

TEXTE

60/2013

PM10-Ursachenanalyse auf der Basis hypothe- tischer Emissions- szenarien

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 206 43 200/01
UBA-FB 001524/ANH,21

PM10-Ursachenanalyse auf der Basis hypothetischer Emissionsszenarien

**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/4535.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:	September 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 Appelhaus

Dessau-Roßlau, Juni 2013

Inhalt

1	EINLEITUNG.....	1
2	AUSWERTESYSTEMATIK.....	2
3	HYPOTHETISCHE SZENARIEN	4
4	RCG -ANWENDUNGEN AUF DAS REFERENZJAHR 2005	7
4.1	AUSGANGSSITUATION 2005.....	7
4.2	MINDERUNG DER EMISSIONEN UM 100%	9
4.2.1	<i>Minderung aller Emissionen</i>	<i>9</i>
4.2.2	<i>Minderung der Emissionen pro Stoff.....</i>	<i>13</i>
4.2.3	<i>Minderung der Emissionen pro Verursachergruppe.....</i>	<i>16</i>
4.2.4	<i>Minderung der Emissionen pro Stoff und Verursachergruppe.....</i>	<i>19</i>
4.3	MINDERUNG DER EMISSIONEN UM 25%	26
4.3.1	<i>Minderung aller Emissionen</i>	<i>26</i>
4.3.2	<i>Minderung der Emissionen pro Stoff.....</i>	<i>30</i>
4.3.3	<i>Minderung der Emissionen pro Verursachergruppe.....</i>	<i>33</i>
4.4	PM10-MINDERUNGSPOTENZIALE NORMIERT AUF IDENTISCHE EMISSIONSMINDERUNGEN	36
4.5	PM10-MINDERUNGSPOTENZIALE FÜR UNTERSCHIEDLICHE NH ₃ - UND NO _x - EMISSIONSMINDERUNGSMENGEN.....	40
5	ZUSAMMENFASSUNG.....	43
6	LITERATUR	46
7	ANHANG B: DIE RCG-MODELLGEBIETE.....	47
8	ANHANG C: STÄDTISCHE HINTERGRUNDSTATIONEN ZUR BESTIMMUNG DES „AVERAGE EXPOSURE INDICATOR“, AEI.....	50
9	ANHANG E: ABBILDUNGSVERZEICHNIS	51
10	ANHANG F: TABELLENVERZEICHNIS	54

1 Einleitung

Das Hauptziel des F&E-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; 2004a; 2004b) verwendet.

In diesem Bericht wird eine PM10-Ursachenanalyse vorgestellt, die eine Abschätzung liefert, in welchem Umfang die in Deutschland von den verschiedenen Verursachergruppen emittierten Stoffe für die in Deutschland berechneten PM10-Konzentrationen verantwortlich sind.

Ausgangspunkt der Berechnungen ist die in Jörß et al. (2010) beschriebene deutsche Emissionsreferenz mit dem Bezugsjahr 2005. Ausbreitungsrechnungen für Deutschland erfordern auch die Berücksichtigung des Ferntransports aus dem europäischen Ausland. Dazu wurden im Rahmen des FE-Vorhabens neben den deutschen Emissionen auch die Emissionen im europäischen Ausland erhoben (Denier van der Gon et al., 2010). Für das meteorologische Basisjahr 2005 wurde das RCG-Modell für die PM10-Ursachenanalyse zuerst auf die europäische Modellskala und dann auf die Modellskala „Deutschland grob“ (siehe Kapitel 7) angewandt. Von diesen Läufen werden hier nur die Ergebnisse des Nests 1 (Deutschland grob) vorgestellt. Die im Folgenden präsentierten Berechnungen mit dem RCG-Modell basieren damit auf Anwendungen des RCG-Modells für Deutschland in einer Auflösung von 0.125° Breite und 0.25° Länge. Dies entspricht in Mitteleuropa einer Maschenweite von circa 14 bis 16 km. Die meteorologischen Daten für die meteorologische Referenz 2005 wurden mit dem diagnostischen Analysesystem TRAMPER erstellt (Kerschbaumer und Reimer, 2003; Kerschbaumer, 2010).

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

2 Auswertesystematik

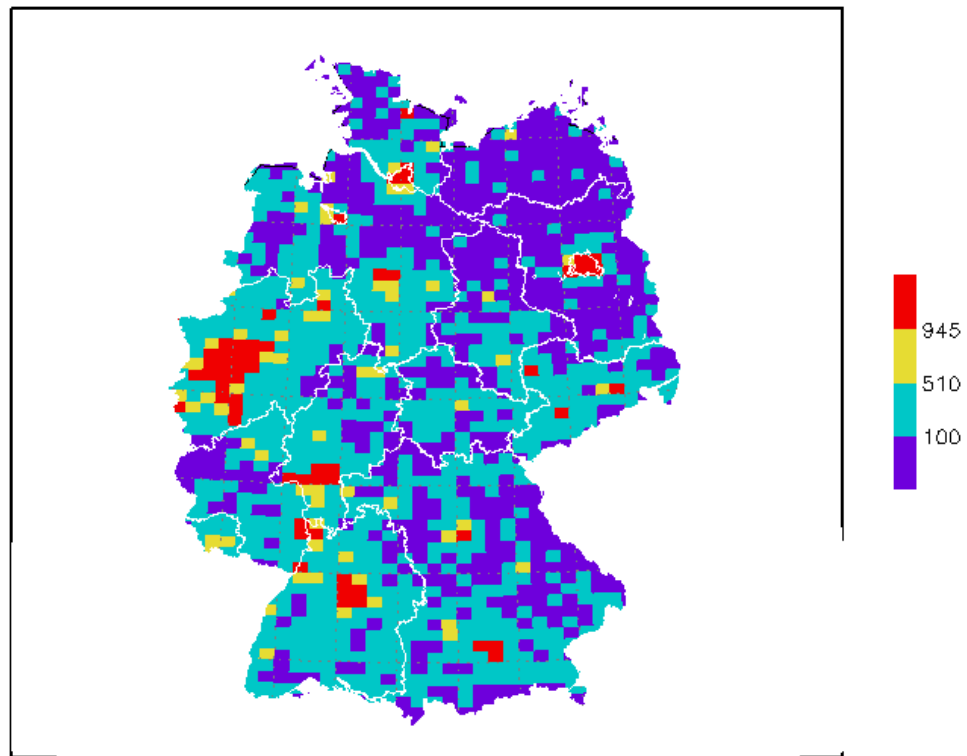
Die Auswertung fokussiert zum Einen auf dem flächenmäßigen Vergleich der Jahresmittelwerte von PM10. Dazu wurden alle Modellergebnisse in das Visualisierungssystem FLADIS (Fath et al., 2010) übernommen und einheitlich darstellt. Die flächenhafte Darstellung der Modellergebnisse erlaubt zwar eine Bewertung für jeden Ort in Deutschland, die vergleichende Bewertung ist aber schwierig, da die Spannbreite der Immissionsunterschiede in einem inhomogenen Emissionsgebiet wie Deutschland sehr groß sein kann. Aus diesem Grunde werden zum Anderen 6 Klassen definiert, für die die Modellergebnisse ausgewertet werden. Dazu wird die Fläche Deutschlands eingeteilt in:

- 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

Die Klasse 1 umfasst alle ländlichen Gebiete mit einer geringen Bevölkerungsdichte. Die Obergrenze der Klasse 2 definiert die Bevölkerungsdichte, bei der der Median der Verteilung liegt. Die obere Grenze der Klasse 3 bzw. die Untergrenze der Klasse 4 ist die Bevölkerungsdichte, ab der man von einem Ballungsgebiet spricht. Die 6. Bewertungszahl wird aus einer Mittelung der Ergebnisse für die Gitterzellen abgeleitet, in denen die für die Bestimmung des so genannten AEI für PM2.5 (Average Exposure Indicator) ausgewählten städtischen Hintergrundstationen liegen. Diese Stationen sind in Kapitel 8 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 0.25° Länge x 0.125° Breite. In den dicht besiedelten Ballungsräumen Deutschlands liegt die Bevölkerungsdichte zwischen circa 5000 bis über 10000 Einwohner pro km².

Bevoelkerungsdichte in 4 Klassen im Raster NEST 1



GrADS: COLA/IGES

2010-06-21-14:15

Abbildung 2-1 Bevölkerungsdichte in Einwohner/km² in 4 Klassen. Zur Klassendefinition siehe Text. Die Auflösung entspricht der Auflösung des Nestes 1, Deutschland grob: 0.125° Breite, 0.25° Länge, circa 14 km x 16 km.

3 Hypothetische Szenarien

Die hypothetischen Szenarien sollen eine Abschätzung ermöglichen, welche Immissionsminderungspotenziale in Deutschland hypothetisch erreicht werden könnten. Die für die RCG-Ausbreitungsrechnungen benutzten Emissionen des Referenzjahres 2005 sind in Tabelle 3-1 zusammengestellt. Diese Angaben beruhen auf dem von Jörß et al. (2010) für Deutschland entwickelten Energiereferenzszenario.

Ausgehend von der Emissionsreferenz 2005 wurden folgende hypothetischen Szenarien berechnet:

- Keine anthropogenen Emissionen in Deutschland
- Absenkung der anthropogenen Emissionen in Deutschland auf 75% der Referenzemissionen (-25%)

Das erste dieser beiden Szenarien ist das umfassendste Szenario und beschreibt das maximal mögliche PM10-Minderungspotenzial der deutschen Emissionen.

-100 % und -25% Minderung der Emissionen aller Verursachergruppen für die Stoffe:

- PM10
- PMCO (PM10-PM2.5)
- PM2.5
- NO_x
- SO₂
- NH₃
- NMVOC oder NMHC (Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe)

Jeweils -100% und -25% Minderung der Emissionen pro Verursachergruppe:

- Verbrennungsprozesse zur Energiegewinnung und Transformation: Kraftwerke, Fernwärme, Raffinerien („Energy transformation“, SNAP 1)
- Verbrennungsprozesse zur Energiegewinnung und Transformation: Gewerbe, Haushalte („Small combustion sources“, SNAP 2)
- Verbrennungsprozesse in der produzierenden Industrie („Industrial combustion“, SNAP 3)
- Produktionsprozesse („Industrial Process emissions“, SNAP 4)
- Extraktion und Verteilung von fossilen Brennstoffen und Geothermie („Extraction of fossil fuels“, SNAP 5)
- Gebrauch von Lösemitteln und Produkten („Solvent and product use“, SNAP 6)
- Straßenverkehr: Auspuffemissionen Ottomotoren und Dieselmotoren („Road transport exhaust“, SNAP 7-1 und SNAP 7-2)
- Straßenverkehr: Abriebemissionen („Brake and tyre wear“, SNAP 7-4)
- Straßenverkehr: Wiederaufwirbelungsemissionen („Traffic resuspension“, SNAP 7-6)
- Straßenverkehr gesamt („Road traffic total“, SNAP 7-1 - SNAP 7-6)
- Sonstige mobile Quellen und Maschinen („Non road transport“, SNAP 8)
- Landwirtschaft („Agriculture“, SNAP 10)

Die Verursacherguppe Abfallbehandlung („Waste handling and disposal“, SNAP 9) hat so geringe Emissionen, dass sie hier nicht betrachtet wurde. Die Verdunstungsemissionen des Straßenverkehrs (SNAP 7-6) wurden nicht in die Analyse einbezogen, da diese nur ein sehr kleines PM10-Bildungspotenzial besitzen. Auspuffemissionen LPG (SNAP 7-3) sind in der PAREST-Emissionsdatenbasis nicht enthalten.

Die durch das Abschalten einzelner Verursacherguppen erreichbaren Emissionsminderungen bezüglich der Emissionen der Referenz 2005 zeigt die Tabelle 3-2. Bei den Stickoxiden stellen die Emissionen der Kraftfahrzeuge mit Dieselmotoren den größten Einzelanteil an den Emissionen der Referenz 2005 gefolgt von den Emissionen aus der Energieerzeugung (SNAP 1). Ammoniakemissionen werden zu über 95% von der Landwirtschaft verursacht. Die Kleinfeuerungsanlagen haben das größte PM2.5-Emissionsminderungspotenzial gefolgt vom Verkehr (Dieselmotoren und übriger Verkehr). Bei den PM10-Emissionen stellen die prozessbedingten industriellen Emissionen den größten Einzelbeitrag gefolgt von den Wiederaufwirbelungsemissionen des Verkehrs. Die Summe aller Emissionsminderungen ergibt das Szenario „keine deutschen anthropogenen Emissionen“, dessen Immissionsminderungspotenzial die in Deutschland maximal mögliche Absenkung der Immissionen durch nationale Maßnahmen beschreibt. Die Restimmission setzt sich zusammen aus dem Beitrag des Ferntransports über die deutschen Grenzen und dem PM10-Beitrag der natürlichen Emissionen.

Der Beitrag der einzelnen Verursacher zu den Immissionen innerhalb von Deutschland wird durch Nullsetzen der entsprechenden anthropogenen 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 NO₂ und PM10 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 Verursacherguppen zur Gesamtkonzentration auch nur als Näherung betrachtet werden.

Germany Emissions 2005 kt/y	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM2.5	PM10
Energy transformation	282.5	8.4	290	3	10	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	25.1	7.9	0	0.9	4.4
Solvent and product use	0	742.6	0	1.7	9.1	9.1
Road transport gasoline	112.2	91.9	0.4	10	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
Brake and tyrewear	0	0	0	0	10.6	19.6
Volatilisation losses	0	23.4	0	0	0	0
Traffic resuspension	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
Agriculture	80.8	254.7	0	576.9	5.7	25.7
SUM OVER ALL SECTORS	1544	1437.5	561.6	606.9	135.8	262.5

Tabelle 3-1 Emissionen (kt/Jahr) Referenz 2005, Deutschland. Zu den deutschen Bezeichnungen der Verursachergruppen siehe Text.

Minderungspotenziale 2005 %	NOX	NMVOC	SOX	NH3	PM2.5	PM10
Energy transformation	-18.3	-0.6	-51.6	-0.5	-7.4	-4.3
Small combustion sources	-6.6	-5.9	-13.8	-0.4	-20.2	-11.2
Industrial combustion	-4.6	-0.3	-11.5	-0.2	-6.5	-7.4
Industrial process emissions	-5.9	-6.0	-20.9	-1.6	-12.1	-20.0
Extraction of fossil fuels	0.0	-1.7	-1.4	0.0	-0.7	-1.7
Solvent and product use	0.0	-51.7	0.0	-0.3	-6.7	-3.5
Road transport gasoline	-7.3	-6.4	-0.1	-1.6	0.0	0.0
Road transport diesel	-37.0	-2.7	-0.1	-0.1	-15.5	-8.0
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	-7.8	-7.5
Volatilisation losses	0.0	-1.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Traffic resuspension	0.0	0.0	0.0	0.0	-3.6	-18.6
Non road transport	-15.1	-5.4	-0.6	-0.2	-15.5	-8.0
Waste handling and disposal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Agriculture	-5.2	-17.7	0.0	-95.1	-4.2	-9.8
SUM OVER ALL SECTORS	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0	-100.0

Tabelle 3-2 Erreichbare Emissionsminderungen in % bezüglich der Emissionsreferenz 2005 für das Abschalten einzelner Verursachergruppen (-100% aller Emissionen einer Verursachergruppe). Die rot markierten Einträge kennzeichnen für jeden Schadstoff das jeweils höchste theoretisch mögliche (Nullemission) Emissionsminderungspotenzial. Die Summe der Einzelminderungen ergibt -100%.

4 RCG -Anwendungen auf das Referenzjahr 2005

4.1 Ausgangssituation 2005

Für das meteorologische Basisjahr 2005 wurde das RCG-Modell auf die europäische Modellskala und die Modellskala „Deutschland grob“ (siehe Kapitel 7) unter Verwendung der PAREST-Emissionsreferenz 2005 angewandt. Die meteorologischen Daten für die meteorologische Referenz 2005 wurden mit dem diagnostischen Analysesystem TRAMPER erstellt (Kerschbaumer und Reimer, 2003; Kerschbaumer, 2010). Von diesen Läufen werden hier nur die Ergebnisse des Nests 1 (Deutschland grob) vorgestellt. Das Nest 1 umfasst Deutschland und seine Nachbarregionen mit einer Maschenweite von 0.25° Länge und 0.125° Breite (Abbildung 7-2). Abbildung 4-1 zeigt die mit dem RCG-Modell für 2005 berechneten PM10-Jahresmittelwerte in Deutschland. Die maximalen Jahresmittelwerte von über $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ werden im Ruhrgebiet, im Rhein-Main-Gebiet und im Raum Ludwigshafen/Mannheim berechnet. Diese Konzentrationsverteilung bildet die Ausgangssituation für die Ursachenanalyse.

Eine zusammenfassende, bevölkerungsgewichtete Bewertung erfolgt nach der in Kapitel 2 beschriebenen Vorgehensweise für die 4 Klassen mit zunehmender Bevölkerungsdichte (BVK1 bis 4), für Deutschland gesamt und für die zur Berechnung des AEI ausgewählten städtischen Hintergrundstationen. Ausgangspunkt der Betrachtung sind die bevölkerungsgewichteten PM10-Konzentrationen der Referenz 2005 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen (Abbildung 4-2). Das bevölkerungsgewichtete PM10-Jahresmittel beträgt im Mittel über Deutschland für die Referenz 2005 circa $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Von der Bevölkerungsklasse 1 (ländliche Regionen) bis zur Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsgebiete) steigt die PM10-Konzentration von 14 auf $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$ an. Die mittlere Konzentration an den AEI-Stationen ist etwas geringer als der Wert für die Bevölkerungsklasse 4.

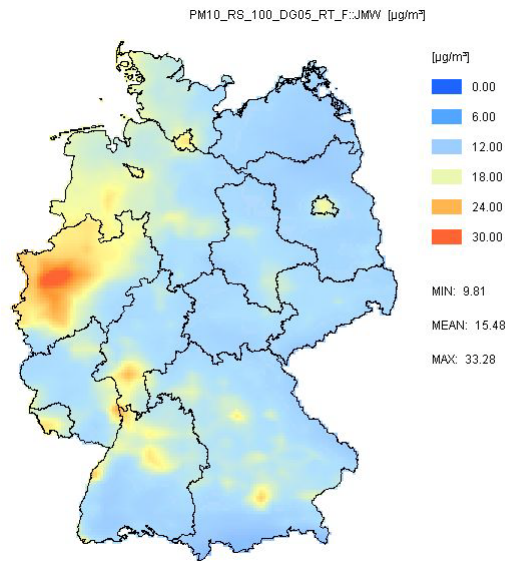


Abbildung 4-1 PM10-Jahresmittelwert 2005 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. RCG-Modell. Emissionsreferenz 2005, meteorologisches Referenzjahr 2005. Rastergröße 0.25° Länge und 0.125° Breite (Modellgebiet „Deutschland grob“).

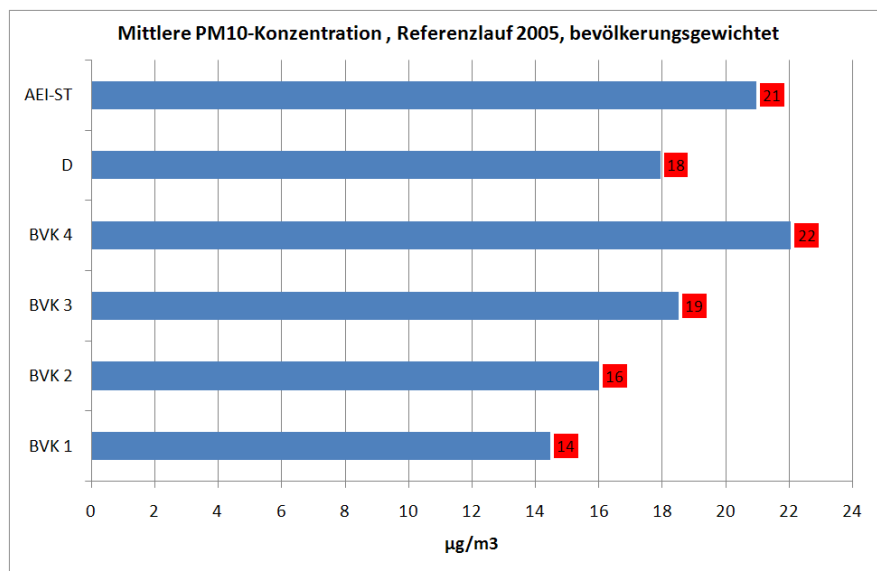


Abbildung 4-2 Bevölkerungsgewichtete PM10-Konzentrationen der Referenz 2005 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Modellgebiet „Deutschland grob“.

4.2 Minderung der Emissionen um 100%

4.2.1 Minderung aller Emissionen

Die Abbildung 4-3 zeigt die PM10-Immissionsverteilung, die sich nach den Berechnungen einstellt, wenn in Deutschland alle anthropogenen Emissionen Null wären. Die PM10-Konzentrationen sinken ohne die deutschen Emissionen in den zentralen und südlichen Regionen Deutschlands bis auf circa $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab, in den westlichen und östlichen Randgebieten werden noch $10\text{-}19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht. An den Küsten überlagern sich die Beiträge der Seesalzaerosole zum PM10 mit den Beiträgen aus dem Ferntransport. Der Ferntransport über die Landesgrenzen ist im Westen höher als im Osten, da im Jahresmittel die Westwindwetterlagen überwiegen. Der Beitrag der deutschen Emissionen zu den Immissionen der Referenz 2005 kann aus Abbildung 4-3 (unten) abgeleitet werden. Danach können insbesondere in den hoch belasteten Ballungsgebieten deutlich mehr als 50% der PM10-Konzentrationen auf den Beitrag der deutschen Emissionen zurückgeführt werden. In den grenznahen Gebieten Deutschlands überwiegt der Beitrag des Ferntransports. Im Mittel über Deutschland können knapp unter 50% der PM10-Konzentrationen den deutschen Emissionen zugeschrieben werden. Die Abbildung 4-4 zeigt den absoluten Beitrag der deutschen Emissionen zu den PM10-Jahresmittelwerten der Referenz 2020. In den Ballungsräumen können danach zwischen circa 10 bis über $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ den deutschen Emissionen zugeordnet werden.

Die Abbildung 4-5 zeigt noch einmal das bevölkerungsgewichtete PM10-Jahresmittel für die 6 Auswerteklassen sowie das dazugehörige maximale Minderungspotenzial (-100% der deutschen Emissionen). Danach beträgt der mittlere Beitrag der deutschen Emissionen zu den PM10-Jahresmittelwerten 2005 in den Ballungsräumen circa $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in ländlichen Regionen circa $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dies entspricht nach Abbildung 4-6 relativen mittleren Beiträgen von 49 % (ländliche Regionen) bis 63 % (Ballungsräume) zu den PM10-Jahresmittelwerten der Referenz 2005.

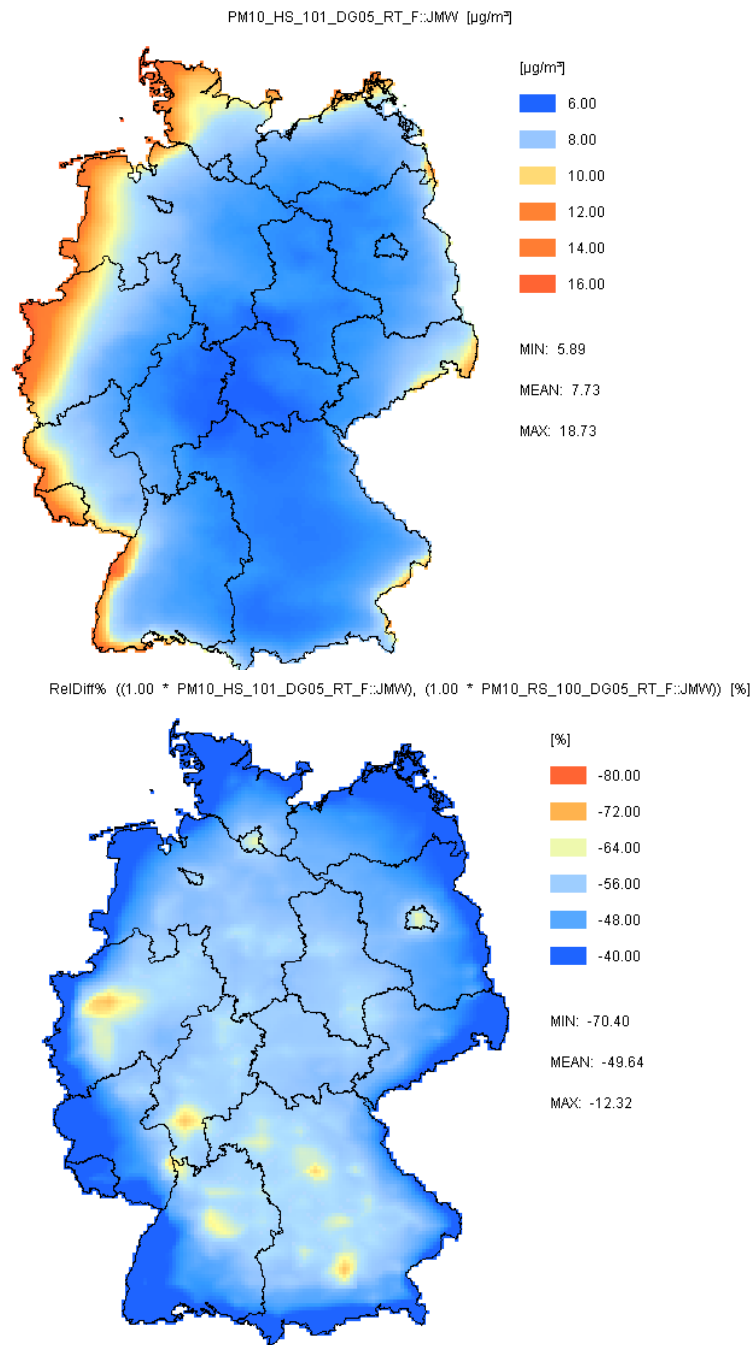


Abbildung 4-3 PM10-Jahresmittelwerte 2005 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Deutschland ohne die deutschen Emissionen (oben). Unten: Relative Abnahmen der PM10-Jahresmittelwerte (%) der Referenz 2005 durch das Nullsetzen der deutschen anthropogenen Emissionen. MIN, MEAN und MAX geben die niedrigste, mittlere und höchste Konzentration (oben) bzw. den Prozentbereich der Abnahmen (MIN und MAX) sowie die mittlere Abnahme (MEAN) in Deutschland an.

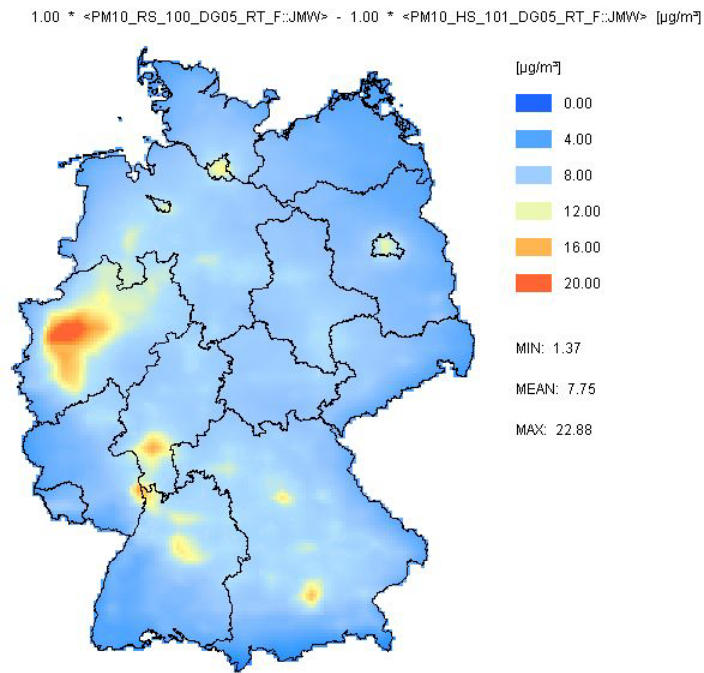


Abbildung 4-4 Beitrag der deutschen Emissionen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ zu den PM10-Jahresmittelwerten der Referenz 2005.

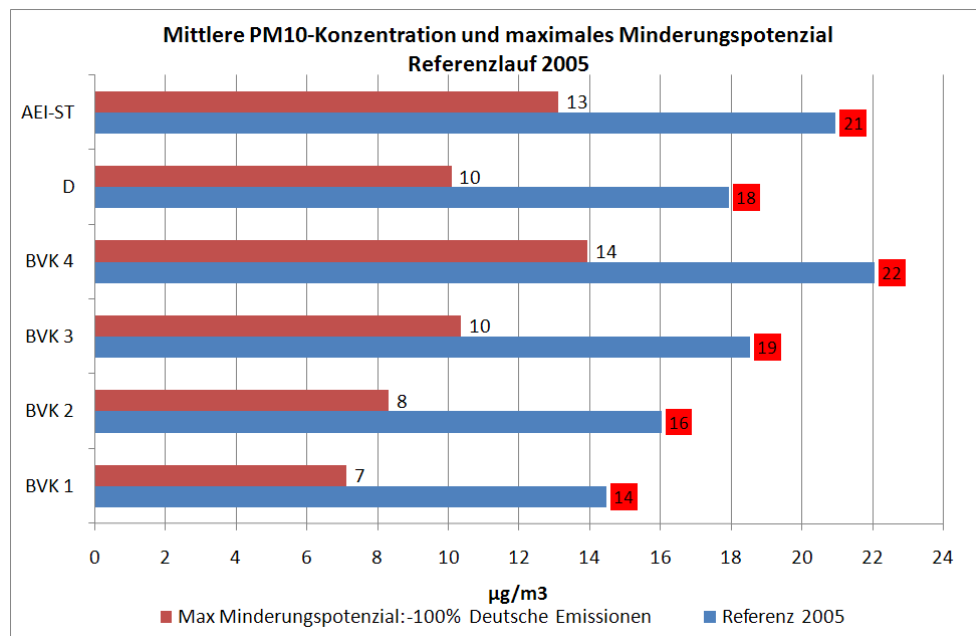


Abbildung 4-5 Bevölkerungsgewichtete PM10-Konzentrationen der Referenz 2005 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (blauer Balken). Maximales bevölkerungsgewichtetes Minderungspotenzial der deutschen Emissionen (brauner Balken). Modellgebiet „Deutschland grob“.

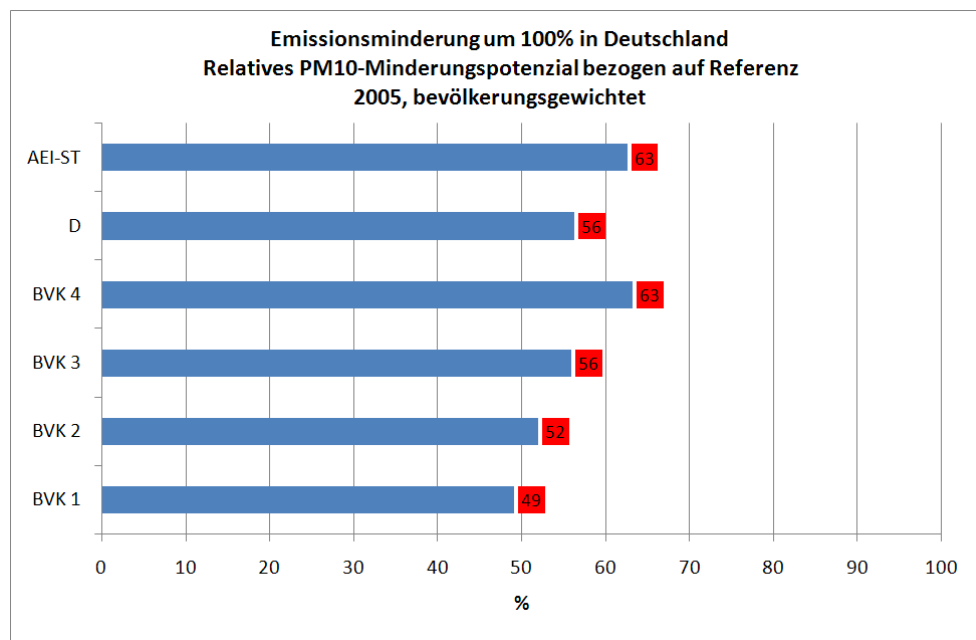


Abbildung 4-6 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) der deutschen Emissionen bezogen auf die Referenz 2005 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Modellgebiet „Deutschland grob“.

4.2.2 Minderung der Emissionen pro Stoff

In der ersten Serie von hypothetischen Minderungsszenarien wurden die Emissionen jeweils pro Stoff in allen Verursachergruppen um 100% vermindert. Die Abbildung 4-7 zeigt das bevölkerungsgewichtete PM10-Minderungspotenzial jedes Stoffes für die Bevölkerungsklasse 1 (ländliche Regionen) und die Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsräume) relativ zum maximal möglichen Minderungspotenzial (-100% aller deutschen Emissionen). In Abbildung 4-8 sind die dazugehörigen absoluten PM10-Minderungspotenziale zusammengestellt. In Ballungsräumen kann durch die Minderung aller Stoffe um 100% im Mittel eine Minderung der PM10-Konzentrationen um knapp $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht werden. Circa 2/3 dieses Potenzial wird erreicht, wenn man ausschließlich die direkten PM10-Emissionen um 100% mindern würde. In ländlichen Regionen tragen die deutschen Emissionen im Mittel etwas mehr als $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu der PM10-Belastung bei. Im Gegensatz zu den Ballungsräumen wird der Hauptteil dieses PM10-Minderungspotenzials aber nicht durch die direkten PM10-Emissionen sondern durch die gasförmigen Vorläuferemissionen über die sekundäre Aerosolbildung gestellt. Mehr als 60% des ländlichen PM10-Bildungspotenzials kann nach den Berechnungen dem Beitrag der Vorläuferemissionen von Ammoniak, NO_x , SO_2 und den Kohlenwasserstoffen (NMHC) zugeschrieben werden.

In Ballungsräumen sind also die primären PM10-Emissionen für circa 2/3, in ländlichen Regionen nur für circa 1/3 für die von den deutschen Emissionen verursachten PM10-Immissionen verantwortlich. Die Summe der gasförmigen Vorläuferemissionen, die über komplexe physikalisch/chemische Prozesse zur PM10-Bildung beitragen, stellt in ländlichen Regionen circa 2/3, in Ballungsräumen dagegen nur circa 1/3 des PM10-Bildungspotenzials, wobei der größte Einzelbeitrag den NH_3 -Emissionen der Landwirtschaft zugeordnet werden kann. Die Rangfolge des relativen stoffbezogenen PM10-Minderungspotenzials ist also unterschiedlich zwischen Land und Stadt.

Aus Abbildung 4-7 wird auch ersichtlich, dass die Beiträge der Vorläuferemissionen zum PM10-Minderungspotenzial einer starken Nicht-Linearität unterliegen. In ländlichen Regionen beträgt der Beitrag der Summe der Vorläuferemissionen zum gesamten PM10-Bildungspotenzial 62%. Betrachtet man nur NH_3 , sind es 53%. Die NO_x -, SO_2 - und die Kohlenwasserstoffemissionen zusammen stellen dagegen 37% des PM10-Bildungspotenzials. Die Einzelbeiträge können also deshalb nicht einfach addiert werden und ergeben in der Summe auch keine 100%.

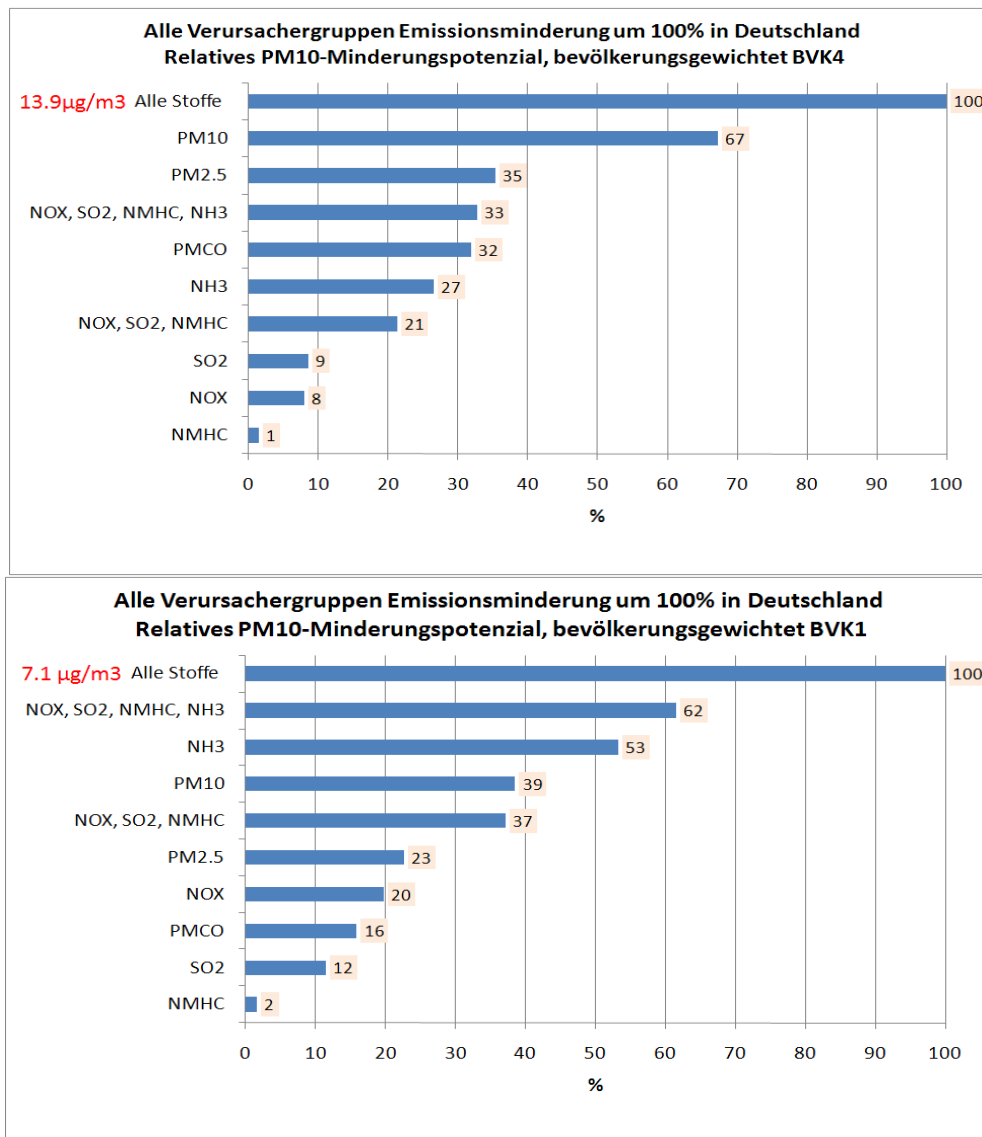


Abbildung 4-7 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1) bezogen auf das Potenzial des Szenarios „keine deutschen anthropogenen Emissionen“, siehe Kap. 4.2. Minderung der Emissionen in Deutschland um 100% pro angegebenen Stoff bzw. angegebener Stoffkombination. Gerundet auf volle Prozentangaben. Die Angabe in µg/m³ ist der absolute Beitrag der Emissionen aller Stoffe in Deutschland zum PM10-Minderungspotenzial (Alle Stoffe).

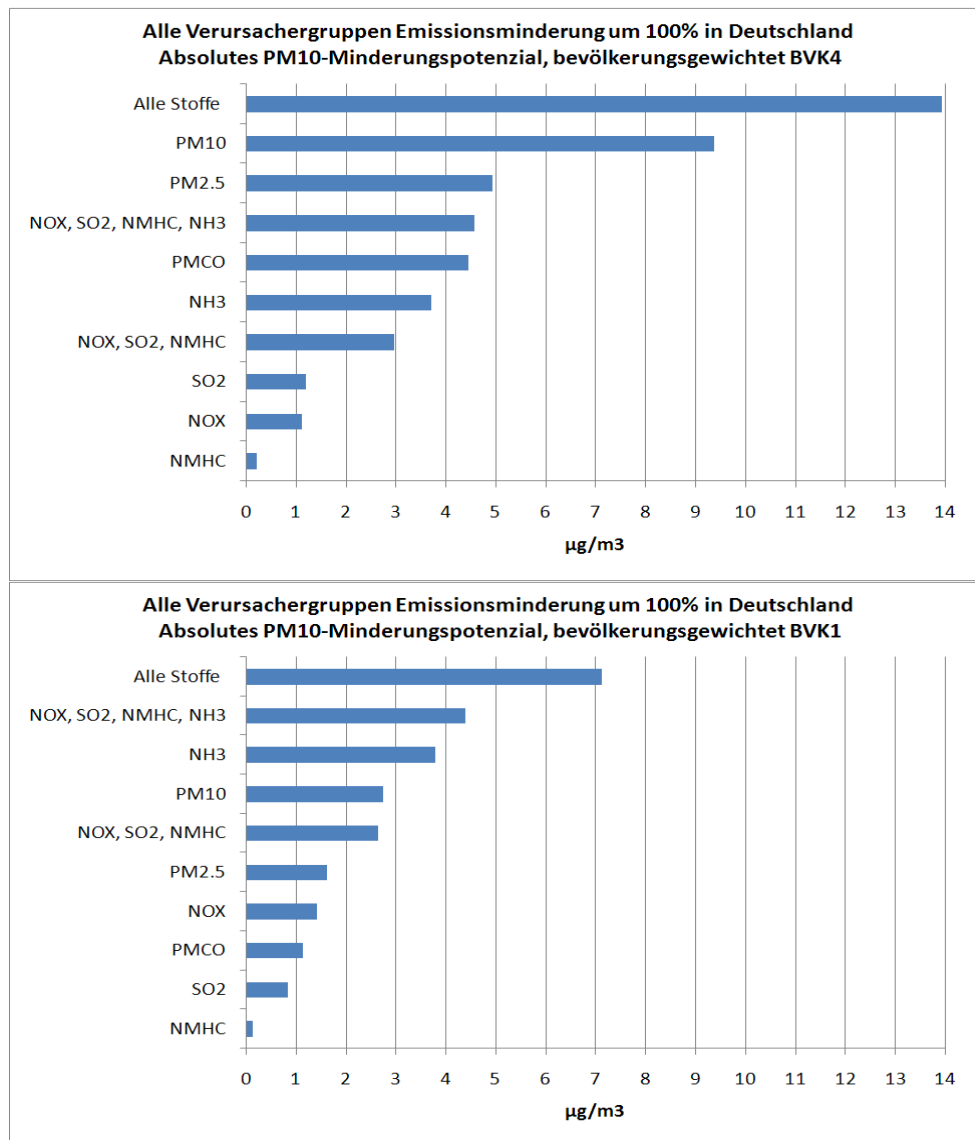


Abbildung 4-8 Absolutes PM10-Minderungspotenzial in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1). Minderung der Emissionen in Deutschland um 100% pro angegebenen Stoff bzw. angegebener Stoffkombination.

4.2.3 Minderung der Emissionen pro Verursacherguppe

In der zweiten Serie von hypothetischen Minderungsszenarien wurden alle Emissionen jeweils einer Verursacherguppe um 100% vermindert. Die Abbildung 4-9 zeigt das bevölkerungsgewichtete PM10-Minderungspotenzial jeder Verursacherguppe für die Bevölkerungsklasse 1 (ländliche Regionen) und die Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsräume) relativ zu dem maximal möglichen Minderungspotenzial (-100% aller deutschen Emissionen). In Abbildung 4-10 sind die absoluten PM10-Minderungspotenziale zusammengestellt. In Ballungsräumen kann durch die Minderung der Emissionen aller Verursacherguppen (bzw. aller Stoffe, siehe Kap. 4.2.3) um 100% im Mittel eine Minderung der PM10-Konzentrationen um knapp $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht werden. In den Ballungsräumen trägt die Summe der industriellen Emissionen (hier SNAP-Kategorie 1, 3, 4, 5 und 9) mit 37% am meisten zum PM10-Bildungspotenzial bei. An zweiter Stelle folgen die Gesamtemissionen des Straßenverkehrs (30%), dann die Emissionen der Landwirtschaft (23%). In ländlichen Regionen liefern die Emissionen der Landwirtschaft (hauptsächlich NH_3 -Emissionen) mit 55% den größten Beitrag zum PM10-Bildungspotenzial. Danach folgen Industrie (29%) und der Straßenverkehr (24%). Es sei auch hier noch einmal angemerkt, dass sich die Prozentangaben in Abbildung 4-9 (und auch den folgenden Abbildungen) nicht zu 100% ergänzen, da zum Einen verschiedene Verursacherguppen gesamt und in Untermengen dargestellt sind (z.B. die industriellen Gruppen) und zum Anderen die Nicht-Linearitäten im Bildungsablauf der sekundären Aerosole keine direkte Addition der Einzelbeiträge erlauben.

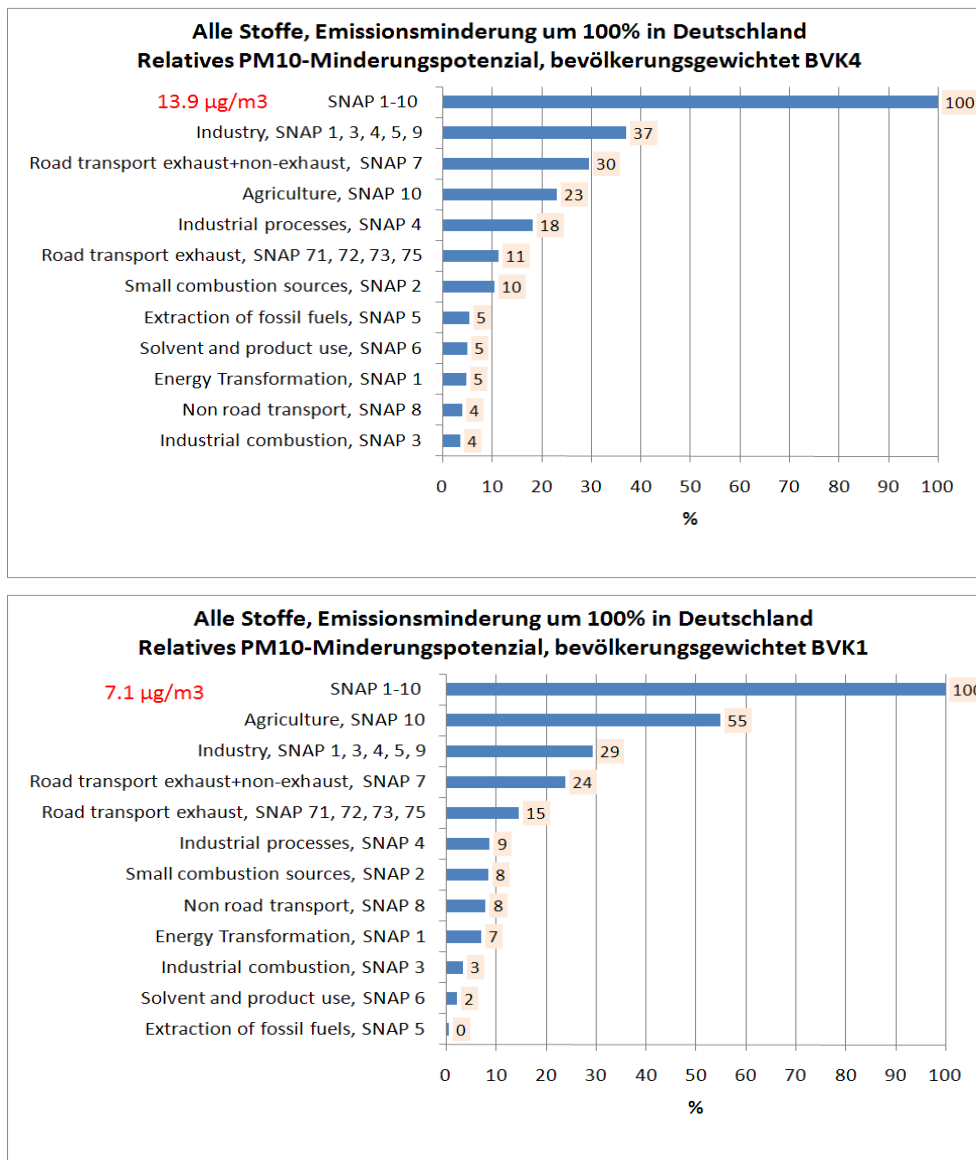


Abbildung 4-9 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1) bezogen auf das Potenzial des Szenarios „keine deutschen anthropogenen Emissionen“, siehe Kap. 4.2. Minderung aller Emissionen der angegebenen Verursachergruppe in Deutschland um 100%. Gerundet auf volle Prozentangaben. Die Angabe in µg/m³ ist der absolute Beitrag der Emissionen aller Verursachergruppen in Deutschland zum PM10-Minderungspotenzial (SNAP 1-10).

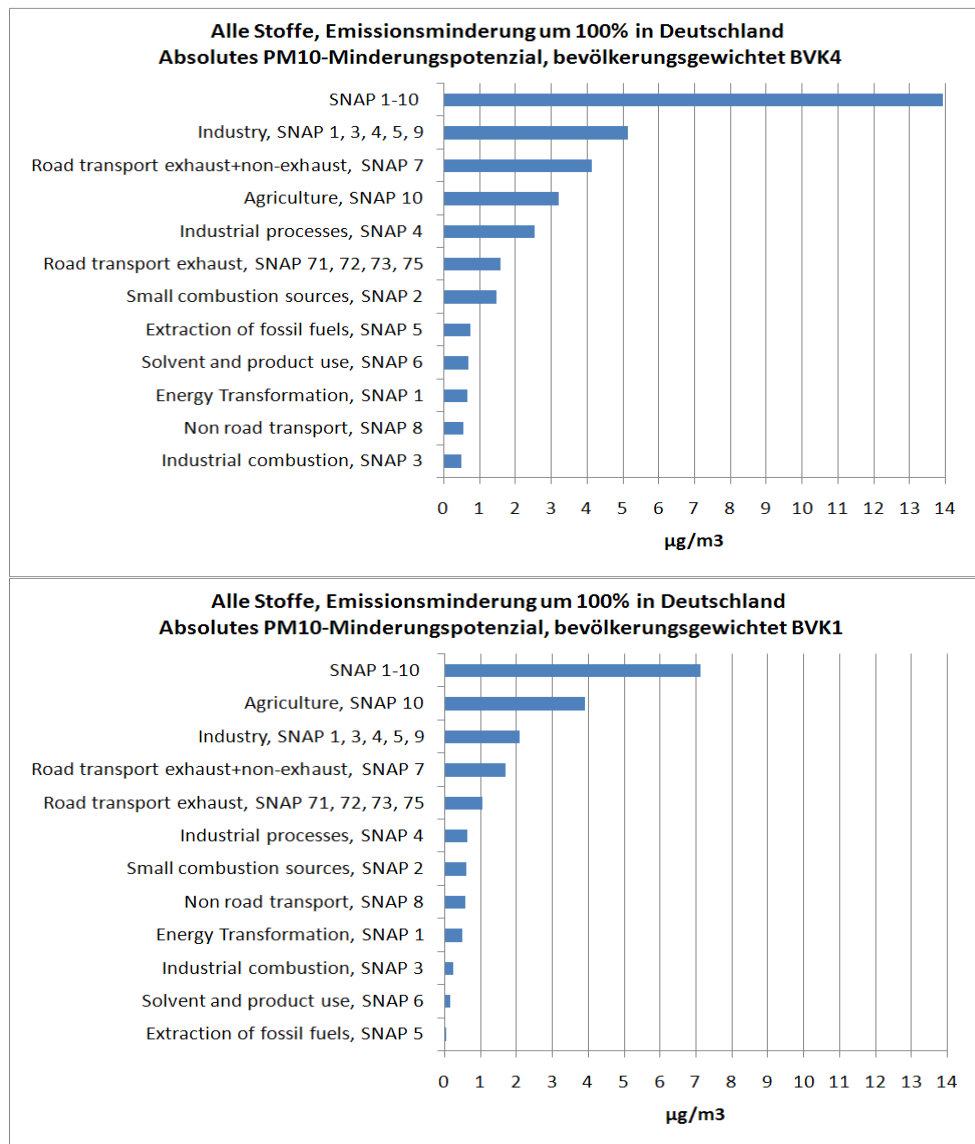


Abbildung 4-10 Absolutes PM10-Minderungspotenzial in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1). Minderung aller Emissionen der angegebenen Verursachergruppe in Deutschland um 100%.

4.2.4 Minderung der Emissionen pro Stoff und Verursachergruppe

In dieser Serie von hypothetischen Szenarien wurde jeweils nur ein Stoff pro Verursachergruppe um 100% gemindert. Die Abbildung 4-11 zeigt dazu den relativen Beitrag, die Abbildung 4-12 den absoluten Beitrag der PM10-Emissionen der einzelnen Verursachergruppen zum gesamten immissionsseitigen PM10-Minderungspotenzial. In den Ballungsräumen tragen die PM10-Emissionen aller Verursachergruppen gemittelt $9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zu den PM10-Jahresmittelwerten der Basissimulation bei. Dies entspricht etwa 2/3 des gesamten PM10-Minderungspotenzials aller deutschen Emissionen ($13.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siehe auch Abbildung 4-7). Die industriellen PM10-Emissionen und die PM10-Emissionen des Kfz-Verkehrs stellen je 37% des Potenzials von $9.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Der Hauptanteil des PM10-Potenzials der industriellen PM10-Emissionen stammt aus den Prozessemissionen (SNAP 4). Die PM10-Emissionen der Kleinf Feuerungsanlagen tragen 12% zum PM10-Minderungspotenzial der direkten PM10-Emissionen bei, die PM10-Auspuffemissionen 10%. Der Beitrag der PM10-Emissionen der Landwirtschaft zum PM10-Minderungspotenzial ist gering.

In den ländlichen Regionen tragen die PM10-Emissionen aller Verursachergruppen im Mittel $2.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zum PM10-Jahresmittelwert bei. Bezogen auf das Minderungspotenzial aller deutschen Emissionen ($7.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$, siehe auch Abbildung 4-7) entspricht dies einem Anteil von etwa 39%. Damit ist der Beitrag der direkten PM10-Emissionen zum PM10-Minderungspotenzial in ländlichen Regionen deutlich geringer als in den Ballungsräumen. Circa 1/3 des Gesamtbeitrages der direkten PM10-Emissionen stellen die PM10-Emissionen des Kfz-Verkehrs. Den 2. Rang belegen die industriellen PM10-Emissionen mit einem Anteil von 20%. Danach folgen die Landwirtschaft und die Kleinf Feuerungsanlagen mit 16% bzw. 15%.

Die Abbildung 4-13 zeigt den relativen, die Abbildung 4-14 den absoluten Beitrag der Summe der SO_2 -, NO_x - und Kohlenwasserstoffemissionen (NMVOC oder NMHC) zum PM10-Minderungspotenzial. Absolut betrachtet stellen diese Vorläuferemissionen in den Ballungsräumen circa $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oder 21%, in ländlichen Regionen circa $2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oder 37% des gesamten PM10-Bildungspotenzials von $13.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. $7.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Allerdings sind diese Anteile wegen der bereits angesprochenen Nicht-Linearitäten in dem sekundären PM10-Bildungssystem nur als Näherung zu betrachten. Sowohl in Ballungsräumen als auch in ländlichen Regionen stellen die industriellen SO_2 -, NO_x - und Kohlenwasserstoffemissionen den größten Anteil am PM10-Bildungspotenzial der Vorläuferstoffe, gefolgt von den Vorläuferemissionen des Kfz-Verkehrs.

Den nach Verursachergruppen unterteilten Beitrag der deutschen NH_3 -Emissionen zum PM10-Minderungspotenzial zeigen die Abbildung 4-15 und die Abbildung 4-16. Die NH_3 -Emissionen aller Verursachergruppen tragen in Ballungsräumen im Mittel $3.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in ländlichen Regionen $3.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ zum PM10-Jahresmittelwert der Basissimulation bei (Abbildung 4-16). Dies entspricht in Ballungsräumen einem Beitrag von circa 27%, in ländlichen Regionen einem Beitrag von mehr als 50%. Der Großteil dieses Beitrags stammt aus den NH_3 -Emissionen der Landwirtschaft (80% in Ballungsräumen, mehr als 90% in ländlichen Regionen, siehe Abbildung 4-15).

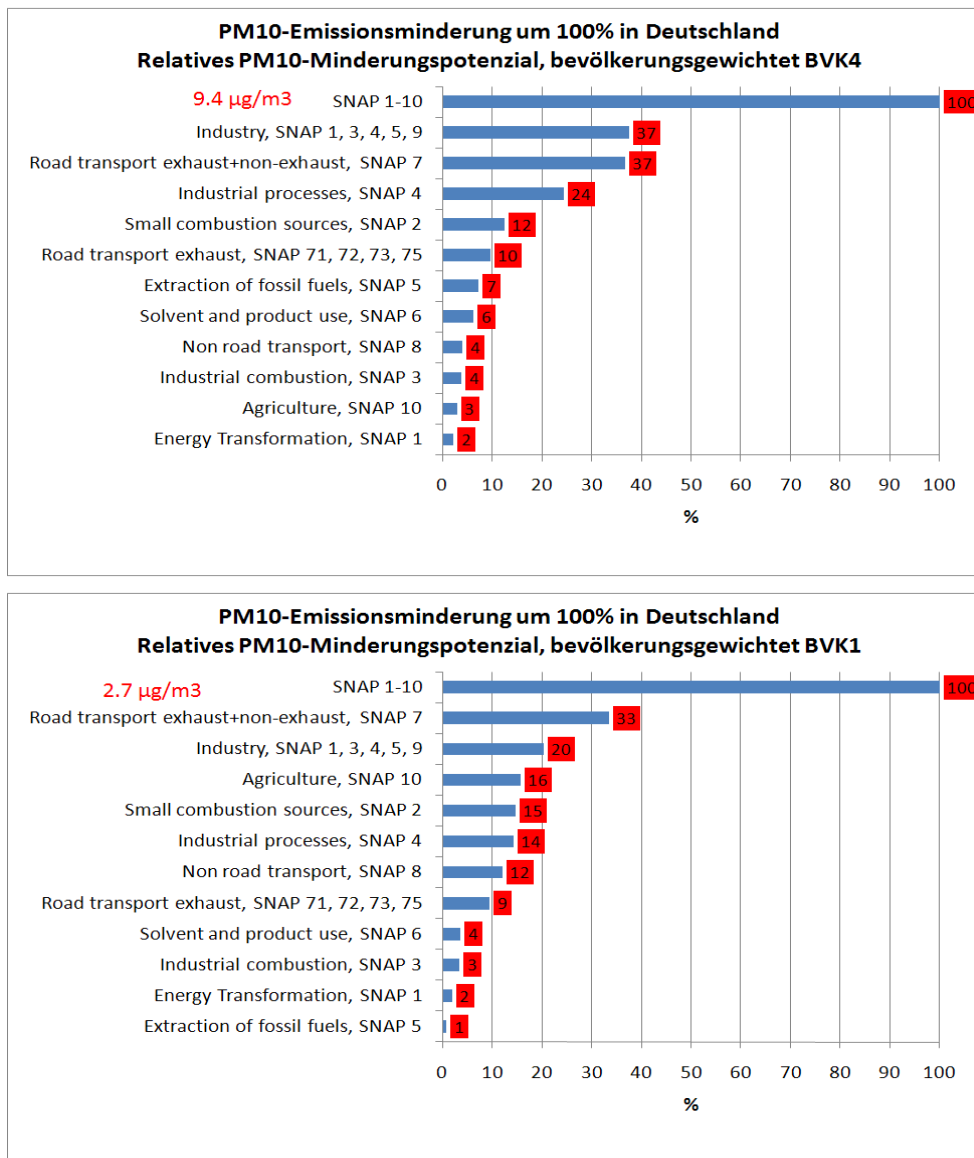


Abbildung 4-11 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1) bezogen auf das Potenzial aller deutschen PM10-Emissionen (=100%). Minderung der PM10-Emissionen der angegebenen Verursachergruppe in Deutschland um 100%. Gerundet auf volle Prozentangaben. Die Angabe in µg/m³ ist der absolute Beitrag aller PM10-Emissionen in Deutschland zum PM10-Minderungspotenzial (SNAP 1-10).

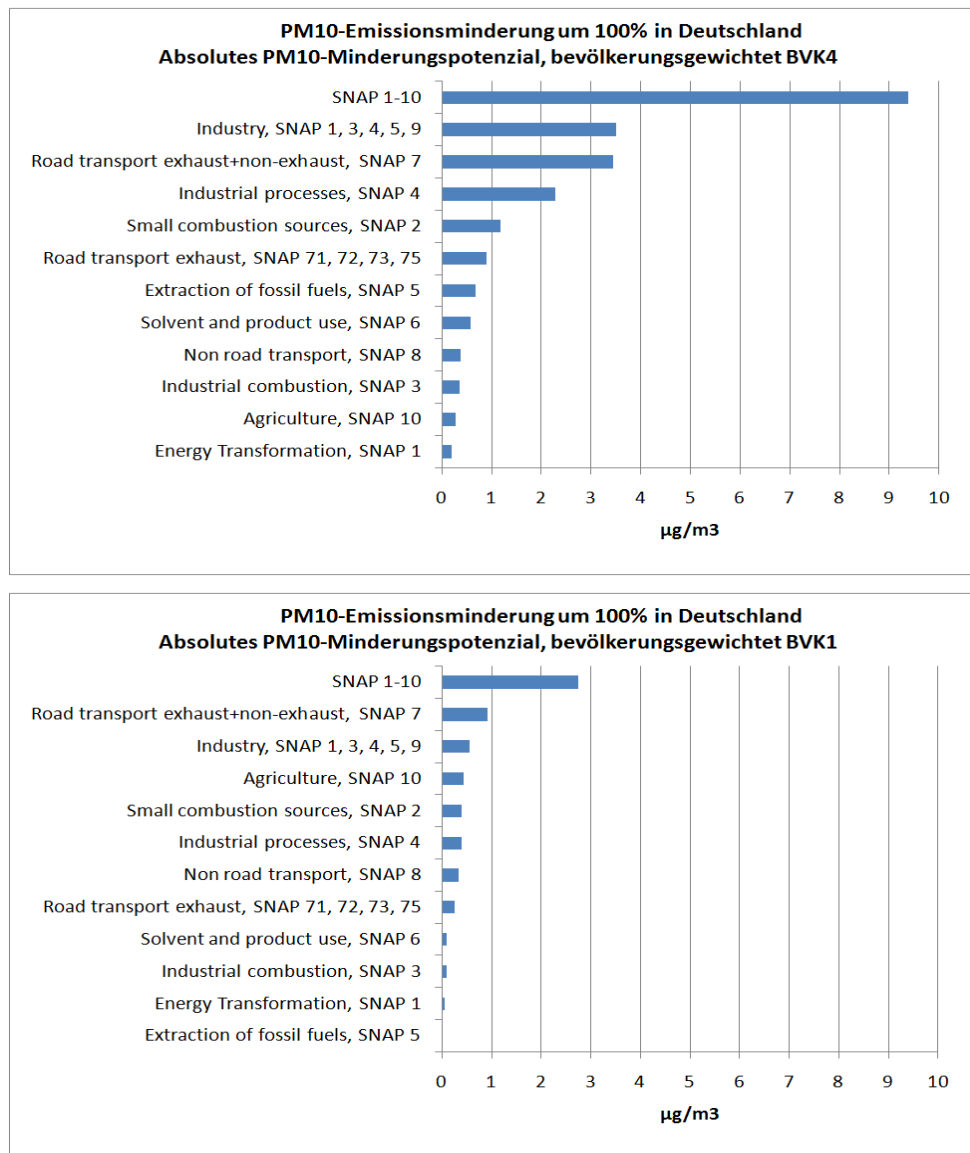


Abbildung 4-12 Absolutes PM10-Minderungspotenzial in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1). Minderung der PM10-Emissionen der angegebenen Verursachergruppen in Deutschland um 100%.

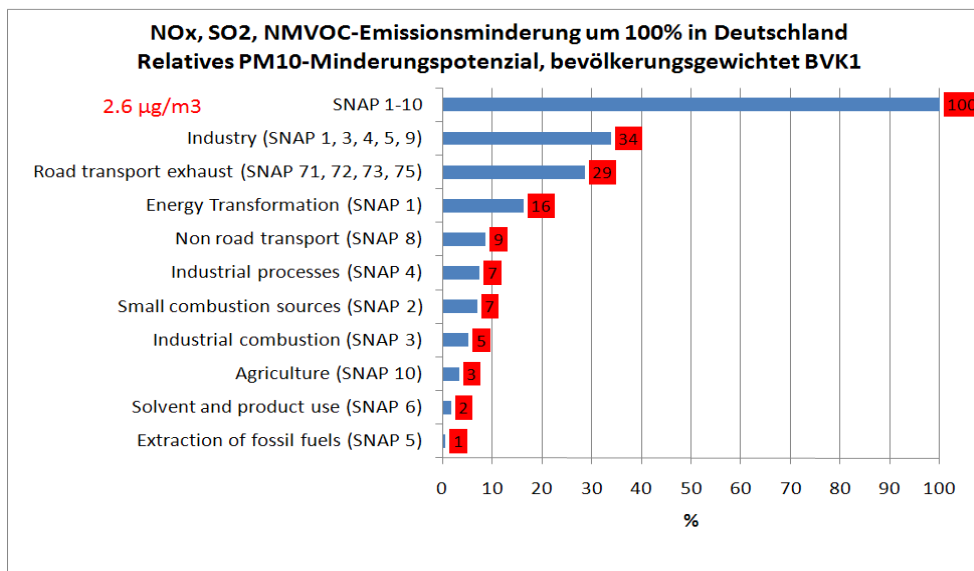
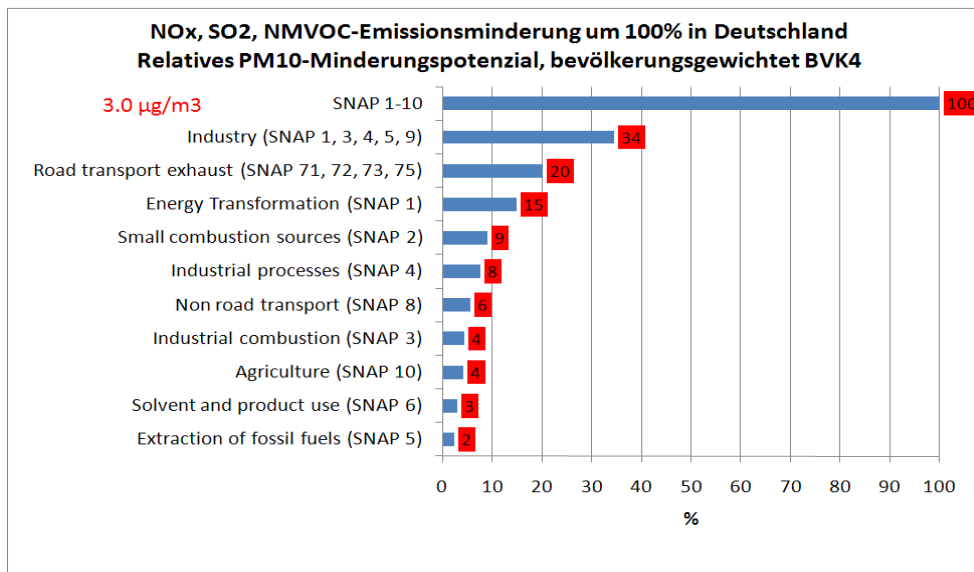


Abbildung 4-13 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1) bezogen auf das Potenzial aller deutschen NO_x-, SO₂- und Kohlenwasserstoffemissionen (NMVOC) (=100%). Minderung der Vorläufer-Emissionen NO_x, SO₂, und der Kohlenwasserstoffe der angegebenen Verursacherguppe in Deutschland um 100%. Gerundet auf volle Prozentangaben. Die Angabe in µg/m³ ist der absolute Beitrag aller NO_x-, SO₂- und NMVOC-Emissionen in Deutschland zum PM10-Minderungspotenzial (SNAP 1-10).

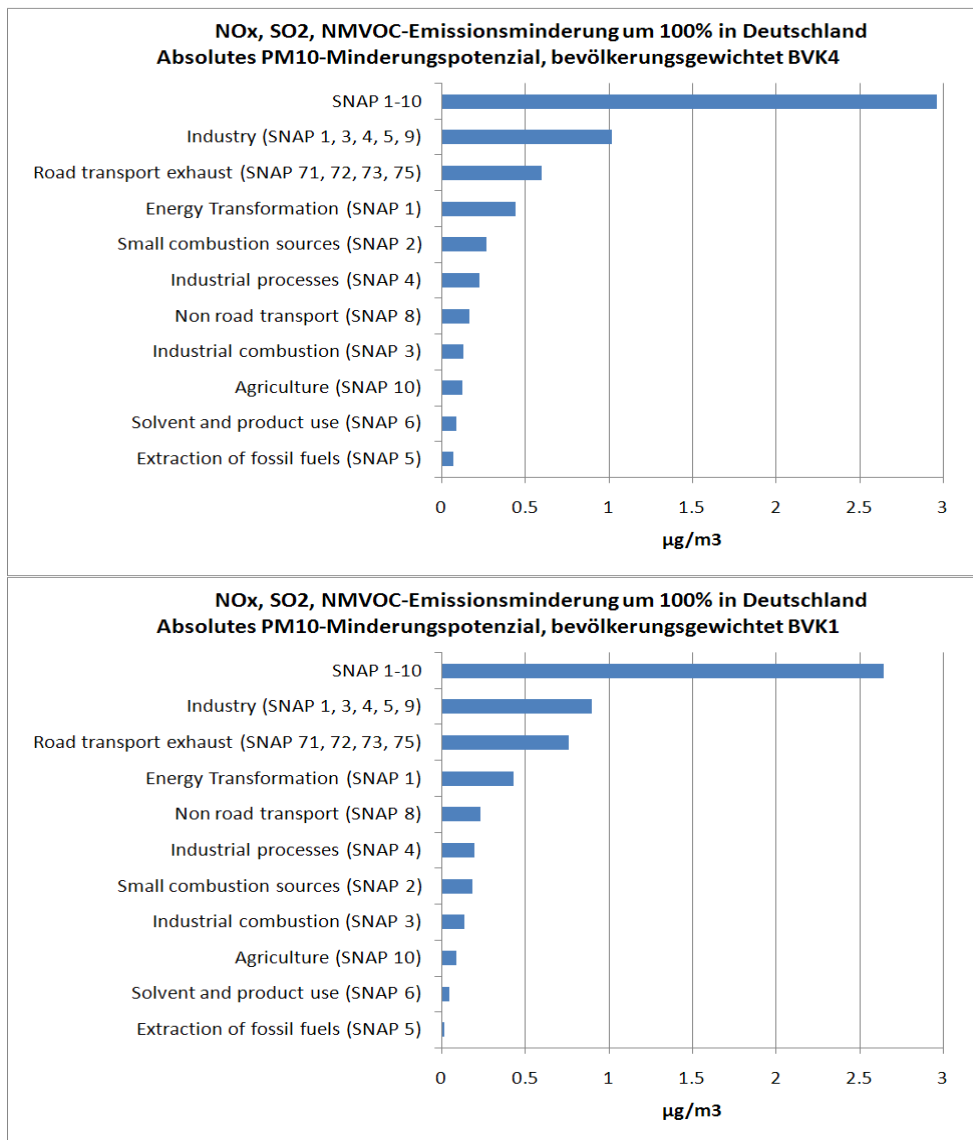


Abbildung 4-14 Absolutes PM10-Minderungspotenzial in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1). Minderung der Vorläufer-Emissionen NO_x, SO₂ und der Kohlenwasserstoffe (NMVOC) der angegebenen Verursachergruppe in Deutschland um 100%.

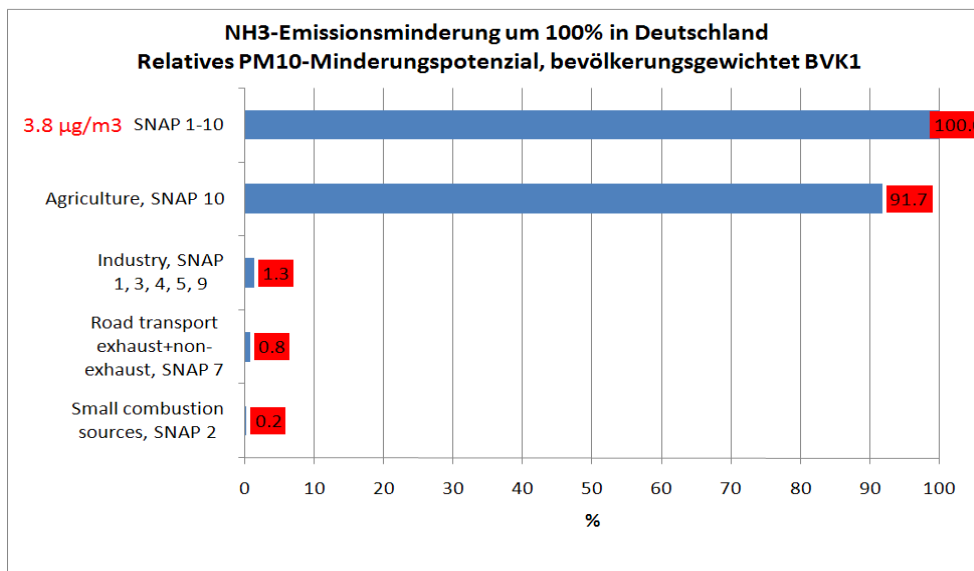
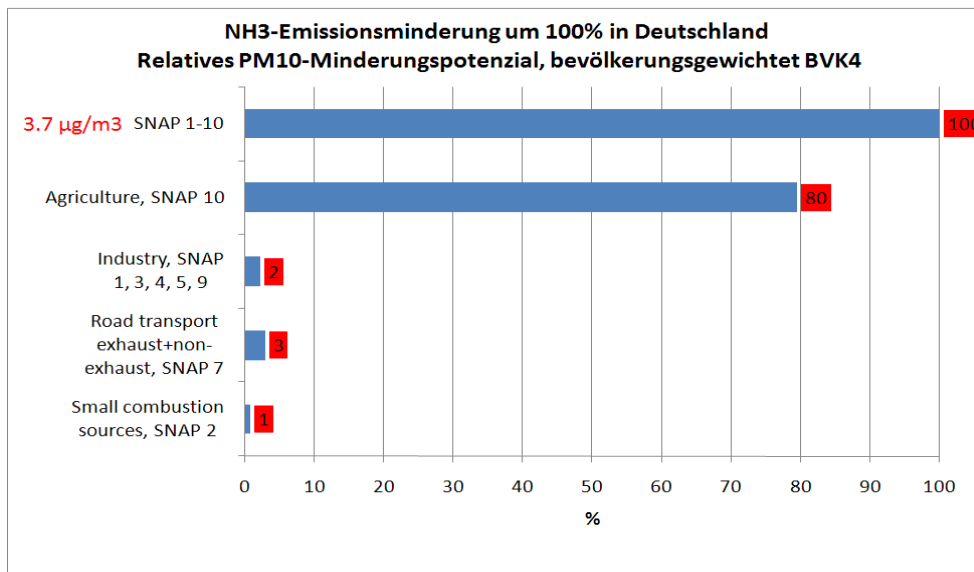


Abbildung 4-15 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1) bezogen auf das Potenzial aller deutschen NH₃-Emissionen (=100%). Minderung der Vorläufer-Emissionen NH₃ der angegebenen Verursachergruppe in Deutschland um 100%. Die Angabe in µg/m³ ist der absolute Beitrag aller NH₃-Emissionen in Deutschland zum PM10-Minderungspotenzial (SNAP 1-10).

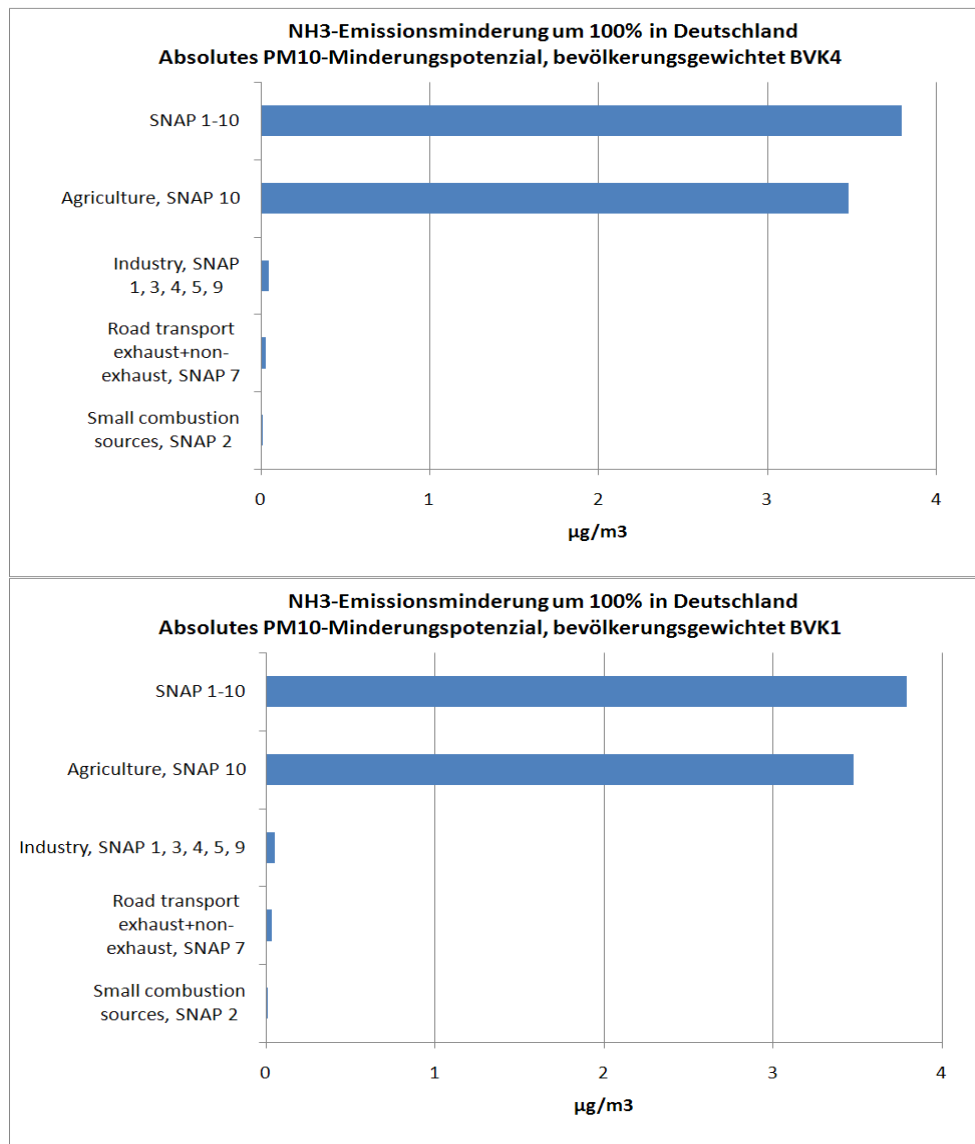


Abbildung 4-16 Absolutes PM10-Minderungspotenzial in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1). Minderung der Vorläufer-Emissionen NH_3 der angegebenen Verursachergruppen in Deutschland um 100%.

4.3 Minderung der Emissionen um 25%

4.3.1 Minderung aller Emissionen

Die Minderung der Emissionen um 100% diene zur Abschätzung des maximal möglichen PM10-Minderungspotenzials. Eine realistischere Minderungsrate ist 25%. Daher wurden die im letzten Kapitel beschriebenen Szenarienläufe für eine Minderung der deutschen anthropogenen Emissionen um 25% wiederholt. Die Abbildung 4-17 zeigt die PM10-Immissionsverteilung, die sich nach den Berechnungen einstellt, wenn in Deutschland alle anthropogenen Emissionen auf 75% der Referenzemissionen abgesenkt würden. Bezogen auf die Referenzsimulation (Abbildung 4-1) bewirkt die Absenkung der Emissionen auf 75% eine Abnahme der PM10-Jahresmittelwerte zwischen 2 und 17% mit den höchsten Abnahmen in den Ballungsgebieten. Absolut betrachtet entspricht dies einem PM10-Minderungspotenzial zwischen 0.3 und 5.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Abbildung 4-18).

Die Abbildung 4-19 zeigt das bevölkerungsgewichtete PM10-Jahresmittel für die 6 Auswerteklassen sowie die dazugehörigen Minderungspotenziale für eine Minderung der deutschen Emissionen um 100% und um 25%. Der mittlere Beitrag aller deutschen Emissionen (-100%) zu den PM10-Jahresmittelwerten 2005 beträgt in den Ballungsräumen 13.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, in ländlichen Regionen 7.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Für eine Minderung der Emissionen um nur 25% reduzieren sich diese mittleren Minderungspotenziale auf 3.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ bzw. 1.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Die Relationen zwischen der 25%igen und der 100%igen Emissionsminderung (1:4) und die Relationen der daraus resultierenden PM10-Immissionsminderungen (1:4.7 für BVK 1 und 1:4.3 für BVK 4) sind nicht identisch, was auf die Nicht-Linearitäten im Bildungsmechanismus der sekundären Aerosole zurückzuführen ist. Die größere Nicht-Linearität in ländlichen Regionen ist eine Folge des im Vergleich zu Ballungsräumen höheren Anteils der sekundären Aerosole an den PM10-Konzentrationen. Den Vergleich der relativen mittleren Auswirkungen der beiden hier diskutierten Szenarien zeigt die Abbildung 4-20. Auch hier ist die Nicht-Linearität der Aerosolbildung in den Auswirkungen der unterschiedlich starken Emissionsminderungen zu erkennen.

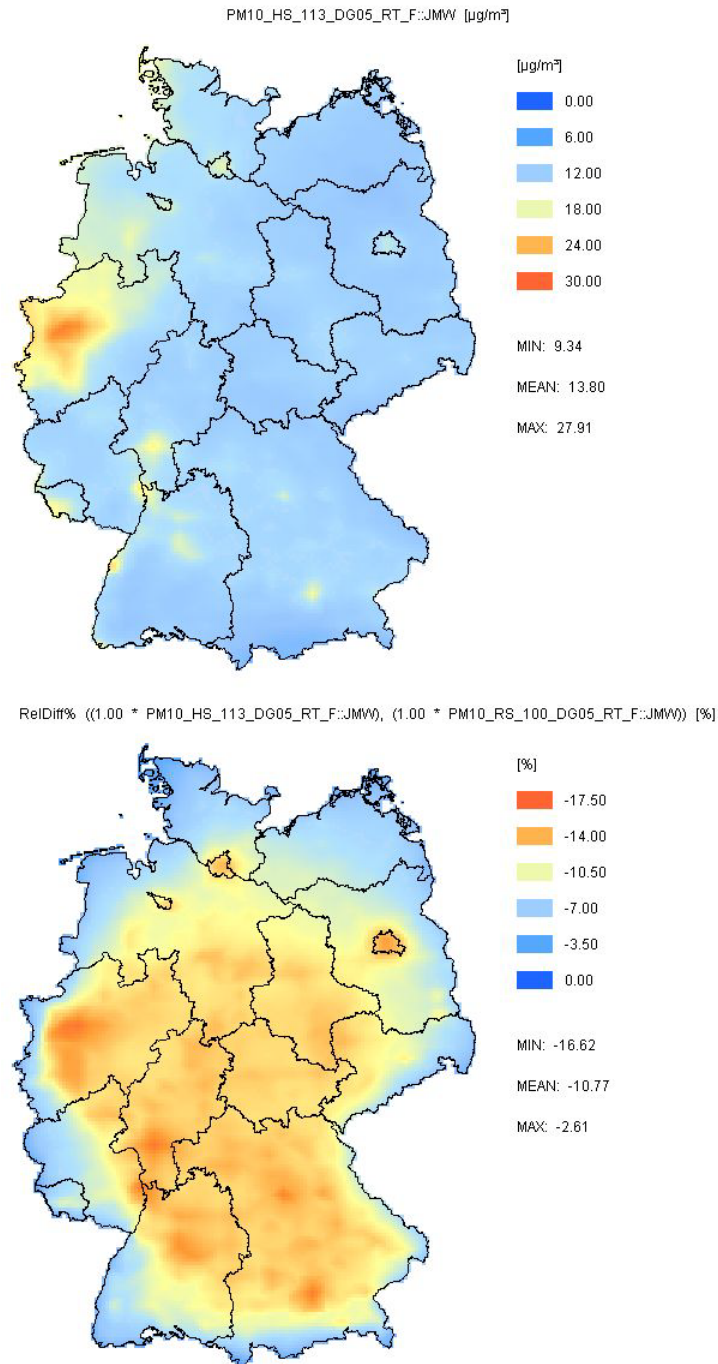


Abbildung 4-17 PM10-Jahresmittelwerte 2005 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Deutschland nach einer Absenkung der deutschen Emissionen auf 75% der Referenz 2005 (oben). Unten: Relative Abnahmen der PM10-Jahresmittelwerte (%) der Referenz 2005 durch die 25%ige Minderung der deutschen anthropogenen Emissionen. MIN, MEAN und MAX geben den Prozentbereich der Abnahmen (MIN und MAX) sowie die mittlere Abnahme (MEAN) über Deutschland an.

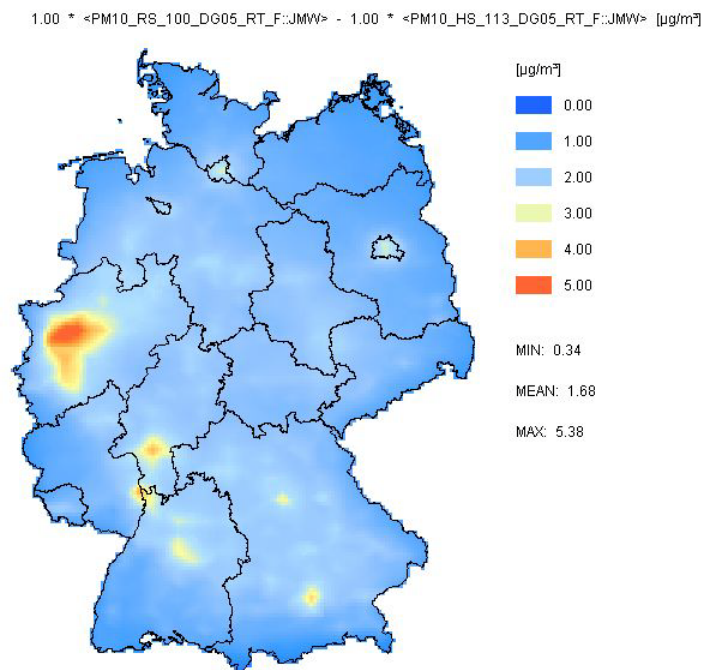


Abbildung 4-18 PM10-Minderungspotenzial ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) einer Absenkung der deutschen Emissionen auf 75% der Emissionsreferenz 2005.

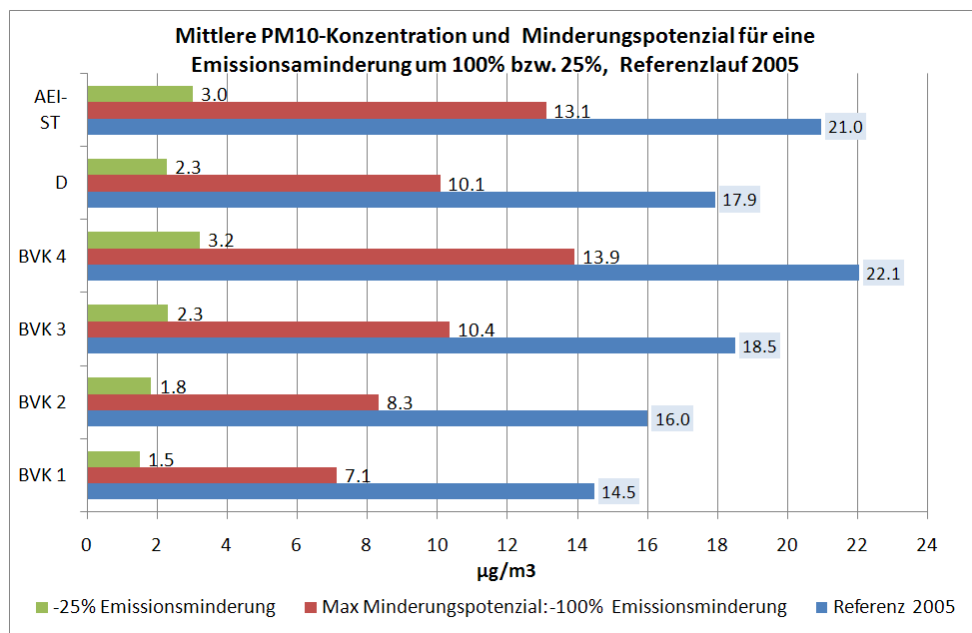


Abbildung 4-19 Bevölkerungsgewichtete PM10-Konzentrationen der Referenz 2005 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (blauer Balken). Maximales bevölkerungsgewichtetes PM10-Minderungspotenzial der deutschen Emissionen (-100% Emissionsminderung, brauner Balken) und PM10-Minderungspotenzial einer Minderung der deutschen Emissionen um 25% (grüner Balken). Modellgebiet „Deutschland groß“.

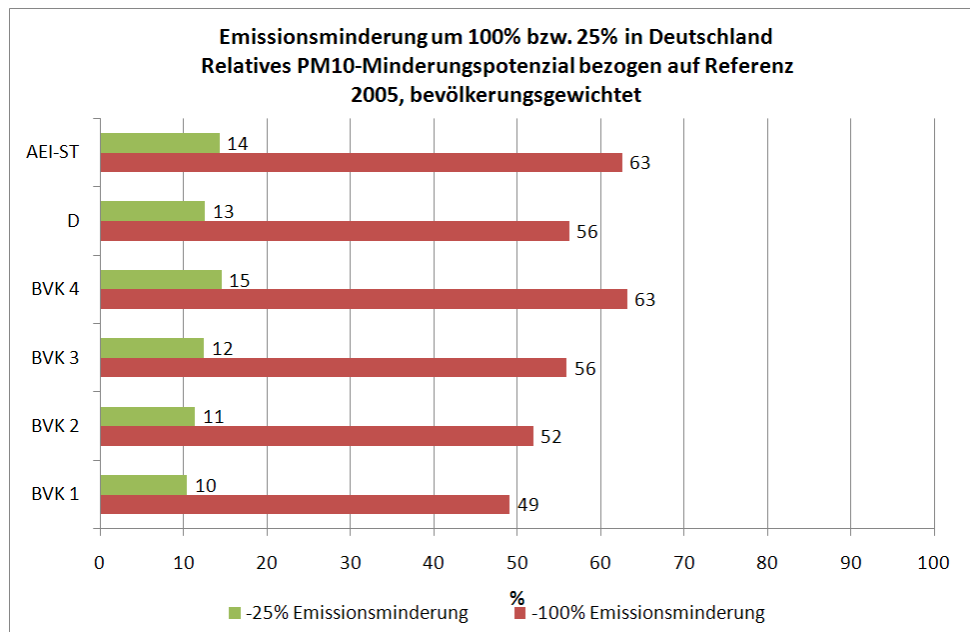


Abbildung 4-20 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) einer Minderung der deutschen Emissionen um 100% (brauner Balken) und einer Minderung um 25% (grüner Balken) bezogen auf die Referenz 2005 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Modellgebiet „Deutschland grob“.

4.3.2 Minderung der Emissionen pro Stoff

Bei dieser Serie von hypothetischen Minderungsszenarien wurden die Emissionen jeweils pro Stoff in allen Verursachergruppen um 25% vermindert. Die Abbildung 4-21 zeigt das bevölkerungsgewichtete PM10-Minderungspotenzial jedes Stoffes für die Bevölkerungsklasse 1 (ländliche Regionen) und die Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsräume) relativ zu dem gesamten Minderungspotenzial einer 25%igen Minderung der deutschen Emissionen. In Abbildung 4-22 sind die dazugehörigen absoluten PM10-Minderungspotenziale zusammengestellt. Der Vergleich von Abbildung 4-21 mit Abbildung 4-7 zeigt, dass die Anteile der direkten PM10-Emission am PM10-Minderungspotenzial bei einer 25%igen Emissionsminderung (73% in Ballungsräumen, 45% in ländlichen Regionen) höher sind als bei einer 100%igen Emissionsminderung (67% in Ballungsräumen, 39% in ländlichen Regionen). Auf der anderen Seite ist der Beitrag der gasförmigen Vorläuferstoffe, insbesondere der von NH_3 , zum PM10-Minderungspotenzial bei einer nur 25%igen Minderung deutlich geringer als bei einer 100%igen Minderung der Emissionen. Dies ist eine Folge der bereits in Kapitel 4.3.1 angesprochenen Nicht-Linearität im Bildungsmechanismus der sekundären Aerosole, die zu einem nicht-linearen Zusammenhang zwischen der geminderten Menge an NH_3 und dem daraus resultierenden PM10-Minderungspotenzial führt.

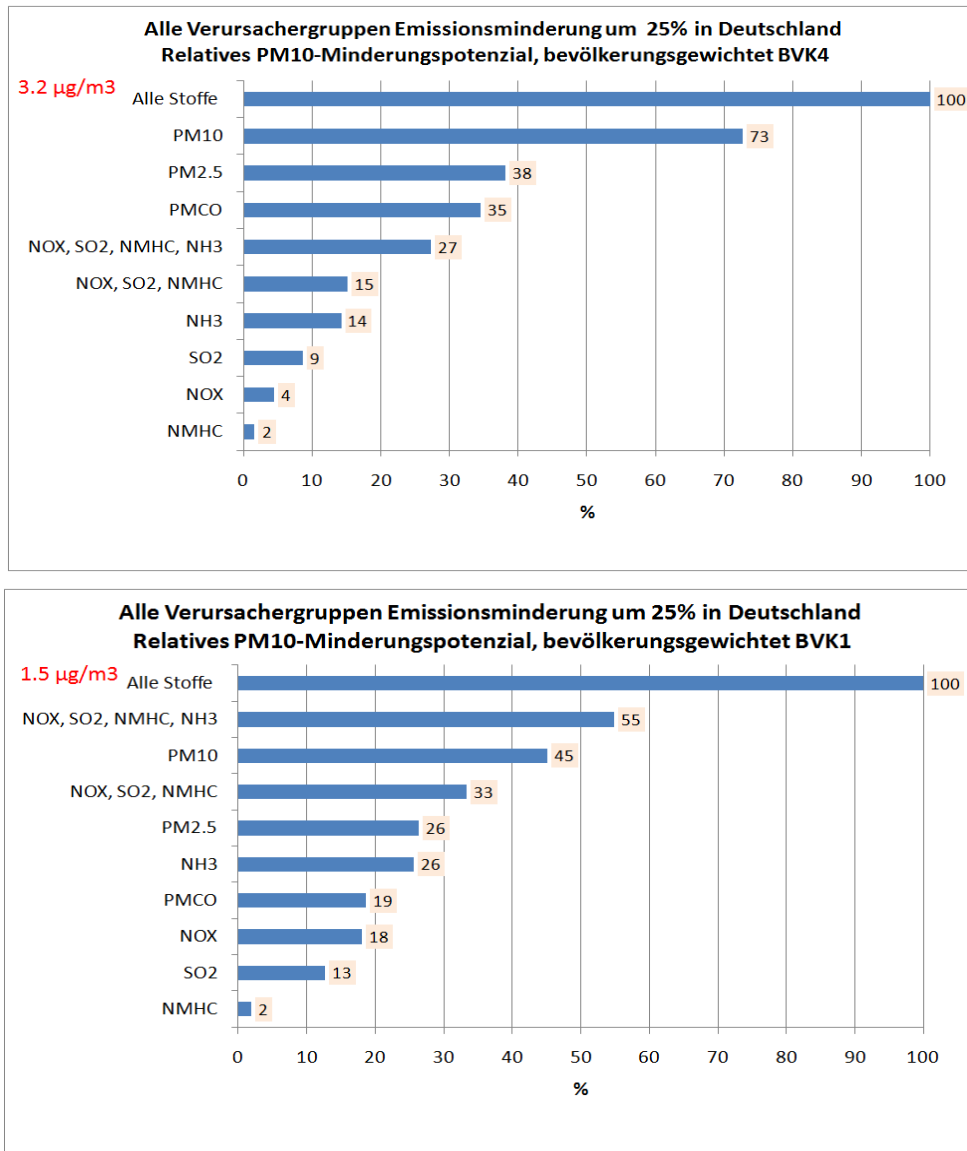


Abbildung 4-21 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1) bezogen auf das Potenzial des Szenarios „-25% aller deutschen anthropogenen Emissionen“. Minderung der Emissionen in Deutschland um 25% pro angegebenen Stoff bzw. angegebener Stoffkombination. Gerundet auf volle Prozentangaben. Die Angabe in µg/m³ ist das absolute PM10-Minderungspotenzial des Szenarios „-25% aller deutschen anthropogenen Emissionen“ (Alle Stoffe).

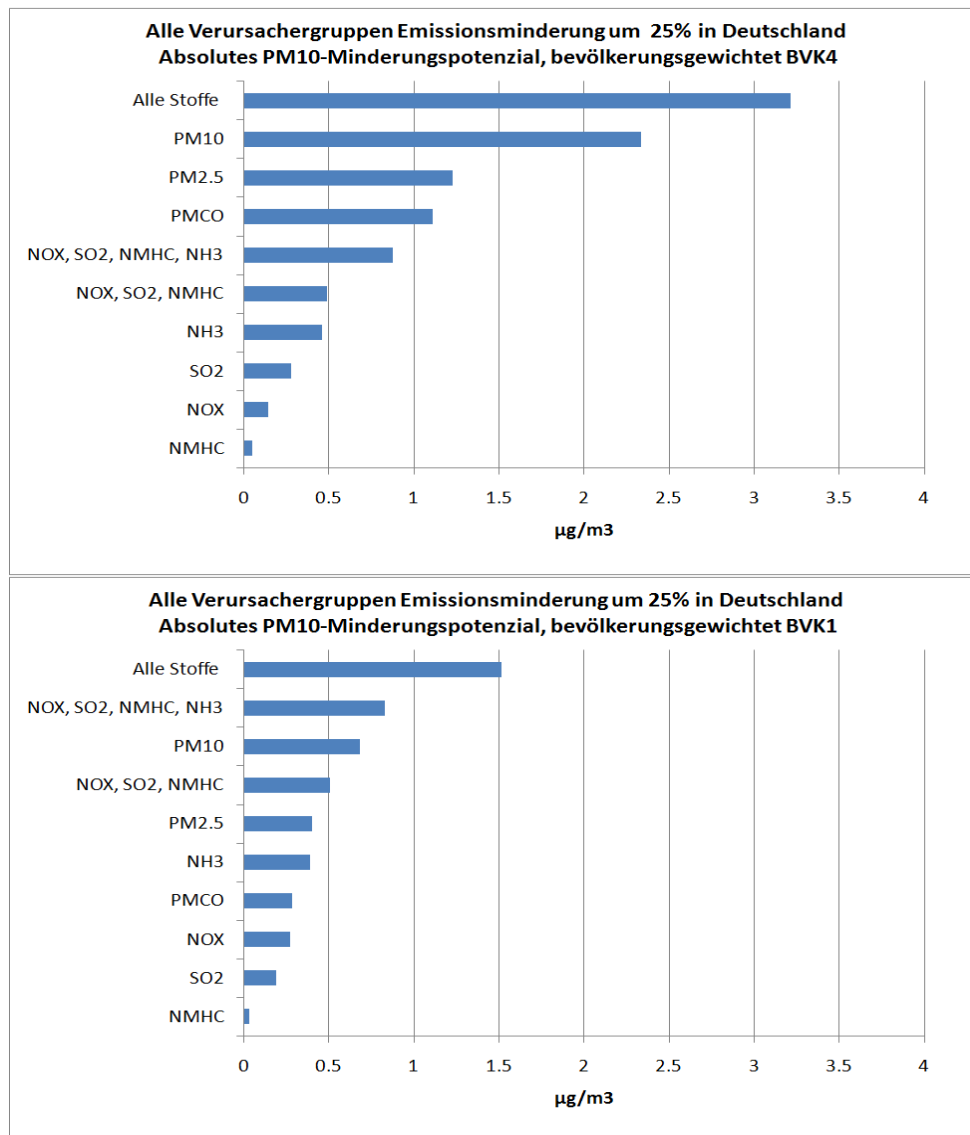


Abbildung 4-22 Absolutes PM10-Minderungspotenzial in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1). Minderung der Emissionen in Deutschland um 25% pro angegebenen Stoff bzw. angegebener Stoffkombination.

4.3.3 Minderung der Emissionen pro Verursacherguppe

In der nächsten Serie von hypothetischen Minderungsszenarien wurden alle Emissionen jeweils einer Verursacherguppe um 25% vermindert. Die Abbildung 4-23 zeigt das bevölkerungsgewichtete PM10-Minderungspotenzial jeder Verursacherguppe für die Bevölkerungsklasse 1 (ländliche Regionen) und die Bevölkerungsklasse 4 (Ballungsräume) relativ zu dem gesamten Minderungspotenzial einer 25%igen Minderung der deutschen Emissionen. In Abbildung 4-24 sind die dazugehörigen absoluten PM10-Minderungspotenziale zusammengestellt. In den Ballungsräumen stellen die Emissionen der industriellen Gruppen und des Kfz-Verkehrs wie schon bei einer 100%igen Minderung die größten Anteile am Minderungspotenzial. Die Rolle der Landwirtschaft, die bei einer 100%igen Minderung der Emissionen noch 23% des Minderungspotenzials in den Ballungsräumen stellt (Abbildung 4-9), wird bei einer nur 25%igen Minderung aber geringer (14%, siehe Abbildung 4-23). In den ländlichen Regionen liefert die Landwirtschaft auch bei einer nur 25%igen Emissionsminderung nach wie vor den höchsten Beitrag zum gesamten PM10-Minderungspotenzial, ihr Anteil ist aber deutlich geringer als bei einer 100%igen Emissionsminderung. Dies ist ein deutlicher Hinweis darauf, dass insbesondere das PM10-Minderungspotenzial der NH₃-Emissionen, die den Hauptteil der landwirtschaftlichen Emissionen stellen, in einem nicht-linearen Zusammenhang mit der NH₃-Minderungsmenge steht. Der Straßenverkehr steigt in der Rangfolge der Verursacherguppen bzgl. ihres Beitrages zum PM10-Minderungspotenzial wenn man von einer 100%igen Emissionsminderung zu der realistischeren Minderung von 25% übergeht.

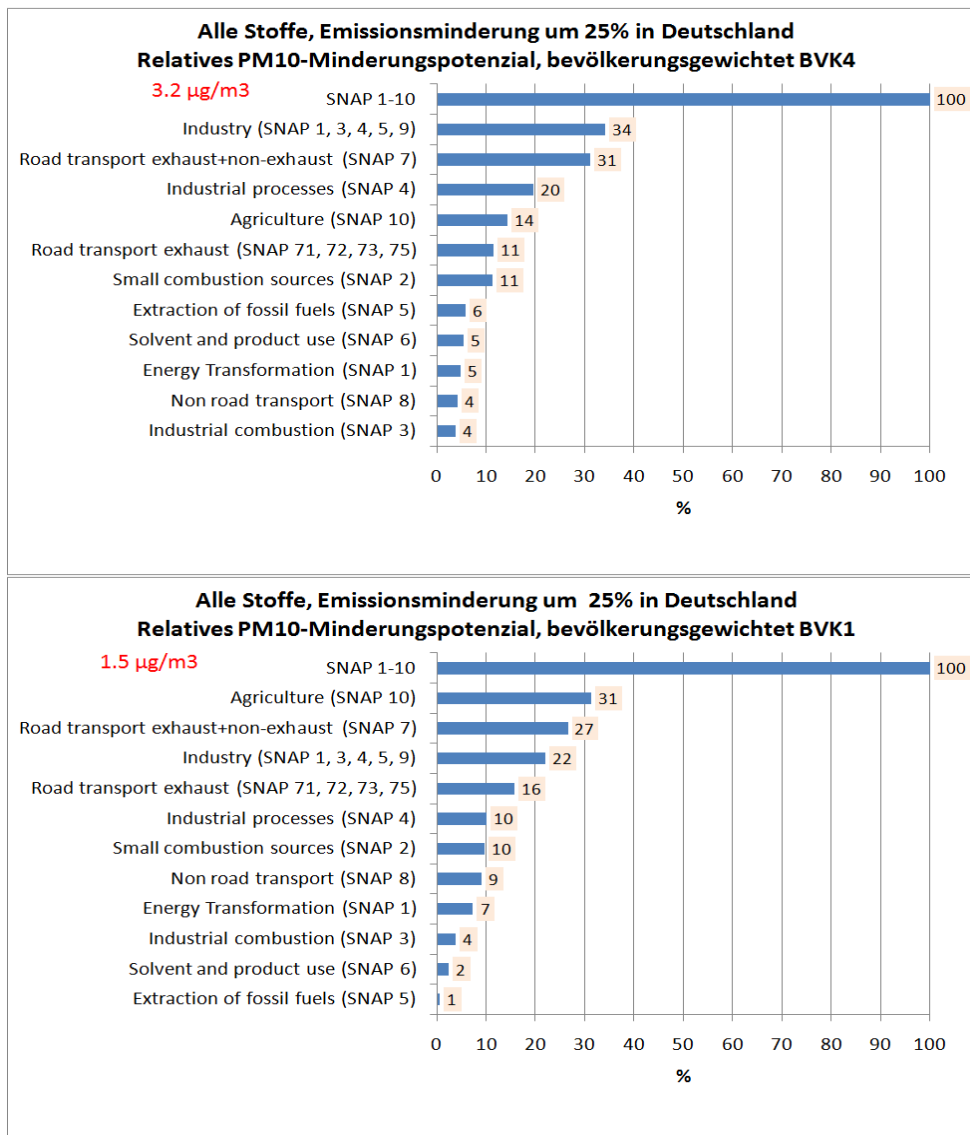


Abbildung 4-23 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1) bezogen auf das Potenzial des Szenarios „-25% aller deutschen anthropogenen Emissionen“. Minderung der Emissionen in Deutschland um 25% pro angegebener Verursachergruppe bzw. angegebener Verursachergruppenkombination. Gerundet auf volle Prozentangaben. Die Angabe in µg/m³ ist das absolute PM10-Minderungspotenzial des Szenarios „-25% aller deutschen anthropogenen Emissionen“ (SNAP 1-10).

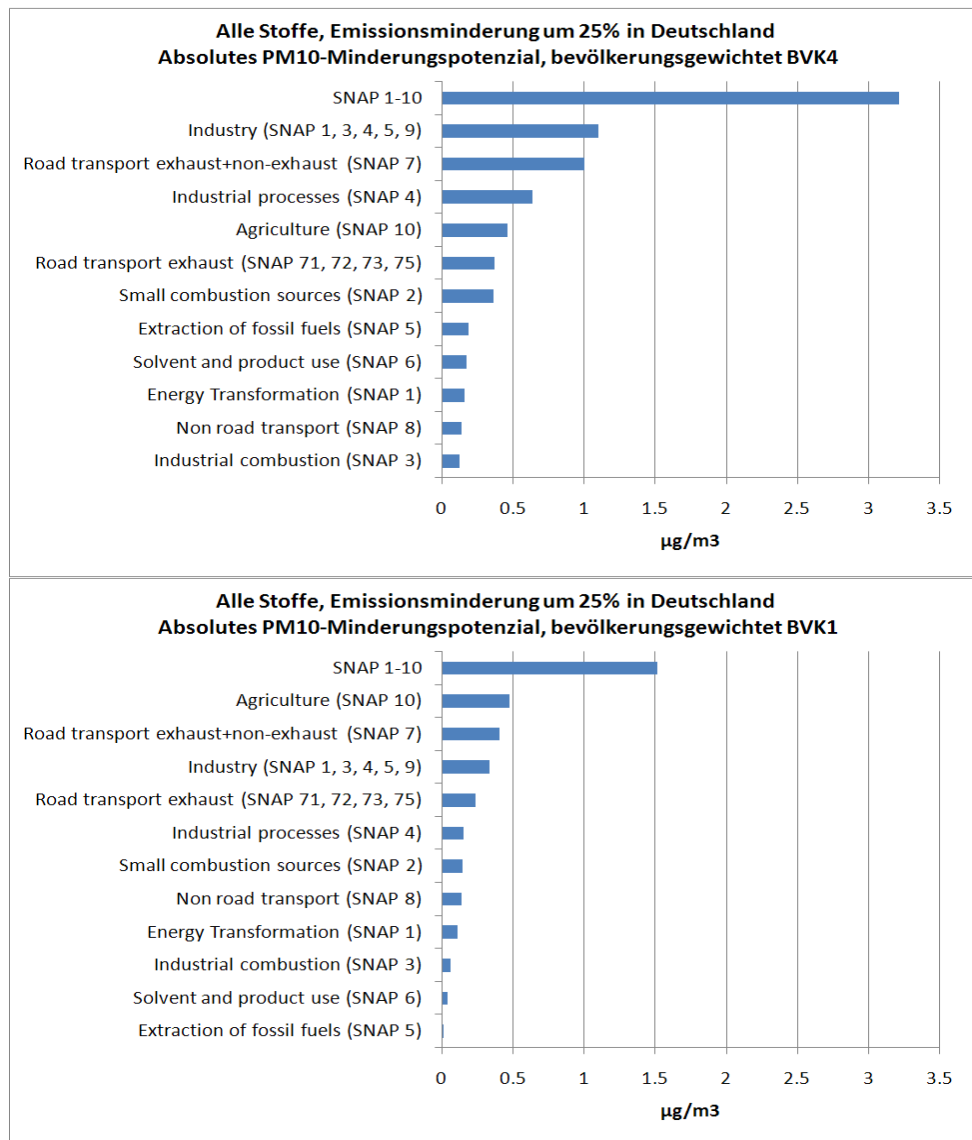


Abbildung 4-24 Absolutes PM10-Minderungspotenzial in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1). Minderung der Emissionen in Deutschland um 25% pro angegebener Verursachergruppe bzw. angegebener Verursachergruppenkombination.

4.4 PM10-Minderungspotenziale normiert auf identische Emissionsminderungen

Bei den bisherigen Betrachtungen wurden die Emissionen für alle Stoffe jeweils relativ gemindert. Die identischen relativen Minderungsraten führen damit zu unterschiedlichen absoluten Minderungen, da die Gesamtmengen der in Deutschland emittierten Emissionen für die einzelnen Schadstoffe unterschiedlich hoch sind. Dies zeigt die Abbildung 4-25 für eine 25%ige Minderung der Emissionen. Danach führt eine 25%ige Minderung der NO_x -Emissionen zu einer mehr als doppelt so hohen absoluten Emissionsminderung wie eine 25%ige Minderung der NH_3 -Emissionen. Dementsprechend beruhen die in den letzten Kapiteln diskutierten Vergleiche der stoffbezogenen PM10-Minderungspotenziale auf unterschiedlichen absoluten Minderungsmengen. Eine andere Betrachtungsweise ist der Vergleich von PM10-Minderungspotenzialen bezogen auf identische absolute Emissionsminderungen. Dazu zeigen Abbildung 4-26 und Abbildung 4-27 die stoffbezogenen PM10-Minderungsraten normiert auf das Minderungspotenzial einer 25%igen Absenkung der PM2.5-Emissionen. Bei einer relativen Absenkung der Emissionen um je 25% hat NH_3 in Ballungsräumen ein PM10-Minderungspotential, das circa 37% des PM10-Minderungspotenzials von PM2.5 entspricht (Abbildung 4-26 oben). Betrachtet man das PM10-Minderungspotenzial pro Kilotonne geminderten Stoffes, so sinkt das Minderungspotenzial von NH_3 auf 8% des Minderungspotenzials von PM2.5 (Abbildung 4-26 unten). Auch in ländlichen Regionen sinkt das PM10-Minderungspotenzial von NH_3 stark ab, wenn man von der relativen Betrachtung auf eine tonnenbezogene Betrachtung übergeht (Abbildung 4-27): Bei der relativen Betrachtung ist das PM10-Minderungspotenzial der NH_3 -Emissionen bei einer 25%igen Minderung mit 97% fast so hoch wie das Minderungspotenzial der PM2.5-Emissionen. Das auf 1 Kilotonne normierte Minderungspotenzial der NH_3 -Emissionen beträgt aber in ländlichen Regionen nur noch 22% des PM10-Minderungspotenzials einer Tonne PM2.5-Emissionen. Ähnliches gilt auch für die Vorläuferstoffe NO_x und SO_2 . Im Vergleich der Auswirkungen von Emissionsminderungen bezogen auf identische Minderungsmengen ist die Minderung der primären PM10-Emissionen damit mit Abstand die wirksamste Maßnahme zur Senkung der PM10-Konzentrationen.

Das im Vergleich zu den Ballungsgebieten deutlich geringere PM10-Minderungspotenzial der PMCO-Emissionen ($\text{PMCO} = \text{PM}_{10} - \text{PM}_{2.5}$) in ländlichen Regionen ist eine Folge der hohen Depositionsrate der PM10-Grobfraktion. Die PM10-Grobfraktion wird sehr viel schneller am Boden deponiert als die PM10-Feinfraktion (PM2.5). In Quellnähe, d.h. überwiegend in den Ballungsräumen, macht sich dieser Umstand noch nicht so stark bemerkbar. Je länger die Transportzeit aber ist, desto größer wird der Unterschied in den Entfernungsraten zwischen Grob- und Feinfraktion. Eine größere Entfernungsraten bewirkt aber ein Absinken des PM10-Minderungspotenzials. Deshalb sinkt das auf eine Kilotonne normierte PM10-Minderungspotential der PMCO-Emissionen von 97% des entsprechenden Potenzials der PM2.5-Emissionen in Ballungsräumen auf 76% in ländlichen Gebieten.

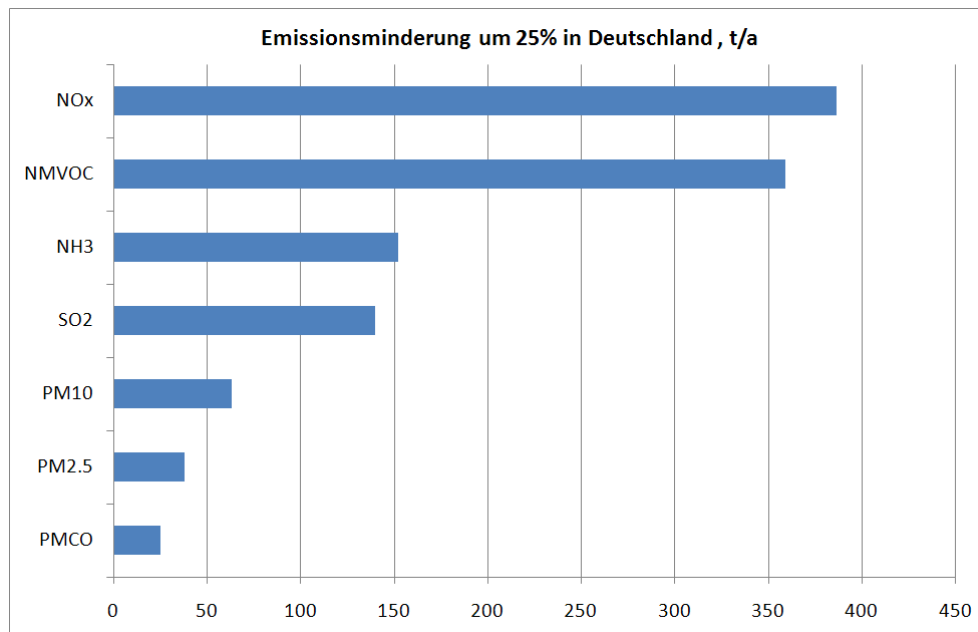


Abbildung 4-25 Absolute Minderungsmengen in Deutschland für eine 25%ige Minderung der Emissionen

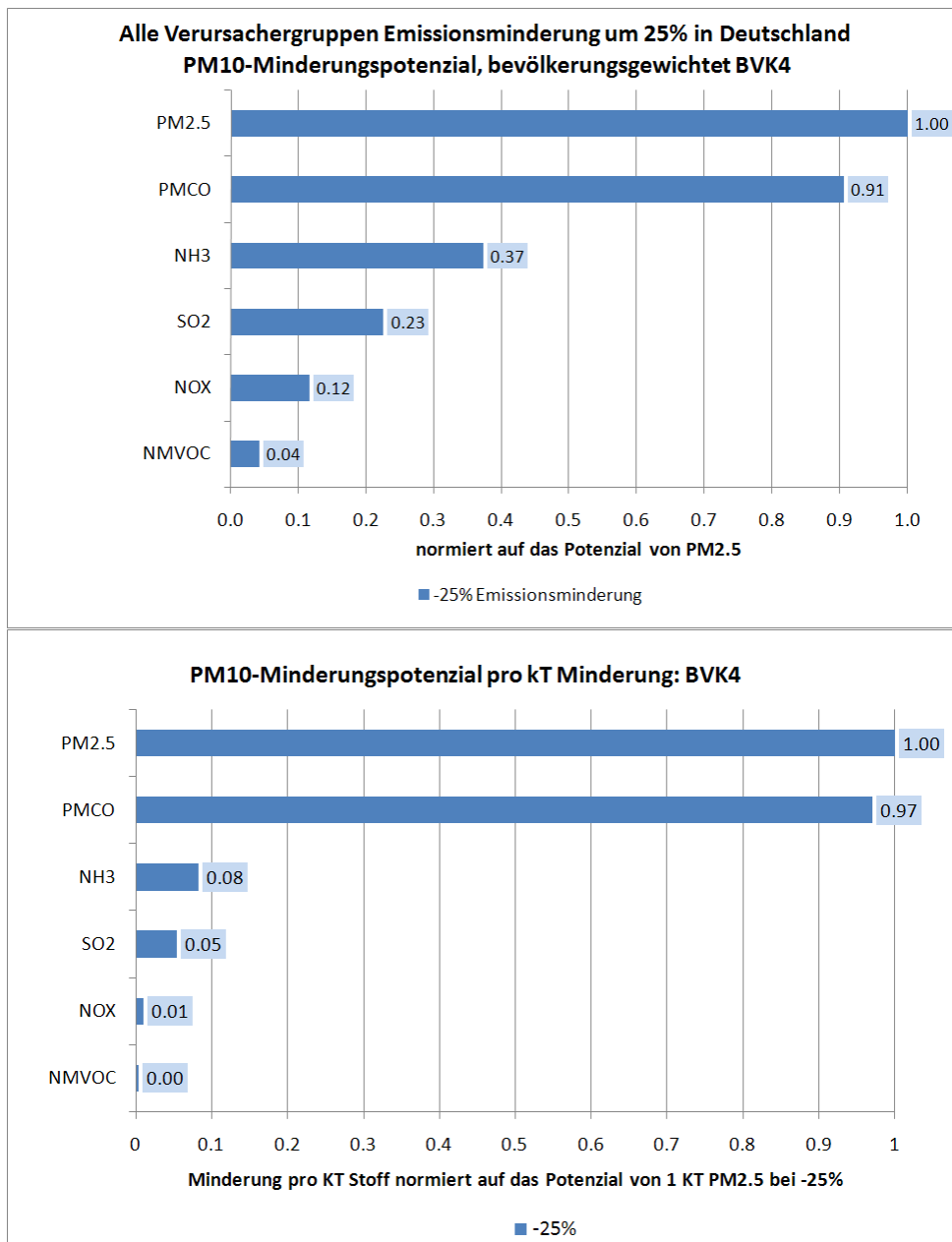


Abbildung 4-26 Normiertes PM10-Minderungspotenzial in Deutschland für Ballungsräume (Bevölkerungskategorie 4) bezogen auf das Potenzial von PM2.5. Emissionsminderung um 25% pro Stoff. Oben: Minderungspotenzial bezogen auf verschiedene absolute Minderungsmengen pro Stoff, siehe Abbildung 4-25. Unten: Minderungspotenzial bezogen auf 1 Kilotonne Minderung pro Stoff.

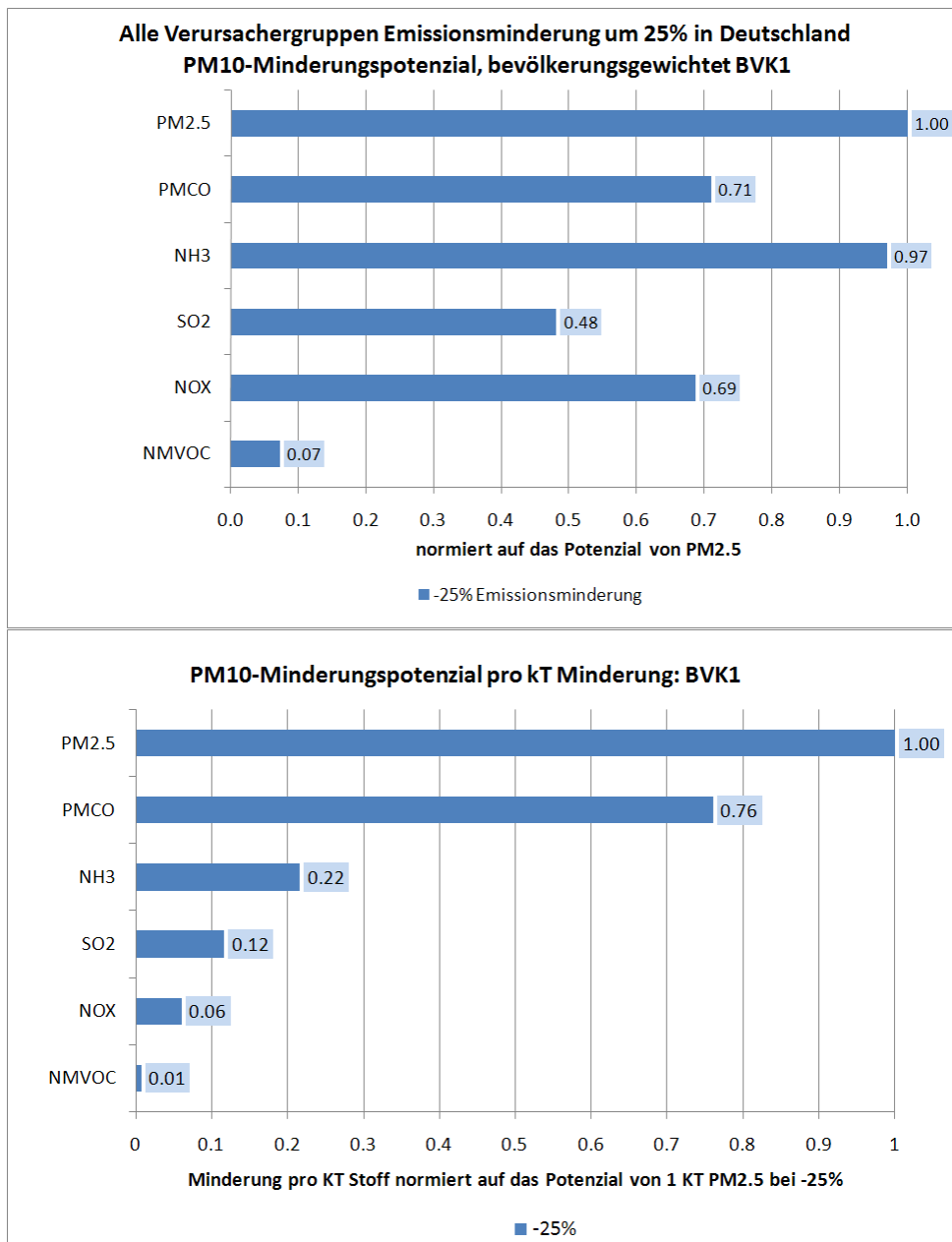


Abbildung 4-27 Normiertes PM10-Minderungspotenzial in Deutschland für Ballungsräume (Bevölkerungsklasse 4) bezogen auf das Potenzial von PM2.5. Emissionsminderung um 25% pro Stoff. Oben: Minderungspotenzial bezogen auf verschiedene absolute Minderungsmengen pro Stoff, siehe Abbildung 4-25. Unten: Minderungspotenzial bezogen auf 1 Kilotonne Minderung pro Stoff.

4.5 PM10-Minderungspotenziale für unterschiedliche NH₃- und NO_x-Emissionsminderungsmengen

Es wurde bereits angesprochen, dass das auf eine Kilotonne Emissionsminderung normierte PM10-Minderungspotenzial der NH₃-Emissionen abhängig ist von der Menge der geminderten Emissionen. Zur Quantifizierung dieses Effekts wurden in einer weiteren Serie von hypothetischen Szenarien die NH₃-Emissionen schrittweise gemindert. Abbildung 4-28 zeigt die relativen PM10-Minderungspotenziale einer Kilotonne NH₃-Emissionsminderung bezogen auf das Potenzial für eine 5%ige Minderung der NH₃-Emissionen. Es ist offensichtlich, dass die PM10 senkende Wirkung einer Kilotonne NH₃-Emissionen mit zunehmender Minderungsmenge ansteigt. Mindert man die NH₃-Emissionen um 25%, ist das auf 1 Kilotonne normierte PM10-Minderungspotenzial 10 bis 12% höher als bei einer 5%igen Minderung. Für eine 50%ige Minderung der NH₃-Emissionen erhöht sich das auf eine Kilotonne normierte PM10-Minderungspotenzial bereits um 30 bis 34%. Insgesamt steigt das PM10-Minderungspotenzial der NH₃-Emissionen mit wachsender Emissionsminderung überproportional an. Die NH₃-Emissionsminderung wird also umso effektiver, je stärker die Emissionen gemindert werden.

Abbildung 4-29 zeigt die Ergebnisse entsprechender Szenarienläufe für eine stufenweise Minderung der NO_x-Emissionen. In Ballungsräumen zeigt sich auch für das PM10-Minderungspotenzial der NO_x-Emissionen die Tendenz, dass das auf eine Kilotonne normierte Potenzial mit wachsender Emissionsminderungsmenge ansteigt, allerdings in einem sehr viel geringeren Ausmaße als bei den NH₃-Emissionsminderungen. In ländlichen Regionen bleibt das PM10-Minderungspotenzial der NO_x-Emissionen über alle Minderungsstufen nahezu konstant und nimmt mit zunehmender Minderungsmenge sogar geringfügig ab.

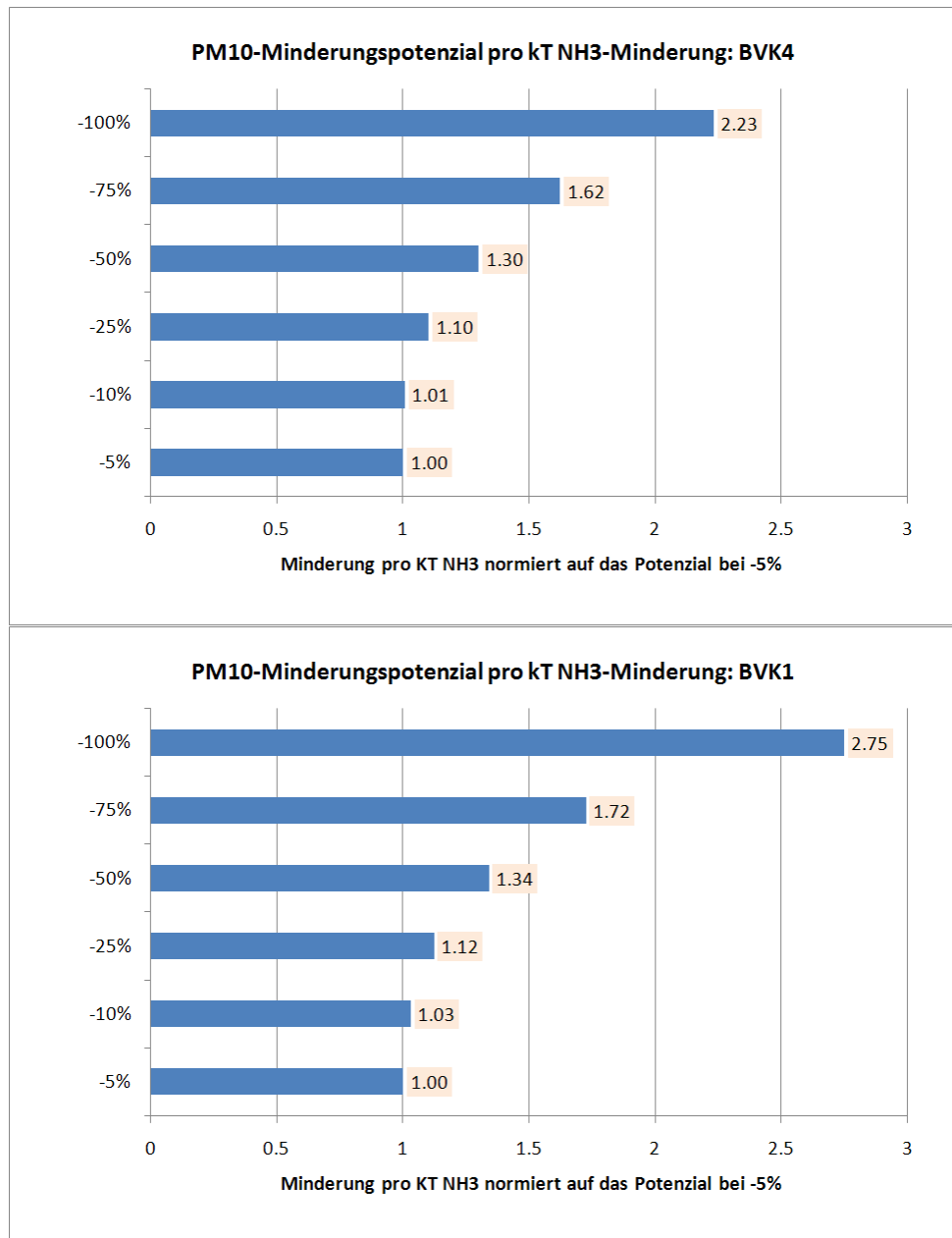


Abbildung 4-28 Relatives PM10-Minderungspotenzial in Deutschland für Ballungsräume (Bevölkerungsklasse 4, oben) und ländliche Regionen (Bevölkerungsklasse 1, unten) für unterschiedliche NH₃-Emissionsminderungsmengen bezogen auf das Potenzial einer NH₃-Emissionsminderung um 5%, normiert auf 1 Kt NH₃-Emissionsminderung.

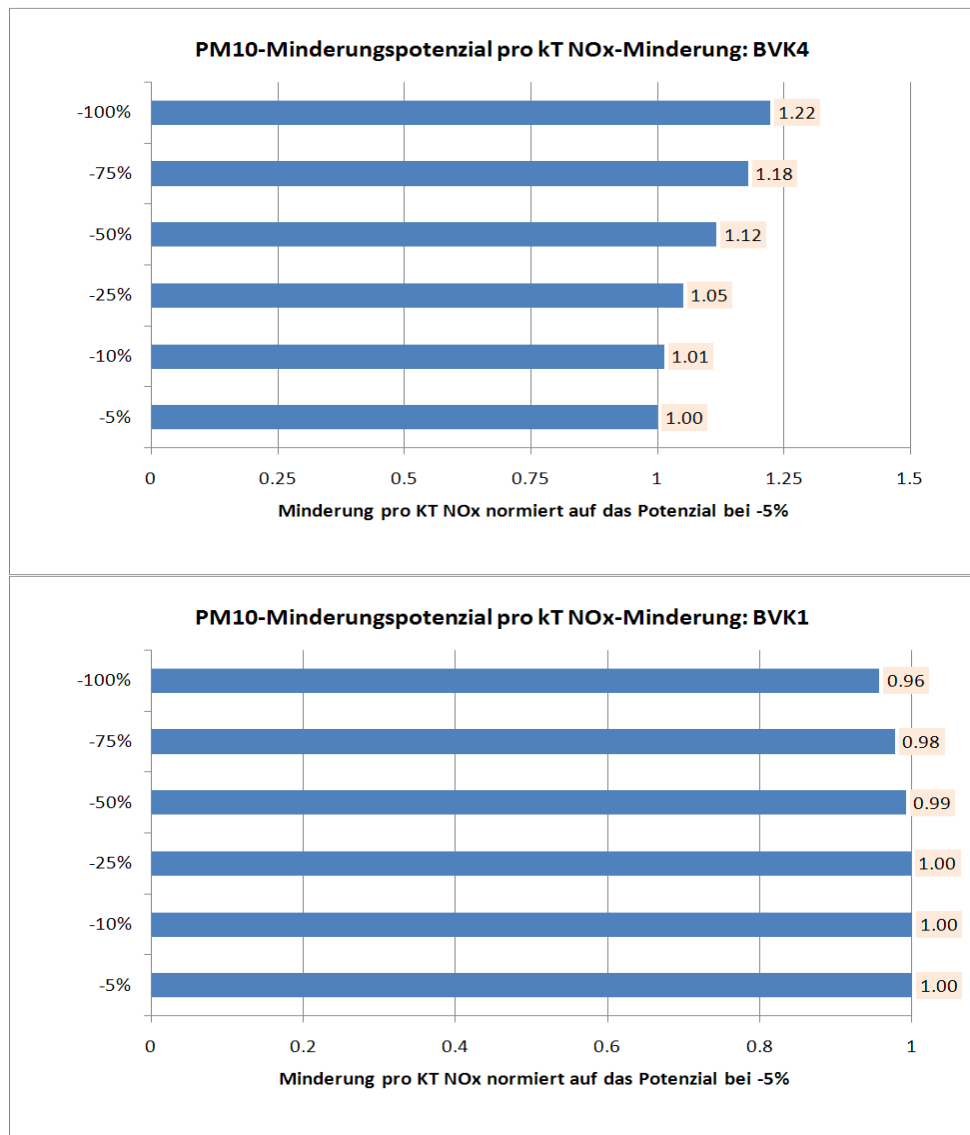


Abbildung 4-29 Relatives PM10-Minderungspotenzial in Deutschland für Ballungsräume (Bevölkerungsklasse 4, oben) und ländliche Regionen (Bevölkerungsklasse 1, unten) für unterschiedliche NO_x-Emissionsminderungsmengen bezogen auf das Potenzial einer NO_x-Emissionsminderung um 5%, normiert auf 1 Kt NO_x-Emissionsminderung.

5 Zusammenfassung

Die hier vorgestellte PM10-Ursachenanalyse basierte auf verursachergruppen- und stoffbezogenen hypothetischen Szenarien. Dazu wurden die Basisemissionen 2005 von SO₂, NO_x, NMVOC, PM10 und NH₃ für 10 Verursachergruppen (SNAPs) in Deutschland systematisch variiert. Das umfassendste Szenario ist die Verminderung aller deutschen anthropogenen Emissionen um 100%. Aus diesem Szenario lässt sich ableiten, dass in Deutschland zwischen 49% (ländliche Gebiete, Bevölkerungsklasse 1) bis 63% (Ballungsgebiete, Bevölkerungsklasse 4) der PM10-Jahresmittelwerte ursächlich den deutschen Emissionen zugeschrieben werden können. Absolut entspricht dies einem maximal möglichen Minderungspotenzial von circa 7 µg/m³ in ländlichen Regionen und circa 14 µg/m³ in Ballungsräumen. Dieses Minderungspotenzial kann in etwa folgenden Stoffen, unabhängig von der Verursachergruppe, zugeordnet werden:

-100% aller deutschen Emissionen	Minderungspotenzialbeiträge pro emittiertem Stoff
Städtischer Hintergrund	
max. Minderungspotenzial	PM10: circa 2/3
14 µg/m ³	Summe der Vorläufer NH ₃ , NO _x , SO ₂ , NMVOC circa 1/3
Ländlicher Hintergrund	
max. Minderungspotenzial	Summe der Vorläufer NH ₃ , NO _x , SO ₂ , NMVOC circa 2/3
7 µg/m ³	PM10: circa 1/3

Tabelle 5-1 Stoffbezogene Beiträge zum maximal möglichen Minderungspotenzial für den hypothetischen Fall einer 100%igen Reduzierung der deutschen anthropogenen Emissionen. Emissionsreferenz 2005.

In Ballungsräumen sind also die primären PM10-Emissionen für circa 2/3, in ländlichen Regionen nur für circa 1/3 für die von den deutschen Emissionen verursachten PM10-Immissionen verantwortlich. Die Summe der gasförmigen Vorläuferemissionen, die über komplexe physikalisch/chemische Prozesse zur PM10-Bildung beitragen, stellt in ländlichen Regionen circa 2/3, in Ballungsräumen dagegen nur circa 1/3 des PM10-Bildungspotenzials, wobei der größte Einzelbeitrag den NH₃-Emissionen der Landwirtschaft zugeordnet werden kann.

Bei der verursachergruppenbezogenen Betrachtung tragen die Emissionen der industriellen Gruppen (SNAP 1, 3, 4, 5, 9) und die Verkehrsemissionen (Auspuff-, Abrieb- und Wiederaufwirbelungsemissionen) in Ballungsräumen zu etwa je einem Drittel zum PM10-Bildungspotenzial bei (Tabelle 5-2). In ländlichen Regionen sind die Emissionen der Landwirtschaft (hauptsächlich NH₃-Emissionen) mit circa 50% am PM10-Bildungspotenzial beteiligt. Diese Beiträge wurden durch die jeweilige komplette Abschaltung der Emissionen einzelner Stoffe oder einzelner Verursachergruppen ermittelt.

-100% aller deutschen Emissionen	Minderungspotenzialbeiträge pro Verursachergruppe
Städtischer Hintergrund	
max. Minderungspotenzial	Industrie und Straßenverkehr : circa je 1/3
14 µg/m ³	Landwirtschaft: circa 1/4
Ländlicher Hintergrund	
max. Minderungspotenzial	Landwirtschaft circa 1/2
7 µg/m ³	Straßenverkehr und Industrie circa je 1/4

Tabelle 5-2 Verursachergruppenbezogene Beiträge zum maximal möglichen Minderungspotenzial für den hypothetischen Fall einer 100%igen Reduzierung der deutschen anthropogenen Emissionen. Emissionsreferenz 2005.

Vermindert man die Emissionen anstatt um 100% jeweils nur um (realistischere) 25% verschieben sich die oben angeführten stoffbezogenen Beiträge in dem Sinne, dass die Beiträge der direkten PM10-Emissionen zum gesamten Minderungspotenzial (-25% aller deutschen Emissionen) zunehmen, während die Beiträge der gasförmigen Vorläuferemissionen abnehmen (Tabelle 5-3).

Bei den verursachergruppenbezogenen Beiträgen stellen die Emissionen der industriellen Gruppen und des Kfz-Verkehrs auch bei einer 25%igen Emissionsminderung in den Ballungsräumen die größten Anteile am Minderungspotenzial (Tabelle 5-4). Die Rolle der Landwirtschaft, die bei einer 100%igen Minderung der Emissionen noch 23% des Minderungspotenzials in den Ballungsräumen stellt, wird bei einer nur 25%igen Minderung aber geringer (14%). In den ländlichen Regionen liefert die Landwirtschaft auch bei einer nur 25%igen Emissionsminderung nach wie vor den höchsten Beitrag zum gesamten PM10-Minderungspotenzial, ihr Anteil ist aber deutlich geringer als bei einer 100%igen Emissionsminderung. Dies ist ein deutlicher Hinweis, dass insbesondere das PM10-Minderungspotenzial der NH₃-Emissionen, die den Hauptteil der landwirtschaftlichen Emissionen stellen, in einem nicht-linearen Zusammenhang mit der NH₃-Minderungsmenge steht.

-25% aller deutschen Emissionen	Minderungspotenzialbeiträge pro emittiertem Stoff
Städtischer Hintergrund	
max. Minderungspotenzial	PM10: circa 3/4
3 µg/m ³	Vorläufer NH ₃ , NO _x , SO ₂ , NMVOC circa 1/4
Ländlicher Hintergrund	
max. Minderungspotenzial	Vorläufer NH ₃ , NO _x , SO ₂ , NMVOC circa 1/2
1.5 µg/m ³	PM10: circa 1/2

Tabelle 5-3 Stoffbezogene Beiträge zum maximal möglichen Minderungspotenzial für den hypothetischen Fall einer 25%igen Reduzierung der deutschen anthropogenen Emissionen. Emissionsreferenz 2005.

-25% aller deutschen Emissionen	Minderungspotenzialbeiträge pro Verursachergruppe
Städtischer Hintergrund	
max. Minderungspotenzial	Industrie und Verkehr : circa je 1/3
3 µg/m ³	Landwirtschaft: circa 1/7
Ländlicher Hintergrund	
max. Minderungspotenzial	Landwirtschaft circa 1/3
1.5 µg/m ³	Kfz-Verkehr circa 1/4
	Industrie: circa 1/5

Tabelle 5-4 Verursachergruppenbezogene Beiträge zum maximal möglichen Minderungspotenzial für den hypothetischen Fall einer 25%igen Reduzierung der deutschen anthropogenen Emissionen. Emissionsreferenz 2005.

Bei der relativen Betrachtung muss berücksichtigt werden, dass die geminderten Stoffbeiträge unterschiedlich hoch sind. Eine 25%ige Minderung der NH₃-Emissionen bedeutet eine circa dreimal höhere absolute Minderung in Kilotonnen als eine 25%ige Minderung der PM10-Emissionen. Bei einer 25%igen Minderung der Stoffe ist das Minderungspotenzial einer Kilotonne PM2.5-Emissionen circa 5mal höher als das Minderungspotenzial einer Kilotonne NH₃-Emissionen. Infolge der nicht-linearen Zusammenhänge zwischen NH₃-Minderungen und den daraus resultierenden PM10-Änderungen ändert sich das Minderungspotenzial der NH₃-Emissionen aber drastisch mit der Menge der geminderten Emissionen. Dies bedeutet, dass das PM10-Immissionsminderungspotenzial einer Kilotonne geminderter NH₃-Emissionen mit zunehmender NH₃-Emissionsminderung stark ansteigt.

Es muss betont werden, dass die Beiträge der einzelnen Stoffe und Verursachergruppen wegen dieser Nicht-Linearitäten im PM10-Bildungssystem nur als Abschätzung betrachtet werden können.

Es lässt sich festhalten:

- In Ballungsgebieten ist die direkte Minderung der PM10-Emissionen die effektivste Maßnahme zur Absenkung der PM10-Konzentrationen, die Hauptverursacher sind Industrie und Straßenverkehr,
- In ländlichen Gebieten ist das Minderungspotenzial der PM10-Emissionen und der gasförmigen Vorläuferemissionen etwa gleich groß, der Hauptverursacher ist die Landwirtschaft gefolgt vom Straßenverkehr und der Industrie,
- Das PM10-Minderungspotenzial pro Kilotonne geminderter Vorläuferemissionen (außer NMVOC), in besonderem Maße das von NH₃, ist abhängig von der Reduktionsmenge und steigt mit wachsender Minderungsmenge.

6 Literatur

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.

Fath, J. , Kerschbaumer, A., Stern , R. (2010)

Archivierung der im Rahmen des Parest-Projekts erzeugten Immissionsfelder. 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.

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

Emissionen im PAREST-Referenzszenario 2005 – 2020. Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Berlin: IZT und IER.

Kerschbaumer, A. und Reimer, E. (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.

Stern, R. (2003)

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

Stern, R. (2004a)

Großräumige PM10-Ausbreitungsmodellierung: Abschätzung der gegenwärtigen Immissionsbelastung in Europa und Prognose bis 2010. KRdL-Experten-Forum "Staub und Staubinhaltsstoffe", 2004-11-11/10, Düsseldorf, VDI-KRdL-Schriftenreihe 33, 2004

Stern, R. (2004b)

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“

7 Anhang B: Die RCG-Modellgebiete

Zur Anwendung des RCG-Modells in PAREST werden Berechnungen in den drei Skalen Europa, Deutschland Nest 1, Deutschland Nest 2 durchgeführt. Die Randbedingungen für Nest 1 liefert die europaweite RCG-Anwendung im so genannten Nest 0. Die Randbedingungen für Nest 2 stammen aus der Anwendung des Modells in Nest 1. Abbildung 7-1, Abbildung 7-2 und Abbildung 7-3 zeigen die drei hier verwendeten Modellgebiete.

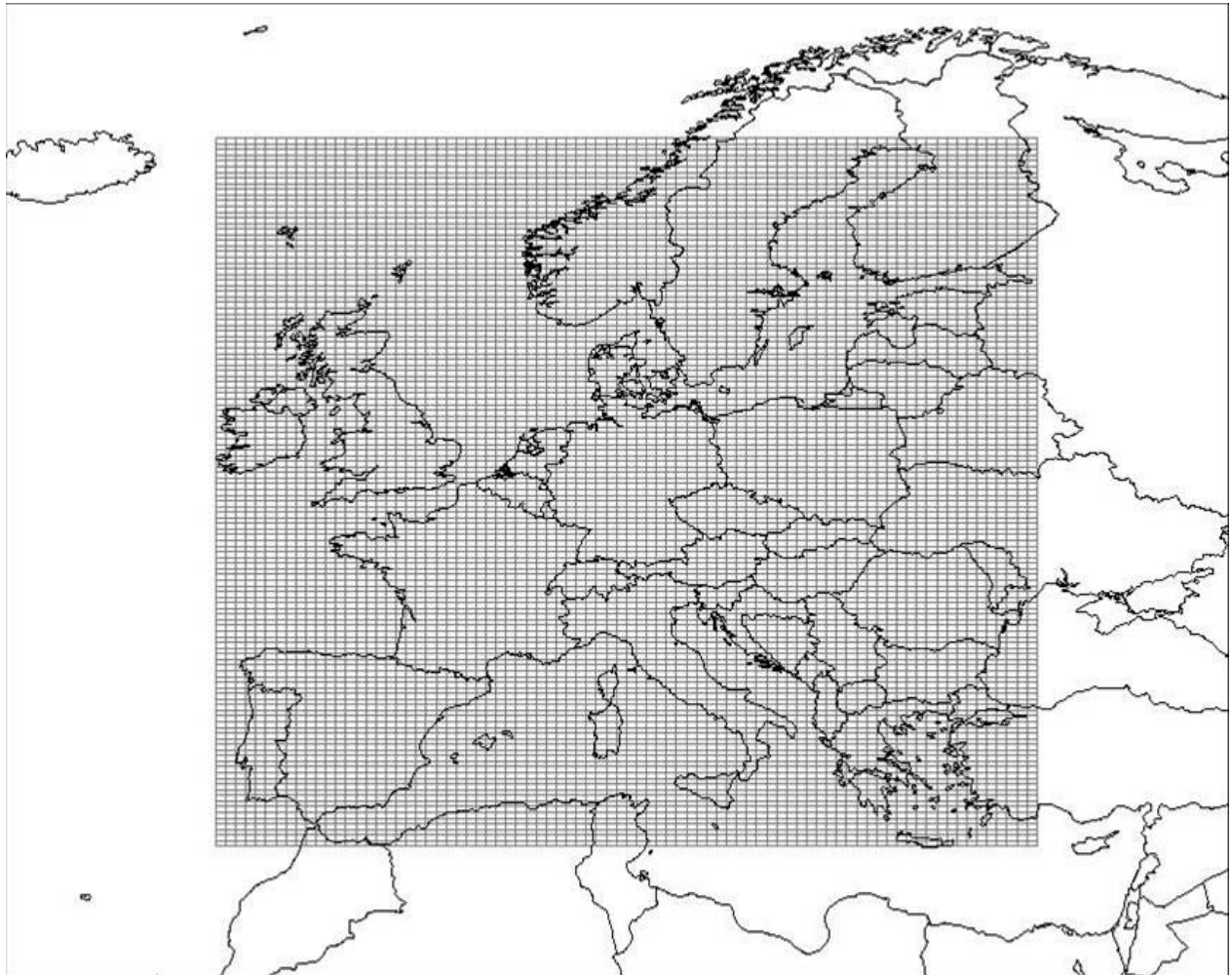


Abbildung 7-1 RCG-Rechengebiet Nest 0 (N0): Europäischer Hintergrund, Auflösung circa 32x28 km², 0.25° Breite, 0.5° Länge, 82 x 125 Gitterzellen, Rechengebiet: -10°W bis 30° Ost, 35.25° N bis 66.0° N

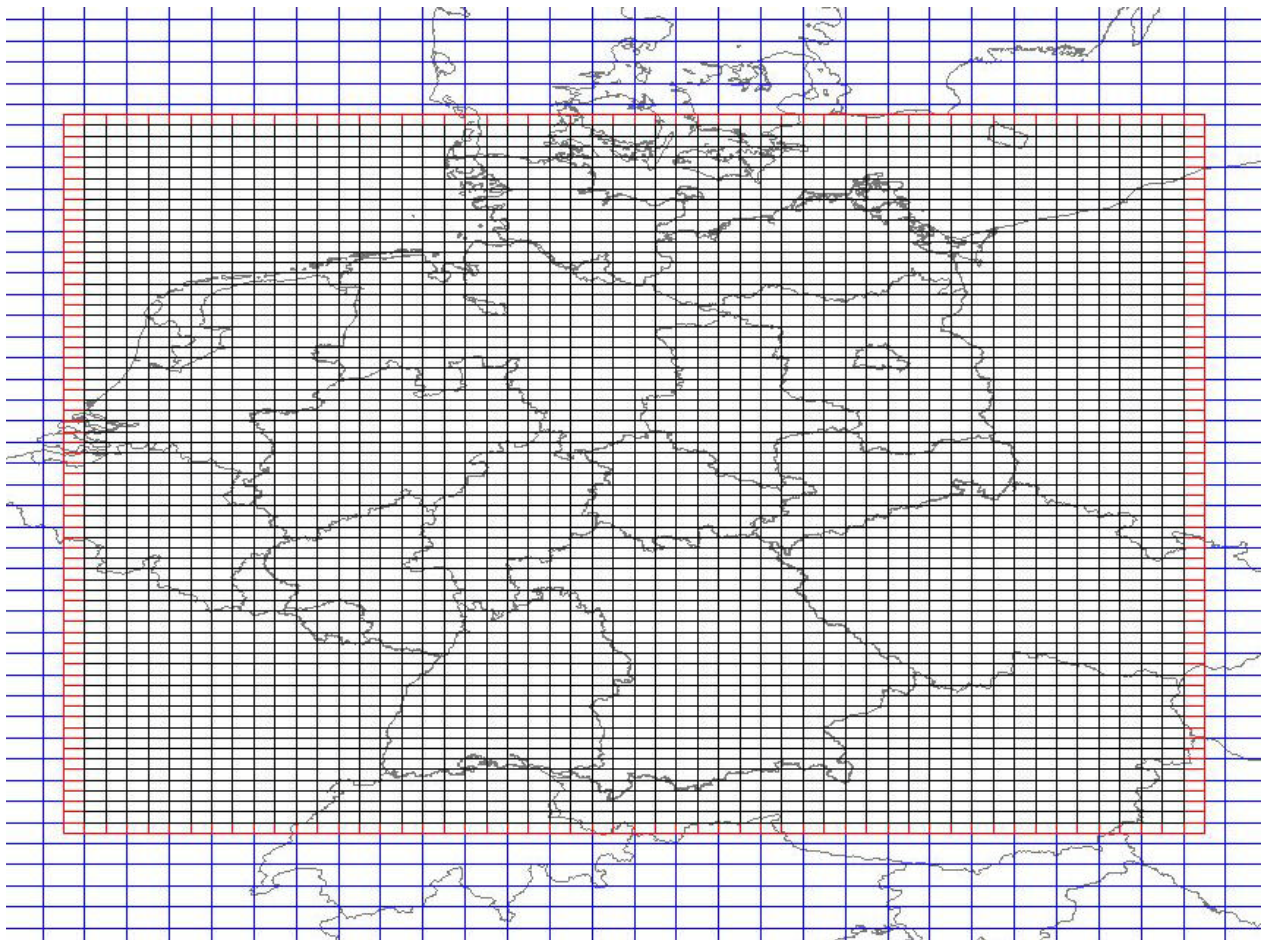


Abbildung 7-2 Nest 1 (N1): Deutschland, Auflösung circa 16 km x 14 km, 0.125° Breite, 0.25° Länge, (N0/2), 54 x 68 Gitterzellen incl. Randreihen (rot), Rechengebiet: 4.0° O bis 17.0° O , 47° N bis 55.25° N

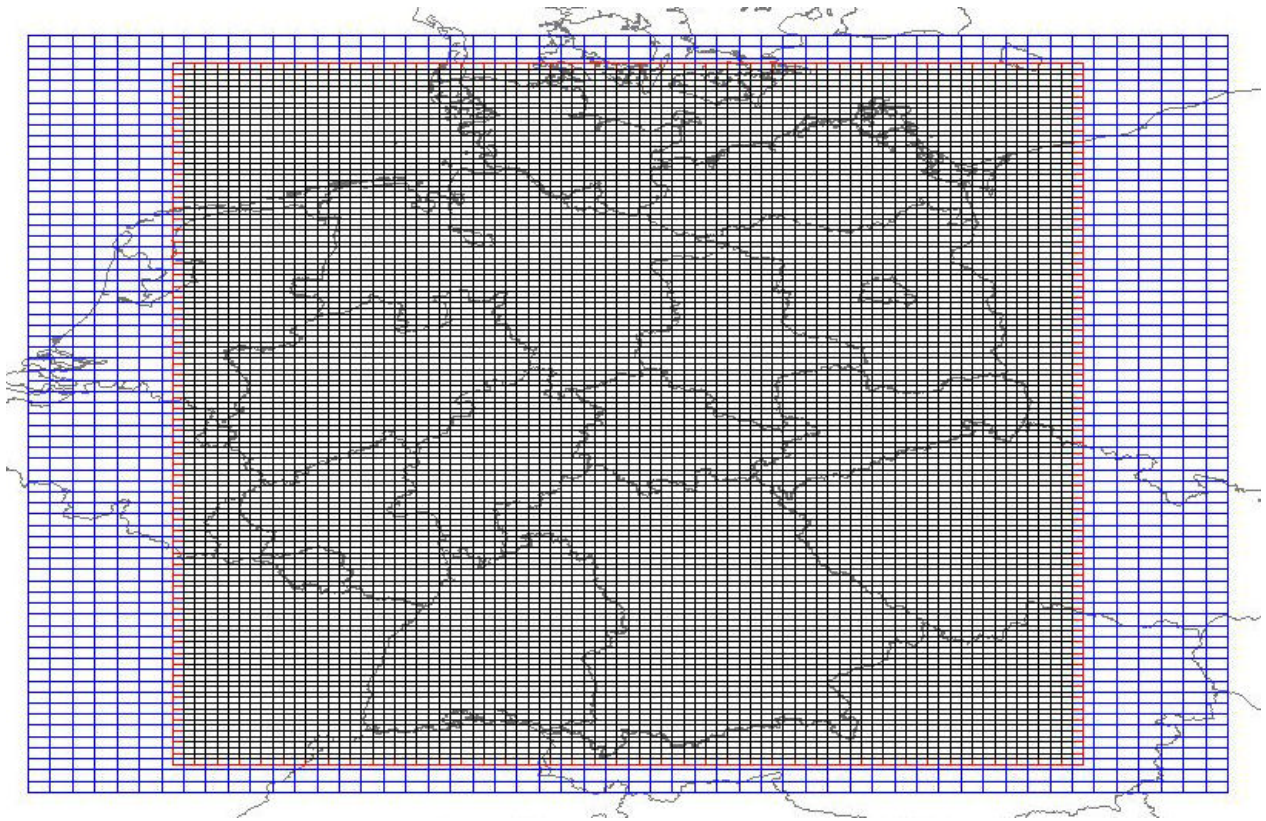


Abbildung 7-3 Nest 2 (N2) Deutschland, Auflösung circa 8 km x 7 km, 0.0625° Breite, 0.125° Länge (N0/4, N1/2), 82 x 126 Gitterzellen incl. Randreihen, Rechengebiet: 5.5° O bis 15.5° O, 47.25° N bis 55.0° N

8 Anhang C: 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.

9 Anhang E: Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1 Bevölkerungsdichte in Einwohner/km ² in 4 Klassen. Zur Klassendefinition siehe Text. Die Auflösung entspricht der Auflösung des Nestes 1, Deutschland grob: 0.125° Breite, 0.25° Länge, circa 14 km x 16 km.	3
Abbildung 4-1 PM10-Jahresmittelwert 2005 in µg/m ³ . RCG-Modell. Emissionsreferenz 2005, meteorologisches Referenzjahr 2005. Rastergröße 0.25° Länge und 0.125° Breite (Modellgebiet „Deutschland grob“).	8
Abbildung 4-2 Bevölkerungsgewichtete PM10-Konzentrationen der Referenz 2005 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in µg/m ³ . Modellgebiet „Deutschland grob“.	8
Abbildung 4-3 PM10-Jahresmittelwerte 2005 in µg/m ³ in Deutschland ohne die deutschen Emissionen (oben). Unten: Relative Abnahmen der PM10-Jahresmittelwerte (%) der Referenz 2005 durch das Nullsetzen der deutschen anthropogenen Emissionen. MIN, MEAN und MAX geben die niedrigste, mittlere und höchste Konzentration (oben) bzw. den Prozentbereich der Abnahmen (MIN und MAX) sowie die mittlere Abnahme (MEAN) in Deutschland an.	10
Abbildung 4-4 Beitrag der deutschen Emissionen in µg/m ³ zu den PM10-Jahresmittelwerten der Referenz 2005.	11
Abbildung 4-5 Bevölkerungsgewichtete PM10-Konzentrationen der Referenz 2005 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in µg/m ³ (blauer Balken). Maximales bevölkerungsgewichtetes Minderungspotenzial der deutschen Emissionen (brauner Balken). Modellgebiet „Deutschland grob“.	11
Abbildung 4-6 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) der deutschen Emissionen bezogen auf die Referenz 2005 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in µg/m ³ . Modellgebiet „Deutschland grob“.	12
Abbildung 4-7 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1) bezogen auf das Potenzial des Szenarios „keine deutschen anthropogenen Emissionen“, siehe Kap. 4.2. Minderung der Emissionen in Deutschland um 100% pro angegebenen Stoff bzw. angegebener Stoffkombination. Gerundet auf volle Prozentangaben. Die Angabe in µg/m ³ ist der absolute Beitrag der Emissionen aller Stoffe in Deutschland zum PM10-Minderungspotenzial (Alle Stoffe).	14
Abbildung 4-8 Absolutes PM10-Minderungspotenzial in µg/m ³ in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1). Minderung der Emissionen in Deutschland um 100% pro angegebenen Stoff bzw. angegebener Stoffkombination.	15
Abbildung 4-9 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1) bezogen auf das Potenzial des Szenarios „keine deutschen anthropogenen Emissionen“, siehe Kap. 4.2. Minderung aller Emissionen der angegebenen Verursachergruppe in Deutschland um 100%. Gerundet auf volle Prozentangaben. Die Angabe in µg/m ³ ist der absolute Beitrag der Emissionen aller Verursachergruppen in Deutschland zum PM10-Minderungspotenzial (SNAP 1-10).	17
Abbildung 4-10 Absolutes PM10-Minderungspotenzial in µg/m ³ in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1). Minderung aller Emissionen der angegebenen Verursachergruppe in Deutschland um 100%.	18
Abbildung 4-11 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1) bezogen auf das Potenzial aller deutschen PM10-Emissionen (=100%). Minderung der PM10-Emissionen der angegebenen Verursachergruppe in Deutschland um 100%. Gerundet auf volle Prozentangaben. Die Angabe in µg/m ³ ist der absolute Beitrag aller PM10-Emissionen in Deutschland zum PM10-Minderungspotenzial (SNAP 1-10).	20
Abbildung 4-12 Absolutes PM10-Minderungspotenzial in µg/m ³ in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1). Minderung der PM10-Emissionen der angegebenen Verursachergruppen in Deutschland um 100%.	21
Abbildung 4-13 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1) bezogen auf das Potenzial aller deutschen NO _x -, SO ₂ - und Kohlenwasserstoffemissionen (NMVOC) (=100%). Minderung der	

Vorläufer-Emissionen NO _x , SO ₂ , und der Kohlenwasserstoffe der angegebenen Verursachergruppe in Deutschland um 100%. Gerundet auf volle Prozentangaben. Die Angabe in µg/m ³ ist der absolute Beitrag aller NO _x -, SO ₂ - und NMVOC-Emissionen in Deutschland zum PM10-Minderungspotenzial (SNAP 1-10).....	22
Abbildung 4-14 Absolutes PM10-Minderungspotenzial in µg/m ³ in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1). Minderung der Vorläufer-Emissionen NO _x , SO ₂ und der Kohlenwasserstoffe (NMVOC) der angegebenen Verursachergruppe in Deutschland um 100%.....	23
Abbildung 4-15 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1) bezogen auf das Potenzial aller deutschen NH ₃ -Emissionen (=100%). Minderung der Vorläufer-Emissionen NH ₃ der angegebenen Verursachergruppe in Deutschland um 100%. Die Angabe in µg/m ³ ist der absolute Beitrag aller NH ₃ -Emissionen in Deutschland zum PM10-Minderungspotenzial (SNAP 1-10).	24
Abbildung 4-16 Absolutes PM10-Minderungspotenzial in µg/m ³ in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1). Minderung der Vorläufer-Emissionen NH ₃ der angegebenen Verursachergruppen in Deutschland um 100%.....	25
Abbildung 4-17 PM10-Jahresmittelwerte 2005 in µg/m ³ in Deutschland nach einer Absenkung der deutschen Emissionen auf 75% der Referenz 2005 (oben). Unten: Relative Abnahmen der PM10-Jahresmittelwerte (%) der Referenz 2005 durch die 25%ige Minderung der deutschen anthropogenen Emissionen. MIN, MEAN und MAX geben den Prozentbereich der Abnahmen (MIN und MAX) sowie die mittlere Abnahme (MEAN) über Deutschland an.....	27
Abbildung 4-18 PM10-Minderungspotenzial (µg/m ³) einer Absenkung der deutschen Emissionen auf 75% der Emissionsreferenz 2005.	28
Abbildung 4-19 Bevölkerungsgewichtete PM10-Konzentrationen der Referenz 2005 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in µg/m ³ (blauer Balken). Maximales bevölkerungsgewichtetes PM10-Minderungspotenzial der deutschen Emissionen (-100% Emissionsminderung, brauner Balken) und PM10-Minderungspotenzial einer Minderung der deutschen Emissionen um 25% (grüner Balken). Modellgebiet „Deutschland grob“	28
Abbildung 4-20 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) einer Minderung der deutschen Emissionen um 100% (blauer Balken) und einer Minderung um 25% (brauner Balken) bezogen auf die Referenz 2005 für die 4 Bevölkerungsklassen, das Deutschlandmittel und das Mittel an den AEI-Stationen in µg/m ³ . Modellgebiet „Deutschland grob“	29
Abbildung 4-21 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1) bezogen auf das Potenzial des Szenarios „-25% aller deutschen anthropogenen Emissionen“. Minderung der Emissionen in Deutschland um 25% pro angegebenen Stoff bzw. angegebener Stoffkombination. Gerundet auf volle Prozentangaben. Die Angabe in µg/m ³ ist das absolute PM10-Minderungspotenzial des Szenarios „-25% aller deutschen anthropogenen Emissionen“ (Alle Stoffe).	31
Abbildung 4-22 Absolutes PM10-Minderungspotenzial in µg/m ³ in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1). Minderung der Emissionen in Deutschland um 25% pro angegebenen Stoff bzw. angegebener Stoffkombination.	32
Abbildung 4-23 Relatives PM10-Minderungspotenzial (%) in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1) bezogen auf das Potenzial des Szenarios „-25% aller deutschen anthropogenen Emissionen“. Minderung der Emissionen in Deutschland um 25% pro angegebener Verursachergruppe bzw. angegebener Verursachergruppenkombination. Gerundet auf volle Prozentangaben. Die Angabe in µg/m ³ ist das absolute PM10-Minderungspotenzial des Szenarios „-25% aller deutschen anthropogenen Emissionen“ (SNAP 1-10).	34
Abbildung 4-24 Absolutes PM10-Minderungspotenzial in µg/m ³ in Deutschland für Ballungsräume (oben, Bevölkerungsklasse 4) und ländliche Gebiete (unten, Bevölkerungsklasse 1). Minderung der Emissionen in Deutschland um 25% pro angegebener Verursachergruppe bzw. angegebener Verursachergruppenkombination.	35
Abbildung 4-25 Absolute Minderungsmengen in Deutschland für eine 25%ige Minderung der Emissionen	37
Abbildung 4-26 Normiertes PM10-Minderungspotenzial in Deutschland für Ballungsräume (Bevölkerungsklasse 4) bezogen auf das Potenzial von PM2.5. Emissionsminderung um 25% pro	

Stoff. Oben: Minderungspotenzial bezogen auf verschiedene absolute Minderungsmengen pro Stoff, siehe Abbildung 4-25. Unten: Minderungspotenzial bezogen auf 1 Kt Minderung pro Stoff.	38
Abbildung 4-27 Normiertes PM10-Minderungspotenzial in Deutschland für Ballungsräume (Bevölkerungsklasse 4) bezogen auf das Potenzial von PM2.5. Emissionsminderung um 25% pro Stoff. Oben: Minderungspotenzial bezogen auf verschiedene absolute Minderungsmengen pro Stoff, siehe Abbildung 4-25. Unten: Minderungspotenzial bezogen auf 1 Kt Minderung pro Stoff.	39
Abbildung 4-28 Relatives PM10-Minderungspotenzial in Deutschland für Ballungsräume (Bevölkerungsklasse 4, oben) und ländliche Regionen (Bevölkerungsklasse 1, unten) für unterschiedliche NH ₃ -Emissionsminderungsmengen bezogen auf das Potenzial einer NH ₃ -Emissionsminderung um 5%, normiert auf 1 Kt NH ₃ -Emissionsminderung.	41
Abbildung 4-29 Relatives PM10-Minderungspotenzial in Deutschland für Ballungsräume (Bevölkerungsklasse 4, oben) und ländliche Regionen (Bevölkerungsklasse 1, unten) für unterschiedliche NO _x -Emissionsminderungsmengen bezogen auf das Potenzial einer NO _x -Emissionsminderung um 5%, normiert auf 1 Kt NO _x -Emissionsminderung.	42
Abbildung 7-1 RCG-Rechengebiet Nest 0 (N0): Europäischer Hintergrund, Auflösung circa 32x28 km ² , 0.25° Breite, 0.5° Länge, 82 x 125 Gitterzellen, Rechengebiet: -10°W bis 30° Ost, 35.25° N bis 66.0° N	47
Abbildung 7-2 Nest 1 (N1): Deutschland, Auflösung circa 16 km x 14 km, 0.125° Breite, 0.25° Länge, (N0/2), 54 x 68 Gitterzellen incl. Randreihen (rot), Rechengebiet: 4.0° O bis 17.0° O , 47° N bis 55.25° N.....	48
Abbildung 7-3 Nest 2 (N2) Deutschland, Auflösung circa 8 km x 7 km, 0.0625° Breite, 0.125° Länge (N0/4, N1/2), 82 x 126 Gitterzellen incl. Randreihen, Rechengebiet: 5.5° O bis 15.5° O, 47.25° N bis 55.0° N	49

10 Anhang F: Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1 Emissionen (kt/Jahr) Referenz 2005, Deutschland.....	6
Tabelle 3-2 Erreichbare Emissionsminderungen in % bezüglich der Emissionsreferenz 2005 für das Abschalten einzelner Verursachergruppen (-100% aller Emissionen einer Verursachergruppe). Die rot markierten Einträge kennzeichnen für jeden Schadstoff das jeweils höchste theoretisch mögliche (Nullemission) Emissionsminderungspotenzial. Die Summe der Einzelminderungen ergibt -100%. ...	6
Tabelle 5-1 Stoffbezogene Beiträge zum maximal möglichen Minderungspotenzial für den hypothetischen Fall einer 100%igen Reduzierung der deutschen anthropogenen Emissionen. Emissionsreferenz 2005.	43
Tabelle 5-2 Verursachergruppenbezogene Beiträge zum maximal möglichen Minderungspotenzial für den hypothetischen Fall einer 100%igen Reduzierung der deutschen anthropogenen Emissionen. Emissionsreferenz 2005.	44
Tabelle 5-3 Stoffbezogene Beiträge zum maximal möglichen Minderungspotenzial für den hypothetischen Fall einer 25%igen Reduzierung der deutschen anthropogenen Emissionen. Emissionsreferenz 2005.	44
Tabelle 5-4 Verursachergruppenbezogene Beiträge zum maximal möglichen Minderungspotenzial für den hypothetischen Fall einer 25%igen Reduzierung der deutschen anthropogenen Emissionen. Emissionsreferenz 2005.	45