. Förderung der Anschaffung emissionsärmerer SNF“ in das Referenzszenario integriert sind und nicht mehr als zusätzliche Maßnahme behandelt werden (Jörß et al., 2010). Alternativ zu TREMOD 4.17M wurden im Rahmen des Projekts auch Emissionsdatensätze erstellt, in denen die Verkehrsemissionen mit dem Modell TREMOVE, Version 2.7 berechnet wurden (Kugler et al., 2010). TREMOVE ist das Verkehrsmodell, das von der Europäischen Kommission für die Entwicklung von Verkehrsszenarien verwendet wird. Dieser Bericht dokumentiert die Unterschiede zwischen den Immissionsverteilungen von PM10 und NO₂, die sich durch die Anwendung des europäischen Verkehrsmodells ergeben. Betrachtet werden die Referenz 2005, die den Ist-Zustand für das Jahr 2005 beschreibt und die Referenz 2020, die den Emissionszustand beschreibt, der nach Umsetzung jetzt bereits beschlossener Maßnahmen im Jahr 2020 erreicht werden soll.

Die mit TREMOVE 2.7 berechneten Auspuffemissionen für die Stoffe NO_x, SO₂ und PM10 sind deutlich höher und für die Kohlenwasserstoffe deutlich niedriger als die mit TREMOD 4.17M berechneten Emissionen. Beim PM10 gibt es in der Summe nur geringe Änderungen, da die höheren PM10-Auspuffemissionen von TREMOVE durch die niedrigeren PM10-Emissionen durch Brems- und Reifenabrieb kompensiert werden. Die relativen Abnahmen von 2005 nach 2020 fallen nach TREMOVE für die Auspuffemissionen niedriger aus als bei TREMOD. Diese Unterschiede führen bei den Gesamtemissionen für Deutschland in der Referenz 2005 mit TREMOVE im Vergleich zur Referenz mit TREMOD zu circa 13% höheren NO_x-Emissionen und 2% niedrigeren PM10-Emissionen. Für die Referenz 2020 berechnen sich auf Basis von TREMOVE in Deutschland circa 23% höhere NO_x-Emissionen und 4% niedrigere PM10-Emissionen.

Entsprechend den unterschiedlichen Emissionsabschätzungen für den Verkehr sind die Unterschiede in den berechneten Konzentrationen für PM10 und PM2.5 gering und für NO₂ beträchtlich. In ländlichen Regionen ergeben sich mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE für die Referenz 2005 im Mittel circa 1 µg/m³ höhere NO₂-Jahresmittelwerte, in städtischen Regionen im Mittel zwischen 2 bis 3 µg/m³ höhere NO₂-Jahresmittelwerte als mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD. Aus einem Vergleich mit Messungen kann aber nicht abgeleitet werden, ob eine der beiden Verkehrsmodellierungen zu einer besseren Simulation der gemessenen Realität führt.

Für die Referenz 2020 werden in ländlichen Regionen mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE im Mittel circa 1 µg/m³ höhere, in städtischen Regionen zwischen 3 und 4 µg/m³ höhere NO₂-Jahresmittelwerte berechnet als mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD. Die Unterschiede in den PM10-Jahresmittelwerten sind wie für die Referenz 2005 gering.

Die für die beiden Berechnungsmethoden der Verkehrsemissionen ermittelten PM10-Konzentrationstendenzen von 2005 nach 2020 sind vergleichbar. Insgesamt bewegen sich die berechneten Abnahmen in Deutschland für TREMOD und TREMOVE zwischen 17 und 20%. Bei den NO₂-Jahresmittelwerten zeigen sich in der Tendenz jedoch Unterschiede. Auf Basis der Verkehrsemissionen nach TREMOD wird für die Entwicklung der NO₂-Konzentrationen bis 2020 eine positivere Prognose berechnet, d. h. die prognostizierten Abnahmen der Konzentrationen sind deutlich höher als diejenigen auf Basis der Verkehrsemissionen nach TREMOVE.

Für TREMOD 4.17M wird in den Ballungsgebieten eine Abnahme der NO₂-Jahresmittelwerte bis 2020 um 44% berechnet, für TREMOVE 2.7 nur um 36%.

Für die Referenz 2020 wurden weiterhin die Beiträge der einzelnen Verursachergruppen zur gesamten Immission berechnet. Diese Beiträge kennzeichnen das Minderungspotenzial einer Verursachergruppe, das über die Referenz 2020 hinaus noch für weitere emissionsmindernde Maßnahmen maximal zur Verfügung steht. Die Landwirtschaft stellt in den ländlichen Regionen circa die Hälfte des gesamtöglichen Potenzials, d.h. des Potenzials, das sich für die 100%ige Minderung aller deutschen Emissionen berechnet. Es folgt der Verkehr gesamt mit einem Potenzial, das weniger als die Hälfte des Potenzials der Landwirtschaft beträgt. Dies gilt für die Emissionen nach TREMOD oder TREMOVE. In den Ballungsräumen hat der Straßenverkehr mit etwa 25% den größten Anteil am gesamten PM₁₀-Minderungspotenzial. An zweiter und dritter Stelle der Rangfolge in Ballungsgebieten liegen die Landwirtschaft und die industriellen Prozessemissionen.

Die für den Verkehr insgesamt berechneten PM₁₀-Minderungspotenziale unterscheiden sich zwischen TREMOD und TREMOVE nur gering. Betrachtet man aber die Untergruppen des Verkehrs, ergeben sich deutliche Unterschiede. Bei TREMOVE haben die Auspuffemissionen mit einem Anteil von 7% bis 10% am gesamt möglichen Potenzial einen doppelt so hohen Anteil wie bei TREMOD mit 3% bis 5%. Umgekehrt ist es bei dem Beitrag des Brems- und Reifenabriebs, der bei TREMOD mit circa 4%, bei TREMOVE nur mit 2% zum Potential beiträgt.

Der Straßenverkehr stellt in ländlichen Regionen und in Ballungsräumen das höchste NO₂-Minderungspotenzial. Das für TREMOVE berechnete Potenzial ist aber sehr viel höher als das für TREMOD. In Ballungsgebieten hat der Verkehr nach TREMOD im Jahre 2020 im Mittel noch einen circa 27%igen, nach TREMOVE einen 42%igen Anteil am noch möglichen Minderungspotenzial der deutschen Emissionen. Die Rolle des Straßenverkehrs als eines möglichen Kandidaten für weitere Minderungsmaßnahmen zur Senkung der NO₂-Konzentrationen über die Referenz 2020 hinaus wird auf Basis des Verkehrsmodells TREMOVE also sehr viel höher bewertet als auf Basis des Verkehrsmodells TREMOD. In ländlichen Gebieten ist das absolute TREMOVE-Minderungspotenzial im Mittel mehr als doppelt, in den Ballungsgebieten knapp doppelt so hoch wie das entsprechende TREMOD-Minderungspotenzial.

Alle im Rahmen des PAREST-Projekts berechneten Verkehrsemissionen beruhen auf Berechnungen mit der TREMOD-Version 4.17M. Die Version 4.17 wurde inzwischen zur Version 5.04 fortgeschrieben. In TREMOD 5.04 wurden im Vergleich zu TREMOD 4.17M (Standardversion für PAREST) andere Annahmen zu den Auswirkungen von Euro 5/6 auf Pkw und leichte Nutzfahrzeuge sowie Euro VI auf schwere Nutzfahrzeuge und zu der Lkw-Maut implementiert. Weiterhin wurde eine neue Güterverkehrsprognose implementiert, die einen deutlich höheren Anstieg der Fahrleistungen der schweren Nutzfahrzeuge prognostiziert als noch in Tremod 4.17M angenommen wurde. Vergleichsrechnungen zeigen, dass die neue TREMOD-Version für die NO₂-Immissionen eine Annäherung an die TREMOVE-Ergebnisse liefert. In Ballungsgebieten steigt der Anteil des Straßenverkehrs am noch möglichen Minderungspotenzial mit TREMOD 5.04 von 27% (TREMOD 4.17M) auf 35%, was aber immer noch niedriger ist als der 42%-Anteil bei TREMOVE 2.7.

Für die PM₁₀-Immissionen sind die Unterschiede zwischen TREMOD 4.17M und TREMOD 5.04 dagegen gering, so dass die obige Bewertung zwischen TREMOD und TREMOVE auch für die neue TREMOD-Version 5.04 gültig bleibt. Damit muss insbesondere bei der Bewertung der Auswirkungen von Maßnahmenpotenzialen auf die NO₂-Immission berücksichtigt

werden, dass die in PAREST verwendete Emissionsmodellierung des Straßenverkehrs für die Referenz 2020 eine untere Abschätzung ergibt, die nach neueren Erkenntnissen eine zu positive Rolle der Emissionsentwicklung für den Straßenverkehr darstellt.

7 Literatur

Amann, M., W. Asman, I. Bertok, J. Cofala, C. Heyes, Z. Klimont, W. Schöpp, F. Wagner (2008)

National Emission Ceilings for 2020 based on the 2008 Climate & Energy Package. NEC Scenario Analysis Report #6. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria.

Builtjes, P., W. Jörß, W., R. Stern, J. Theloke (2010)

Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung . PAREST-Endbericht, Schlussbericht an das Umweltbundesamt zum Forschungsvorhabens: FKZ 206 43 200/01

Denier van der Gon, H.A.C., A.J.H. Visschedijk, H. van der Brugh, R. Droge (2010)

A high resolution European emission data base for the year 2005. Forschungs-Teilbericht im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“. TNO, Niederlande.

Denier van der Gon, H.A.C., A.J.H. Visschedijk, H. van der Brugh (2009)

Gridded European emission data for the projection years 2010, 2015 and 2020 based on the IIASA GAINS NEC scenarios. TNO-report TNO-034-UT-2009-02306_RPT-ML. Forschungs-Teilbericht im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“. TNO, Niederlande.

Jörß, W., U. Kugler, J. Theloke (2010)

Beschreibung des Referenzemissionsdatensatzes für das Forschungsprojekt PAREST. Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: IZT.

Kerschbaumer, A. und E. Reimer (2003)

Erstellung der Meteorologischen Eingangsdaten für das REM/Calgrid-Modell: Modellregion Berlin-Brandenburg. Abschlussbericht zum UBA-Forschungsvorhaben 29943246. Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie.

Kerschbaumer, A. (2010)

Abhängigkeit der RCG-Simulationen von unterschiedlichen meteorologischen Treibern. Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin.

Kugler, U., W. Jörß, J. Theloke (2010)

Verkehrsemissionsmodellierung für PAREST – Modellvergleich und alternative Szenarien. Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, IER-Universität Stuttgart.

Putaud, J., F. Raesa, R. Van Dingenen, E. Brüggemann, M. Facchini, S. Decesari, S. Fuzzi, R. Gehrig, C. Hueglin, P. Laj, G. Lorbeer, W. Maenhaut, N. Mihalopoulos, K. Mueller, X. Querol, S. Rodriguez, J. Schneider, G. Spindler, H. ten Brink, K. Torseth, A. Wiedensohler (2004)

A European aerosol phenomenology - 2: chemical characteristics of particulate matter at kerbside, urban, rural and background sites in Europe. Atmospheric Environment 38, 2579–2595.

Sartelet, K., E. Debry, K. Fahey, Y. Roustan, M. Tombette, and B. Sportisse (2007)

Simulation of aerosols and gas-phase species over Europe with the POLYPHEMUS system. part I : model-to-data comparison for 2001. Atmospheric Environment, 41, 6116-6131.

Stern, R. (2003)

Entwicklung und Anwendung des chemischen Transportmodells REM/CALGRID. Abschlussbericht zum F& E-Vorhaben 298 41 252 des Umweltbundesamts „Modellierung und Prüfung von Strategien zur Verminderung der Belastung durch Ozon“.

Stern, R. (2004)

Weitere Entwicklung und Anwendung des chemischen Transportmodells REM-CALGRID für die bundeseinheitliche Umsetzung der EU-Rahmenrichtlinie Luftqualität und ihrer Tochterrichtlinien. Abschlussbericht zum F&E-Vorhaben 201 43 250 des Umweltbundesamts „Anwendung modellgestützter Beurteilungssysteme für die bundeseinheitliche Umsetzung der EU-Rahmenrichtlinie Luftqualität und ihrer Tochterrichtlinien“

Stern, R., Bultjes, P., Schaap, M., Timmermans, R., Vautard, R., Hodzic, A., Memmesheimer, M., Feldmann, H., Renner, E., Wolke, R., Kerschbaumer, A., (2008)

A model inter-comparison study focussing on episodes with elevated PM10 concentrations. Atmospheric Environment 42 4567-4588. 2008.

Stern, R. (2009)

Auswirkungen der verschiedenen NEC-Abschätzungen auf die Immissionen in Deutschland. . Forschungs-Teilbericht im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“. Berlin, Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin.

Stern, R. (2010a)

Bewertung von Emissionsminderungsszenarien mit Hilfe chemischer Transportberechnungen: NO₂- und O₃-Minderungspotenziale von Maßnahmenpaketen zur weiteren Reduzierung der Immissionen in Deutschland . Forschungs-Teilbericht im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“. Berlin, Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin.

Stern, R. (2010b)

Bewertung von Emissionsminderungsszenarien mit Hilfe chemischer Transportberechnungen: PM10- und PM2.5-Minderungspotenziale von Maßnahmenpaketen zur weiteren Reduzierung der Immissionen in Deutschland . Forschungs-Teilbericht im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“. Berlin, Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin.

Stern, R. (2010c)

Prognose der Luftqualität und Abschätzung von Grenzwertüberschreitungen in Deutschland für die Referenzjahre 2010, 2015 und 2010. Forschungs-Teilbericht im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“. Berlin, Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin.

Stern, R. (2010d)

Anwendung von chemischen Transportmodellen im Rahmen des Parest-Projekts: Ergebnisvergleich REM-CALGRID, LOTOS-EUROS und MUSCAT-COSMO für das Referenzjahr 2005. Forschungs-Teilbericht im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“. Berlin, Institut für Meteorologie der Freien Universität Berlin.

Theloke, J., U. Kugler, W. Jörß, B. Thiruchittampalam, T. Kampffmeyer, M., Uzbasic, U. Dämmgen, P. Bultjes, R. Stern (2010)

Beschreibung der maßnahmenorientierten Minderungsszenarien in PAREST. Forschungs-Teilbericht im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“. IER-Universität Stuttgart.

Tsyro, S.G. (2005)

To what extent can aerosol water explain the discrepancy between model calculated and gravimetric PM10 and PM2.5? *Atmos. Chem. Phys.*, 5, 515-532.

Vautard, R., P. Builtjes, P. Thunis, K. Cuvelier, M. Bedogni, B. Bessagnet, C. Honoré, N. Mousiopoulos, M. Schaap, R. Stern, L. Tarrason, M. van Loon (2007)

Evaluation and intercomparison of Ozone and PM10 simulations by several chemistry-transport models over 4 European cities within the City-Delta project, 2007. *Atmospheric Environment* 41, 173-188.

8 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Bevölkerungsdichte in Einwohner/km ² in 4 Klassen. Zur Klassendefinition siehe Text. Die Auflösung entspricht der Auflösung des Nestes 2, Deutschland fein: 0.0625° Breite, 0.125°, circa 8 km x 7 km.	4
Abbildung 3-1 TREMOVE 2.7-Verkehrsemissionen relativ zu den TREMOD 4.17M-Verkehrsemissionen für die Referenz 2005. Angaben in %. Oben verkehrsbedingte PM10-Emissionen, unten verkehrsbedingte NO _x -Emissionen.	10
Abbildung 3-2 TREMOVE 2.7-Verkehrsemissionen relativ zu den TREMOD 4.17M-Verkehrsemissionen für die Referenz 2020. Angaben in %. Oben verkehrsbedingte PM10-Emissionen, unten verkehrsbedingte NO _x -Emissionen.	11
Abbildung 4-1 Bevölkerungsgewichtete PM10-, PM2.5- und NO ₂ -Konzentrationen der Referenz 2005 TREMOD 4.17M und TREMOVE 2.7 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in µg/m ³ .	18
Abbildung 4-2 PM10-Jahresmittelwerte für die Emissionsreferenz 2005 in µg/m ³ . Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M. Unten: Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentration (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.	19
Abbildung 4-3 Absolute (oben) und relative (unten) Änderung der PM10-Jahresmittelwerte 2005 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch TREMOVE 2.7 ersetzt) in µg/m ³ . MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.	20
Abbildung 4-4 NO ₂ -Jahresmittelwerte für die Emissionsreferenz 2005 in µg/m ³ . Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M. Unten: Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentration (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.	21
Abbildung 4-5 Absolute (oben) und relative (unten) Änderung der NO ₂ -Jahresmittelwerte 2005 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch TREMOVE 2.7 ersetzt) in µg/m ³ . MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.	22
Abbildung 4-6 Vergleich der berechneten PM10-Jahresmittelwerte 2005 mit Beobachtungen. Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M, unten Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7.	23
Abbildung 4-7 Vergleich der berechneten NO ₂ -Jahresmittelwerte 2005 mit Beobachtungen. Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M, unten Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7.	24
Abbildung 4-8 Vergleich der berechneten PM10- und NO ₂ -Jahresmittelwerte 2005 mit Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M und Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 an den für Abbildung 4-6 und Abbildung 4-7 verwendeten Stationen.	25
Abbildung 4-9 Bevölkerungsgewichtete PM10-, PM2.5- und NO ₂ -Konzentrationen der Referenz 2020 TREMOD 4.17M und TREMOVE 2.7 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in µg/m ³ .	27
Abbildung 4-10 Bevölkerungsgewichtete relative PM10-, PM2.5- und NO ₂ -Abnahmen von 2005 nach 2020 basierend auf TREMOD 4.17M und TREMOVE 2.7 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in µg/m ³ .	28
Abbildung 4-11 PM10-Jahresmittelwerte für die Emissionsreferenz 2020 in µg/m ³ . Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M. Unten: Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentration (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.	29
Abbildung 4-12 Absolute (oben) und relative (unten) Änderung der PM10-Jahresmittelwerte 2020 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch TREMOVE 2.7 ersetzt) in µg/m ³ . MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.	30
Abbildung 4-13 Absolute (oben, µg/m ³) und relative (unten, %) Änderung der PM10-Jahresmittelwerte als Folge der Emissionsentwicklung 2005 nach 2020. Verkehrsmodell TREMOD 4.17M. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.	31
Abbildung 4-14 Absolute (oben, µg/m ³) und relative (unten, %) Änderung der PM10-Jahresmittelwerte als Folge der Emissionsentwicklung 2005 nach 2020. Verkehrsmodell TREMOVE 2.7. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.	32

Abbildung 4-15 NO ₂ -Jahresmittelwerte für die Emissionsreferenz 2020 in µg/m ³ . Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M. Unten: Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentration (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.....	33
Abbildung 4-16 Absolute (oben) und relative (unten) Änderung der NO ₂ -Jahresmittelwerte als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch TREMOVE 2.7 ersetzt) in µg/m ³ . MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.....	34
Abbildung 4-17 Absolute (oben, µg/m ³) und relative (unten, %) Änderung der NO ₂ -Jahresmittelwerte als Folge der Emissionsentwicklung 2005 nach 2020. Verkehrsmodell TREMOD 4.17M. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.	35
Abbildung 4-18 Absolute (oben, µg/m ³) und relative (unten, %) Änderung der NO ₂ -Jahresmittelwerte als Folge der Emissionsentwicklung 2005 nach 2020. Verkehrsmodell TREMOVE 2.7. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.	36
Abbildung 4-19 Verhältnis (%) der Änderung der PM10-Jahresmittelwerte (oben) und der NO ₂ -Jahresmittelwerte (unten) als Folge der Entwicklung der Emissionen aller Verursachergruppen von 2005 nach 2020, Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 normiert auf die Änderung mit Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M. 100% bedeutet identische Konzentrationsänderungen für TREMOD und TREMOVE. 50% bedeutet, dass die auf Basis von TREMOVE prognostizierte Konzentrationsänderung nur 50% der auf Basis von TREMOD prognostizierten Konzentrationsänderung beträgt. MIN, MEAN und MAX geben den Bereich (MIN und MAX) der Verhältnisse sowie das mittlere Verhältnis (MEAN) über Deutschland an. Die Unterschiede resultieren ausschließlich aus den unterschiedlichen Beiträgen der Verkehrsemissionen zu den gesamten Emissionen.	37
Abbildung 4-20 Bevölkerungsgewichtete PM10-Jahresmittelwerte der Referenz 2020 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in µg/m ³ . Roter Anteil: Maximal erreichbares Minderungspotenzial durch eine 100%ige Reduktion aller deutschen Emissionen. Blauer Anteil: Mittlere PM10-Konzentration ohne die deutschen Emissionen. Oben: Verkehr nach TREMOD 4.17M, unten Verkehr nach TREMOVE 2.7.	39
Abbildung 4-21 Bevölkerungsgewichtete NO ₂ -Jahresmittelwerte der Referenz 2020 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in µg/m ³ . Roter Anteil: Maximal erreichbares Minderungspotenzial durch eine 100%ige Reduktion aller deutschen Emissionen. Blauer Anteil: Mittlere NO ₂ -Konzentration ohne die deutschen Emissionen. Oben: Verkehr nach TREMOD 4.17M, unten Verkehr nach TREMOVE 2.7.	40
Abbildung 4-22 Maximal mögliches absolutes PM10-Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen in µg/m ³ . Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 1 (Ländliche Gebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10) beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa 5.5 µg/m ³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und 5.7 µg/m ³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 (unten).	43
Abbildung 4-23 Maximal mögliches relatives PM10-Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen relativ zum Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10 = 100%). Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 1 (Ländliche Gebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa 5.5 µg/m ³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und 5.7 µg/m ³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 (unten).	44
Abbildung 4-24 Maximal mögliches absolutes PM10-Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen in µg/m ³ . Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsgebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10) beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa 5.5 µg/m ³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und 5.7 µg/m ³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 (unten).	45
Abbildung 4-25 Maximal mögliches relatives PM10-Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen relativ zum Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10 = 100%). Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsgebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa 5.5 µg/m ³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und 5.7 µg/m ³ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 (unten).	46
Abbildung 4-26 Beitrag (µg/m ³) der Verursachergruppe „Road transport total“ (SNAP 7) zu den PM10-Jahresmitteln der Referenz 2020. Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M, unten: Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7.	47
Abbildung 4-27 Maximal mögliches absolutes NO ₂ -Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen in µg/m ³ . Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 1 (Ländliche Gebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10) beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa 5.2 µg/m ³ mit den	

Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und $6.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 (unten).....	50
Abbildung 4-28 Maximal mögliches relatives NO_2 -Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen relativ zum Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10 = 100%). Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 1 (Ländliche Gebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa $5.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und $6.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 (unten).....	51
Abbildung 4-29 Maximal mögliches absolutes NO_2 -Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsgebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10) beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa $14.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und $17.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 (unten).....	52
Abbildung 4-30 Maximal mögliches relatives NO_2 -Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen relativ zum Potenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10 = 100%). Bevölkerungsgewichtetes Mittel der Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsgebiete). Das Potenzial aller deutschen Emissionen beträgt für die Bevölkerungsklasse 1 circa $14.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M (oben) und $17.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ mit den Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7 (unten).....	53
Abbildung 4-31 Absoluter Beitrag ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) der Verursachergruppe „Road transport total“ (SNAP 7) zu den NO_2 -Jahresmitteln der Referenz 2020. Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M, unten: Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7.....	54
Abbildung 5-1 Absolute (oben) und relative (unten) Änderung der PM_{10} -Jahresmittelwerte 2005 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch TREMOD 5.04 ersetzt) in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.....	61
Abbildung 5-2 Absolute (oben) und relative (unten) Änderung der NO_2 -Jahresmittelwerte 2005 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch TREMOD 5.04 ersetzt) in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.....	62
Abbildung 5-3 Absolute (oben) und relative (unten) Änderung der PM_{10} -Jahresmittelwerte 2020 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch TREMOD 5.04 ersetzt) in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.....	63
Abbildung 5-4 Absolute (oben) und relative (unten) Änderung der NO_2 -Jahresmittelwerte 2020 als Folge des Austauschs der Verkehrsemissionen (TREMOD 4.17M durch TREMOD 5.04 ersetzt) in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.....	64
Abbildung 5-5 Absolute (oben, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und relative (unten, %) Änderung der PM_{10} -Jahresmittelwerte als Folge der Emissionsentwicklung 2005 nach 2020. Verkehrsmodell TREMOD 5.04. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.....	65
Abbildung 5-6 Absolute (oben, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) und relative (unten, %) Änderung der NO_2 -Jahresmittelwerte als Folge der Emissionsentwicklung 2005 nach 2020. Verkehrsmodell TREMOD 5.04. MIN, MEAN und MAX geben den Konzentrationsänderungsbereich (MIN und MAX) sowie die mittlere Konzentrationsänderung (MEAN) über Deutschland an. Meteorologische Referenz ist 2005.....	66
Abbildung 5-7 Absoluter Beitrag ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) der Verursachergruppe „Road transport total“ (SNAP 7) zu den NO_2 -Jahresmitteln der Referenz 2020. Verkehrsemissionen nach TREMOD 5.04.....	67

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1 Emissionen Referenz 2005 und 2020, Deutschland. Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOD, Version 4.17M.	6
Tabelle 3-2 Emissionen Referenz 2005 und 2020, Deutschland. Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOVE 2.7.	7
Tabelle 3-3 Änderung der Emissionen der Referenz 2005 (oben) und 2020 (unten), Deutschland, bei Austausch der Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOD, Version 4.17M, durch die Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOVE 2.7.	8
Tabelle 3-4 Änderung der Emissionen der Referenz 2020 bezogen auf die Referenz 2005, Deutschland. Oben: Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOD, Version 4.17M. Unten: Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOVE 2.7.	9
Tabelle 4-1 Erreichbare Emissionsminderungen in % bezüglich der Emissionsreferenz 2020 für das Abschalten einzelner Verursachergruppen (-100% aller Emissionen einer Verursachergruppe). Oben: Verkehrsemissionen nach TREMOD 4.17M, unten: Verkehrsemissionen nach TREMOVE 2.7. Die Summe der Einzelminderungen ergibt -100%.....	14
Tabelle 4-2 Bevölkerungsgewichtete PM10-Jahresmittelwerte der Referenz 2020 in den 6 Bewertungsklassen. Maximal mögliches Minderungspotenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10) bezogen auf die Referenz 2020. Maximal mögliches Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen. Rot gekennzeichnet in jeder Bewertungsklasse ist das jeweils höchste Einzelpotenzial einer Verursachergruppe. Alle Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Verkehr nach TREMOD 4.17M, unten: Verkehr nach TREMOVE 2.7.....	42
Tabelle 4-3 Bevölkerungsgewichtete NO_2 -Jahresmittelwerte der Referenz 2020 in den 6 Bewertungsklassen. Maximal mögliches Minderungspotenzial aller deutschen Emissionen (SNAP 1-10) bezogen auf die Referenz 2020. Maximal mögliches Minderungspotenzial der betrachteten Verursachergruppen. Rot gekennzeichnet in jeder Bewertungsklasse ist das jeweils höchste Einzelpotenzial einer Verursachergruppe. Alle Angaben in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Verkehr nach TREMOD 4.17M, unten: Verkehr nach TREMOVE 2.7.....	49
Tabelle 5-1 Emissionen Referenz 2005 (oben) und 2020 (unten), Deutschland. Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOD, Version 5.04.	56
Tabelle 5-2 Änderung der Emissionen der Referenz 2005 (oben) und 2020 (unten), Deutschland, bei Austausch der Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOD 5.04 durch die Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOVE 2.7.	57
Tabelle 5-3 Änderung der Emissionen der Referenz 2020 bezogen auf die Referenz 2005, Deutschland. Verkehrsemissionen berechnet mit TREMOD 5.04.....	58
Tabelle 5-4 Anteil der Verkehrsemissionen am Beitrag der deutschen Emissionen zu den NO_2 -Jahresmittelwerten der Referenz 2020. Mittlere, bevölkerungsgewichtete Auswertung für ländliche Regionen (Bevölkerungsklasse 1) und Ballungsgebiete (Bevölkerungsklasse 4).	60

10 Anhang: Städtische Hintergrundstationen zur Bestimmung des „Average Exposure Indicator“, AEI

DEBB021	Potsdam-Zentrum
DEBB064	Cottbus
DEBE010	Berlin-Wedding-Amrumer Strasse
DEBE034	Berlin-Neukoelln-Nansenstrasse
DEBE068	Berlin-Brückenstraße
DEBW013	Stuttgart Bad Cannstatt
DEBW081	Karlsruhe-Nordwest
DEBY039	Muenchen/Lothstrasse
DEBY058	Nuernberg/Muggenhof
DEBY099	Augsburg/LfU
DEHB002	Bremen-Ost
DEHE008	Frankfurt-Ost
DEHE013	Kassel-Mitte
DEHE022	Wiesbaden-Sued
DEHH008	Hamburg Sternschanze
DEHH059	Hamburg Wilhelmsburg
DEMV019	Güstrow
DEMV021	Rostock-Warnemünde
DENI038	OsnabruECK
DENI054	Hannover/Linden
DENW008	Dortmund2
DENW024	Essen-Vogelheim
DENW038	Mülheim-Styrum
DENW053	Köln-Chorweiler
DENW067	Bielefeld
DENW071	Düsseldorf-Loerick
DENW094	Aachen-Burtscheid
DENW095	Muenster-Geist
DENW114	Wuppertal-Langerfeld
DERP009	Mainz-Zitadelle
DESH023	Lübeck-St. Jürgen
DESL012	Saarbruecken-City
DESN085	Dresden-HerzoginGarten
DEST050	Halle/Nord
DEST077	Magdeburg/West
DETH020	Erfurt Kraempferstr.