

Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FKZ 204 42 202/03
auf dem Gebiet des Umweltschutzes „Entwicklung von Modellen zur Identifizierung
von Schadstoffquellen -insbesondere im Verkehrsbereich
- im Rahmen der 22. BImSchV -
Dokumentation, Weiterentwicklung, Validierung und Maßnahmenplanung für ein
bundeseinheitliches Vorgehen“

Anwendung des REM-CALGRID-Modells für die Immissionsprognose 2010 und 2020 in Deutschland auf der Basis hoch aufgelöster Emissionsdaten

Rainer Stern



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

Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10
12165 Berlin

Mai 2006

Bericht zum

FE-Vorhaben (UFOPLAN Nr. 202 43 270)

„Entwicklung von Modellen zur Identifizierung von
Schadstoffquellen -insbesondere im Verkehrsbereich- im Rahmen der
22. BImSchV - Dokumentation, Weiterentwicklung, Validierung und
Maßnahmenplanung für ein bundeseinheitliches Vorgehen“

**Anwendung des REM-CALGRID-Modells für die
Immissionsprognose 2010 und 2020 in Deutschland auf der
Basis hoch aufgelöster Emissionsdaten**

Rainer Stern

für:

Umweltbundesamt
II 6.1
Postfach 1406
06813 Dessau

Institut für Meteorologie
Freie Universität Berlin

Mai 2006

Berichts-Kennblatt

BerichtsnummerUBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Anwendung des REM-CALGRID-Modells für die Immissionsprognose 2010 und 2020 in Deutschland auf der Basis hoch aufgelöster Emissionsdaten		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Stern, Rainer	8. Abschlußdatum Mai 2006	
	9. Veröffentlichungsdatum Mai 2006	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10 12165 Berlin	10. UFOPLAN-Nr. 204 42 202/03	
	11. Seitenzahl 73	
	12. Literaturangaben 9	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 1406, D-06813 Dessau	13. Tabellen und Diagramme 6	
	14. Abbildungen 52	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Der Bericht beschreibt die Entwicklung der Emissionssituation in Deutschland von 2000 bis 2010, bzw. 2020. Auf Basis dieser Emissionsentwicklung wird eine mit dem chemischen Transportmodell REM-CALGRID durchgeführte Immissionsprognose für 2010 und 2020 diskutiert. Es erfolgt eine Auswertung der Prognosen für die Spezies PM10, PM2.5, NO2 und Ozon.		
17. Schlagwörter Emissionserhebung, CAFE-Programm, Immissionsprognose, CLE-Szenario, Ausbreitungsrechnung, REM-CALGRID-Modell		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

Report No.UBA-FB BBBB	2.	3.
4. Report Title Anwendung des REM-CALGRID-Modells für die Immissionsprognose 2010 und 2020 in Deutschland auf der Basis hoch aufgelöster Emissionsdaten Application of the chemical transport model REM-CALGRID for the assessment of the air quality 2010 and 2020 in Germany based on highly resolved emissions data		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Stern, Rainer		8. Report Date May 2006
6. Performing Organisation (Name, Address) Freie Universität Berlin, Institut für Meteorologie Carl-Heinrich-Becker-Weg 6-10 12165 Berlin		9. Publication Date May 2006
		10. UFOPLAN-Ref. No. 20442 202/3
		11. No. of Pages 73
7. Sponsoring Agency (Name, Address) Umweltbundesamt, Postfach 1406, D-06813 Dessau		12. No. of Reference 9
		13. No. of Tables, Diagrams 6
		14. No. of Figures 52
15. Supplementary Notes		
16. Abstract The report describes the development of the emissions situation in Germany based on the emissions projections of the CLE scenarios 2010 and 2020. The likely evolution of air quality in Germany is assessed by use of the chemical transport model REM-CALGRID. The model results are evaluated for PM10, PM2.5, NO2 and ozone.		
17. Keywords Emissions data, CAFÉ program, dispersion modelling, REM-CALGRID model, CLE scenario, air quality assessment		
18. Price	19.	20.

Inhaltsverzeichnis

1. EINLEITUNG	1
2. BASEMISSIONEN 2000 UND 2010	3
3. DER EINFLUSS DER RASTERUNG AUF DIE IMMISSIONSVERTEILUNGEN.....	8
4. IMMISSIONSPROGNOSE 2010 UND 2020	15
1.1. PM10 UND PM2.5.....	15
1.2. NO2	29
1.3. OZON	36
5. DIREKTER VERGLEICH MIT EMEP-ERGEBNISSEN.....	58
6. ZUSAMMENFASSUNG	67
7. LITERATUR	69
8. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	70
9. TABELLENVERZEICHNIS	70

1. Einleitung

Die in den bisherigen großräumigen Anwendungen des REM-CALGRID-Modells (Stern 2003, 2004) benutzten Emissionsdaten beruhten weitgehend auf der von der TNO (Bultjes et al., 2002) auf der Basis von CORINAIR-Informationen erstellten europaweiten Emissionsdatenbasis, die den Stand der Emissionen von 1995 repräsentiert. Diese Daten liegen direkt in dem vom RCG-Modell benutzten geographischen Koordinatensystem in einer Auflösung von 0,5° Länge und 0,25° Breite vor. Zum anderen wurden auch die von EMEP für die internationalen Modellvergleiche „EURODELTA“ und „TFMM“ zur Verfügung gestellten Daten für das Basisjahr 1999/2000 benutzt (Stern, 2004). Die horizontale Auflösung der EMEP-Daten beträgt 50 km in der Orientierung des EMEP-Modellrasters. Die Nutzung der EMEP-Emissionsdaten erforderte daher die vorherige Transformation der Daten aus dem EMEP-Gitter in das RCG-Gitter. Das dafür entwickelte Verfahren ist in Stern (2004) beschrieben. Die Transformation von Emissionsdaten in ein anderes Gitter führt aber immer zu Informationsverlusten, die sich nachteilig auf die Rechnungen auswirken können (siehe Stern, 2004).

Ein wesentlicher Anwendungsbereich des REM-CALGRID-Modells (RCG) ist aber die Bereitstellung deutschlandweiter Hintergrundinformationen, für die eine solche Auflösung als zu gering betrachtet wird. Deswegen wurde in diesem Vorhaben die Möglichkeit geschaffen, die Auflösung für Deutschland flächenmäßig um das 4fache erhöhen zu können, d. h. auf 0.25° Länge und 0.125° Breite. Dies entspricht einer Gittergröße von circa 16-18 km (Nord-Süd-Richtung) x 14 km (Ost-West-Richtung). Abbildung 1 zeigt ein solches Gitter für Deutschland. Dazu wurde von der TNO eine neue Emissionsdatenbasis mit dem Bezugsjahr 2000 erstellt, die direkt in der feinen Auflösung erhoben wurde. Zusätzlich zu der verfeinerten räumlichen Auflösung erfolgte ein Abgleich der Datenbasen für 2000, 2010 und 2020 auf nationaler Ebene mit den entsprechenden von EMEP im Rahmen des CAFE-BASELINE-Prozesses verwendeten Emissionsdaten (Amann et al., 2005). Damit stimmen die TNO-Emissionsdaten in den nationalen Gesamtmengen überein mit den Emissionen, die im Rahmen des CAFE-Prozesses von EMEP verwendet wurden.

Diese Datenbasis wurde für die in dem vorliegenden Bericht beschriebenen Immissionsprognosen für 2010 und 2020 benutzt. Die von der TNO durchgeführten Arbeiten und ihre Aufarbeitung für die Belange des RCG-Modells sind in Stern (2006) beschrieben. Die technischen Details der Emissionserhebung (Visscherdijk und Van der Gon, 2005) können im Anhang von Stern (2006) gefunden werden.

Die Immissionsprognosen 2010 und 2020 liefern die Immissionsänderungen, die auf Grund der von 2000 nach 2010 bzw. 2020 entsprechend dem CLE-Szenario („Current Legislation“) prognostizierten Emissionsänderung zu erwarten sind. Das CLE-Szenario beschreibt die Emissionsentwicklung, die sich aus der Umsetzung bereits heute festgeschriebener Maßnahmen für das Jahr 2010 und 2020 ergeben. Die Immissionsprognosen 2010 und 2020 wurden auf der Basis des meteorologischen Jahrs 2000 erstellt. Die Prognosen können damit zum Teil direkt mit den in Amann et al. (2005) beschriebenen EMEP-Ergebnissen für dieses Jahr verglichen werden. Der Vergleich der Auswirkungen der Emissionsrasterung (EMEP-Rasterung gegen TNO-Rasterung) erfolgte auf der Basis des meteorologischen Jahres 2002, da für dieses Jahr bereits Ergebnissen mit den in das RCG-Raster umgesetzten EMEP-Daten vorlagen.

Die Ausbreitungsrechnungen wurden jeweils in zwei Raumskalen durchgeführt:

- Europaweit in der Auflösung von 0.25° Breite und 0.5° Länge
- Deutschlandweit in der Auflösung von 0.125° Breite und 0.25° Länge

Das deutschlandweite Modellgebiet zeigt die Abbildung 1. Die Randbedingungen für dieses Gebiet wurden für alle im Modell betrachteten Schadstoffe in stündlicher Auflösung aus den europaweiten Modellrechnungen übergeben. Insgesamt wurden für diese Studie 8 Jahresberechnungen durchgeführt:

- Europaweiter Basislauf, TNO-Emissionen 2000, Meteorologie 2002
- Europaweiter Basislauf, EMEP-CAFE-Emissionen 2000, Meteorologie 2002
- Europaweiter Basislauf, TNO-Emissionen 2000, Meteorologie 2000
- Europaweiter Szenariolauf, TNO-Emissionen CLE 2010, Meteorologie 2000
- Europaweiter Szenariolauf, TNO-Emissionen CLE 2020, Meteorologie 2000
- Deutschlandweiter Basislauf, Emissionen 2000, Meteorologie 2000
- Deutschlandweiter Szenariolauf, Emissionen CLE 2010, Meteorologie 2000
- Deutschlandweiter Szenariolauf, Emissionen CLE 2020, Meteorologie 2000

Die Auswertung der Läufe erfolgte für NO₂, PM₁₀ und Ozon.

Das folgende Kapitel gibt einen kurzen Überblick zu der Emissionssituation 2000, 2010 und 2020 in Deutschland. Danach werden anhand des Basislaufs für die Meteorologie 2002 die Auswirkungen einer Gittertransformation (EMEP-Gitter nach RCG-Gitter) und diejenigen einer Gitterverfeinerung (0.25° Breite auf 0.125° Breite, 0.5° Länge auf 0.25° Länge) diskutiert. Anschließend erfolgt die Auswertung der Emissionsszenarien für die geplante Emissionssituation 2010 und 2020. Der Schluss des Berichts präsentiert noch einen kurzen Vergleich der RCG-Ergebnisse mit denjenigen Ergebnissen des EMEP-Modells, die für den CAFE-Prozess verwendet wurden.

2. Basisemissionen 2000 und 2010

Eine Aufschlüsselung der deutschen Emissionen für das Jahr 2000 in die SNAP-Verursachergruppen zeigt die Tabelle 1. Die PM10-Emissionen enthalten die durch Reifen- und Bremsabrieb verursachten Emissionen, aber nicht die durch die Kfz-Bewegung verursachte Aufwirbelung von Straßenstaub. Die nationalen Emissionsmengen für die anderen Länder in Europa können in Stern (2006) gefunden werden. Die Tabelle 2 zeigt für Deutschland die nach dem CLE-Szenario („Current Legislation scenario“, Umsetzung bereits heute festgeschriebener Maßnahmen bis zum Jahr 2010) zu erwartenden Emissionen für 2010, die Tabelle 3 die entsprechenden Angaben für 2020. Tabelle 4 und Tabelle 5 zeigen die prozentualen Änderungen der Emissionen von 2000 auf 2010 und von 2000 auf 2020, jeweils bezogen auf 2000. Die Änderung der fein aufgelösten TNO-Emissionen von 2000 nach 2010 und 2020 entspricht auf nationaler Ebene der Änderung der im CAFE-Prozess verwendeten EMEP-Emissionen. Die entsprechenden Angaben für die europäischen Länder sind in Stern (2006) zu finden.

Gemittelt über ganz Deutschland vermindern sich die NO_x-Emissionen bis 2010 um circa 29%. Die aufgrund des CLE-Szenarios berechnete mittlere NMVOC-Abnahme in Deutschland beträgt circa 31%, die SO₂-Abnahme 30% und die PM10-Abnahme 14%. Für 2020 werden für diese Schadstoffe Abnahmen von 45%, 43%, 34% und 20% erwartet.

Germany Emissions 2000 kt/y	NOX	NMVOC	SOX	NH3	CO	PM25	PM10
Energy transformation	258.7	24.7	310.6	0	102	17	22
Small combustion sources	108.4	60.7	101.1	0	919	16.9	19.2
Industrial combustion	161.6	6.6	109.1	0	663	15.1	19.9
Industrial process emissions	27.1	112	93.2	11	561	23.9	56.1
Extraction of fossil fuels	0	55.4	0	0	0	1.6	12.9
Solvent and product use	0	742	0	0	0	0	0
Road transport	0	0	21.9	0	0	0	0
Gasoline	365.2	226.7	0	20.5	2226	3.3	3.3
Diesel	519.2	92.7	0	1.4	153	38.7	38.7
Brake and tyrewear	0	0	0	0	0	4.3	16.3
Volatilisation losses	0	77	0	0	0	0	0
Non road transport	216.4	123.8	5.3	0	144	29.2	30.9
Waste handling and disposal	0	0	0	0	0	12.9	12.9
Agriculture	0	0	0	605.3	0	4.5	22.7
Nature	0	0	0	0	0	0	0
Shipping	0	0	0	0	0	0	0
SUM OVER ALL SECTORS	1656.6	1521.6	641.2	638.2	4768	167.4	255

Tabelle 1: Emissionen 2000 in Deutschland aufgeteilt in die SNAP-Verursachergruppen

Germany Emissions 2010 kt/y	NOX	NMVOC	SOX	NH3	CO	PM25	PM10
Energy transformation	196.1	24.5	251.1	0	157.8	15.1	19.4
Small combustion sources	106.4	66.8	49.1	0	1407.6	18.1	19.7
Industrial combustion	133	5.5	69.4	0	82.7	14.1	17.9
Industrial process emissions	25.5	102.6	72.6	10.8	468.7	21	50.3
Extraction of fossil fuels	0	30.2	0	0	0	1.4	11.9
Solvent and product use	0	563.4	0	0	0	0	0
Road transport	0	0	6.4	0	0	0	0
Gasoline	233	99.3	0	7	1548.1	1.9	1.9
Diesel	331.2	40.6	0	0.5	106.2	22	22
Brake and tyrewear	0	0	0	0	0	2.5	17.8
Volatilisation losses	0	33.7	0	0	0	0	0
Non road transport	157	90	1.2	0	474.2	19.8	21
Waste handling and disposal	0	0	0	0	0	12.8	12.8
Agriculture	0	0	0	605.4	0	4.7	23.9
Nature	0	0	0	0	0	0	0
Shipping	0	0	0	0	0	0	0
SUM OVER ALL SECTORS	1182.1	1056.6	449.7	623.7	4245.4	133.4	218.6

Tabelle 2: Emissionen 2010 in Deutschland aufgeteilt in die SNAP-Verursachergruppen. CLE-Szenario

Germany Emissions 2020 kt/y	NOX	NMVOC	SOX	NH3	CO	PM25	PM10
Energy transformation	188.2	25.6	238.5	0.0	169.4	14.4	19.2
Small combustion sources	107.0	68.0	45.0	0.0	1429.1	18.2	19.7
Industrial combustion	129.0	5.0	60.1	0.0	78.6	14.7	18.6
Industrial process emissions	25.6	102.2	74.3	10.8	570.7	21.6	51.5
Extraction of fossil fuels	0.0	29.0	0.0	0.0	0.0	1.3	11.0
Solvent and product use	0.0	473.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Road transport	0.0	0.0	6.6	0.0	0.0	0.0	0.0
Gasoline	142.9	66.3	0.0	3.9	1189.9	1.3	1.3
Diesel	203.2	27.1	0.0	0.3	81.7	15.3	15.3
Brake and tyrewear	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7	19.3
Volatilisation losses	0.0	22.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Non road transport	110.5	47.8	1.4	0.0	480.1	9.1	9.6
Waste handling and disposal	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.3	14.3
Agriculture	0.0	0.0	0.0	591.4	0.0	4.7	23.8
Nature	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SHIPPING	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
SUM OVER ALL SECTORS	906.4	867.2	426	606.3	3999.5	116.6	203.7

Tabelle 3 Emissionen 2020 in Deutschland aufgeteilt in die SNAP-Verursachergruppen. CLE-Szenario.

Change 2000-2010 %	NOX	NMVOC	SOX	NH3	CO	PM25	PM10
Energy transformation	-24.2	-0.8	-19.2		54.7	-11.2	-11.8
Small combustion sources	-1.8	10.0	-51.4		53.2	7.1	2.6
Industrial combustion	-17.7	-16.7	-36.4		-87.5	-6.6	-10.1
Industrial process emissions	-5.9	-8.4	-22.1	-1.8	-16.5	-12.1	-10.3
Extraction of fossil fuels		-45.5				-12.5	-7.8
Solvent and product use		-24.1					
Road transport			-70.8				
Gasoline	-36.2	-56.2		-65.9	-30.5	-42.4	-42.4
Diesel	-36.2	-56.2		-64.3	-30.5	-43.2	-43.2
Brake and tyrewear						-41.9	9.2
Volatilisation losses		-56.2					
Non road transport	-27.4	-27.3	-77.4		229.3	-32.2	-32.0
Waste handling and disposal						-0.8	-0.8
Agriculture				0.0		4.4	5.3
Nature							
Shipping							
SUM OVER ALL SECTORS	-28.6	-30.6	-29.9	-2.3	-11.0	-20.3	-14.3

Tabelle 4: Änderung der deutschen Emissionen 2000 nach 2010 in %, bezogen auf 2000.

Change 2000-2020 %	NOX	NMVOC	SOX	NH3	CO	PM25	PM10
Energy transformation	-27.2	3.6	-23.2		66.1	-15.0	-12.7
Small combustion sources	-1.2	12.0	-55.5		55.5	7.4	2.5
Industrial combustion	-20.2	-23.6	-44.9		-88.2	-2.4	-6.4
Industrial process emissions	-5.6	-8.8	-20.2	-1.9	1.7	-9.7	-8.2
Extraction of fossil fuels		-47.7				-16.3	-14.3
Solvent and product use		-36.2					
Road transport			-69.8				
Gasoline	-60.9	-70.7		-81.2	-46.5	-60.5	-60.5
Diesel	-60.9	-70.7		-81.1	-46.6	-60.5	-60.5
Brake and tyrewear						-60.3	18.1
Volatilisation losses		-70.8					
Non road transport	-48.9	-61.4	-74.3		233.4	-68.8	-68.8
Waste handling and disposal						11.2	11.2
Agriculture				-2.3		3.4	4.7
Nature							
SHIPPING							
SUM OVER ALL SECTORS	-45.3	-43.0	-33.6	-5.0	-16.1	-30.3	-20.1

Tabelle 5 Änderung der deutschen Emissionen 2000 nach 2020 in %, bezogen auf 2000.

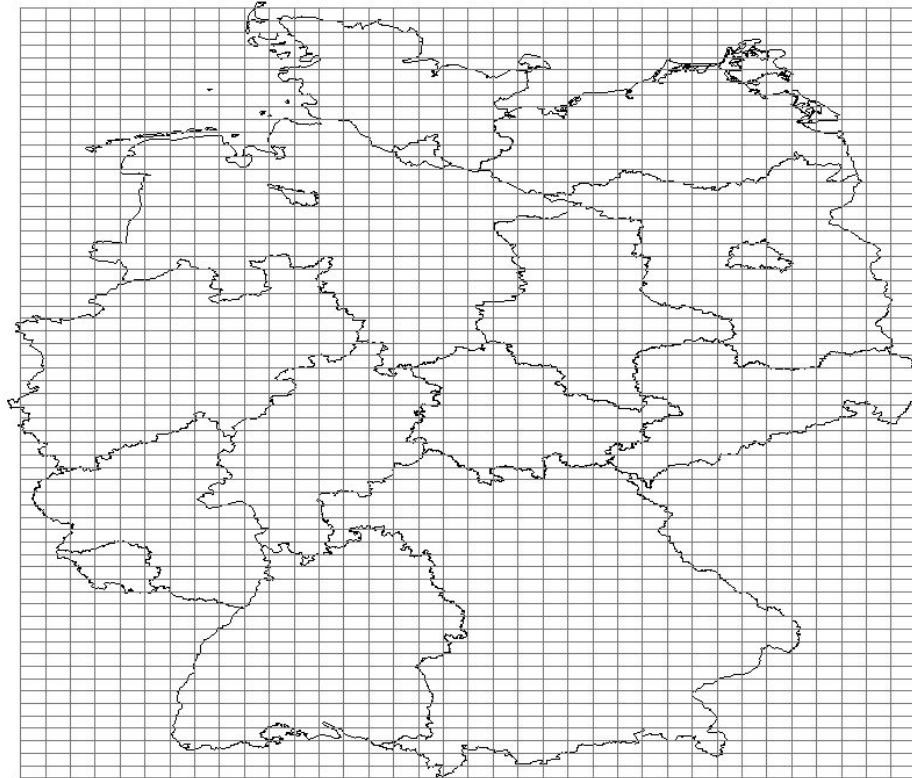


Abbildung 1: Feines Emissionsgitter mit einer Auflösung von $0,25^\circ$ Länge und $0,125^\circ$ Breite für Deutschland.

3. Der Einfluss der Rasterung auf die Immissionsverteilungen

Die im Rahmen der EMEP-Ausbreitungsrechnungen für den CAFE-Prozess benutzten geraster-ten Emissionsdaten beruhen auf den offiziellen Daten der europäischen Länder (EMEP, 2003). Die horizontale Auflösung beträgt 50 km in der Orientierung des EMEP-Modellrasters. Das RCG-Modell benutzt ein geographisches Koordinatensystem mit einer höheren Auflösung (Europaweit $0,5^\circ$ Länge und $0,25^\circ$ Breite, deutschlandweit $0,25^\circ$ Länge und $0,125^\circ$ Breite). Die EMEP-Daten liegen in einer stereographischen Projektion vor, die in 60° N flächentreu ist. Die y-Achse des EMEP-Gitters deckt sich mit dem Längengrad 32° . Die direkte Nutzung der EMEP-Emissionsdaten erfordert daher die vorherige Transformation der Daten aus dem EMEP-Gitter in das RCG-Gitter. Dieser Weg wurde für das RCG-Modell im Rahmen der internationalen Modellvergleiche „EURODELTA“ und „TFMM“ (Stern, 2004) begangen. Bei einer solchen Transformation kommt es zu einer unvermeidlichen Abflachung der Emissionsgradienten. Dies zeigt die Abbildung 2 am Beispiel der NO_x -Emissionsverteilung im Großraum Berlin. Im originalen EMEP-Raster sitzt der Schwerpunkt der Berliner Emissionen in der westlichen Stadthälfte (siehe Stern, 2004). Das $50 \times 50 \text{ km}^2$ -Raster sorgt dabei für eine Verschmierung der Berliner Emissionen weit in die westlich an Berlin angrenzenden Brandenburger Gebiete. Transformiert man diese Emissionsverteilung in das RCG-Gitter kommt es zu einer Abflachung des Emissionsgradienten verbunden mit einer weiteren Verschmierung der Berliner Emissionen, da ein Teil der Berliner Emissionen aus dem EMEP-Raster in RCG-Rasterzellen umverteilt wird, die keine Überdeckung mit dem Berliner Stadtgebiet haben. Dies hat zur Folge, dass nach der Transformation in den Gitterzellen westlich des Berliner Stadtgebietes höhere Emissionen auftreten als in den die östlichen Teile Berlins überdeckenden Zellen. Das untere Bild der Abbildung 2 zeigt dagegen die direkt im RCG-Raster von der TNO erhobenen Emissionsdaten. Es ist offensichtlich, dass der Emissionsgradient Stadt-Land in der TNO-Emissionsdatenbasis sehr viel stärker ist als in der in das RCG-Raster transformierten EMEP-Datenbasis.

Mit beiden Datenbasen wurde für das meteorologische Bezugsjahr 2002 eine europaweite Jahresrechnung in der Rasterung $0,25^\circ$ Breite und $0,5^\circ$ Länge durchgeführt. Diese Rechenläufe sollen aufzeigen, welchen Einfluss die Art der Rasterung auf die Immissionen hat. Ein weiterer Jahreslauf in der Auflösung von $0,125^\circ$ Breite und $0,25^\circ$ Länge auf Basis der TNO-Emissionen diente zur Klärung der Frage, wie weit sich eine Halbierung der Maschenweite in einer deutschlandweiten Modellanwendung auf die Konzentrationsverteilungen auswirkt. Abbildung 3 und Abbildung 4 zeigen die berechneten NO_2 - und PM_{10} -Jahresmittelwerte in Deutschland in der Auflösung $0,25^\circ$ Breite und $0,5^\circ$ Länge auf Basis der transformierten EMEP-Emissionen und auf Basis der direkt im RCG-Raster erhobenen TNO-Emissionen. Es ist offensichtlich, dass der Rechenlauf mit den transformierten EMEP-Emissionen zu einer deutlich flacheren NO_2 - und PM_{10} -Konzentrationsverteilung führt als der Lauf mit den TNO-Emissionen. Der Großraum Berlin und auch andere Ballungsräume heben sich in den Konzentrationsfeldern auf Basis der EMEP-Emissionen nicht oder nur sehr geringfügig von der Umgebung ab, da die Lage des EMEP-Gitters in diesen Regionen verbunden mit der Transformation ins RCG-Gitter bereits zu einer starken Verschmierung der Emissionen führen (siehe Abbildung 2 für das Beispiel Berlin).

Abbildung 5 zeigt die NO_2 -Jahresmittelwerte berechnet mit unterschiedlicher Maschenweite aber identischen Emissionen. Die feinere Auflösung von $0,125^\circ$ Breite und $0,25^\circ$ Länge ermöglicht in den Ballungsräumen und deren Rändern eine deutliche Erhöhung des Konzentrationsgradienten. In den emissionsschwachen Gebieten macht sich die Halbierung der Maschenweite dagegen kaum bemerkbar. Die Unterschiede in der PM_{10} -Konzentrationsverteilung (Abbildung 6) sind geringer als für NO_2 , da ein wesentlicher Teil des PM_{10} nicht direkt emittiert wird, sondern sich erst während des Transports bildet. Auswirkungen der Maschenweite auf die Ozonverteilungen

zeigen sich nur in den Ballungsräumen, wo eine kleinere Maschenweite zu einer Erhöhung des Titrationseffekts führen kann (Abbildung 7).

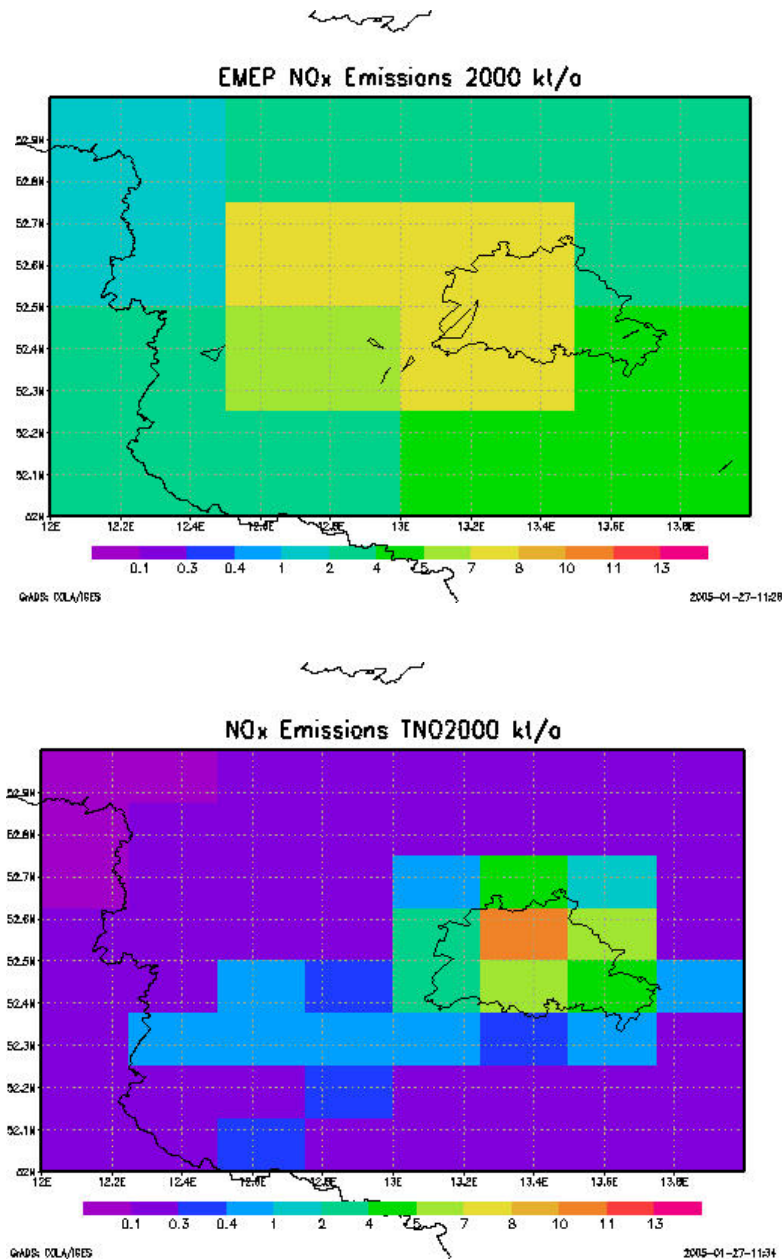


Abbildung 2: NO_x-Emissionen im Großraum Berlin. Oben: EMEP-CAFE-Emissionen 2000 transformiert in das RCG-Raster 0.125° Breite und 0.25° Länge. Unten: TNO-Emissionen 2000 direkt in der RCG-Rasterung.

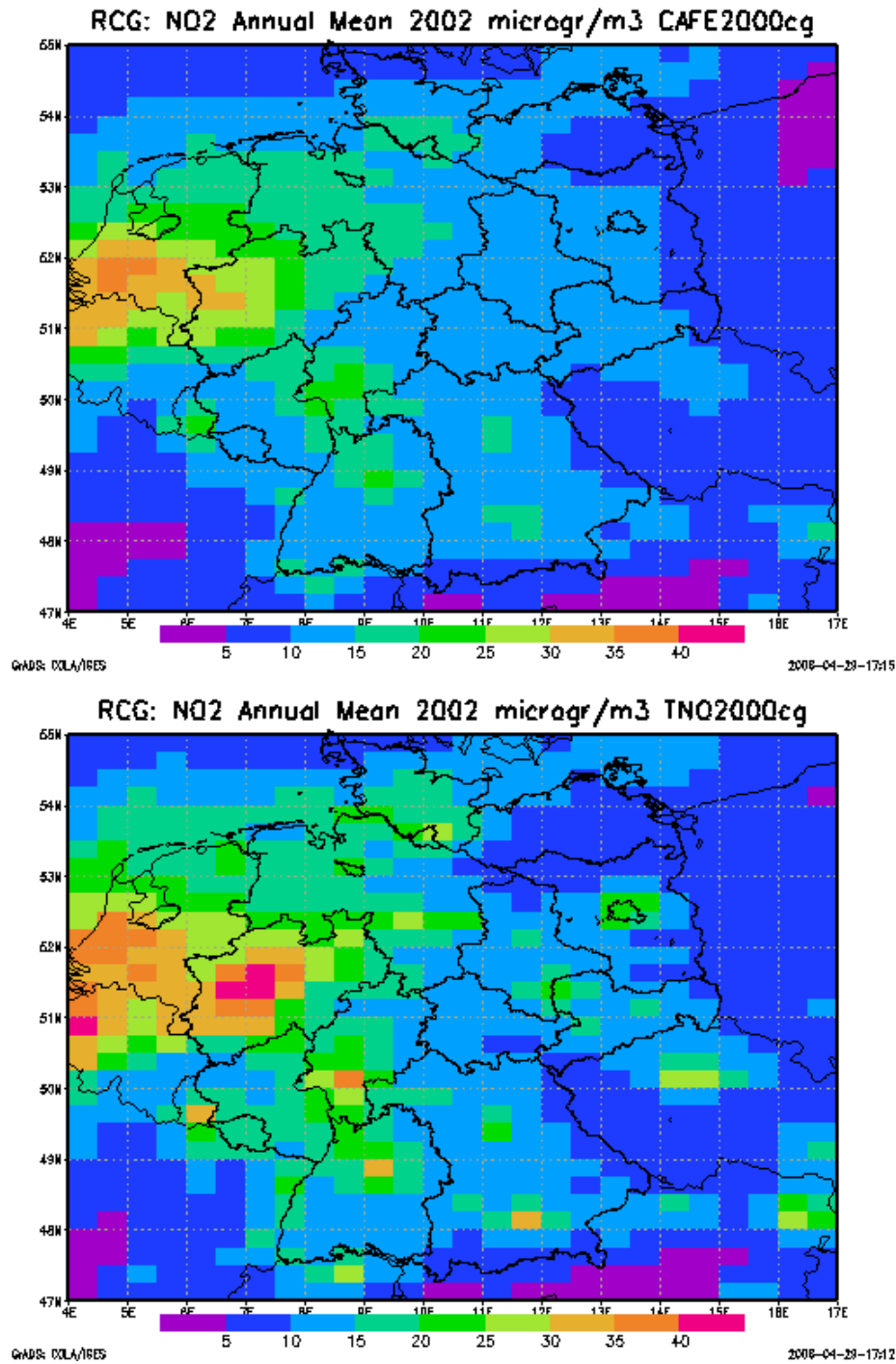


Abbildung 3: Berechnete NO₂-Jahresmittelwerte 2002 in µg/m³. Oben: EMEP-CAFE-Emissionen transformiert in das RCG-Raster, unten TNO-Emissionen 2000 direkt im RCG-Raster. Die nationalen Emissionsmengen stimmen in beiden Datenbasen überein. Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge.

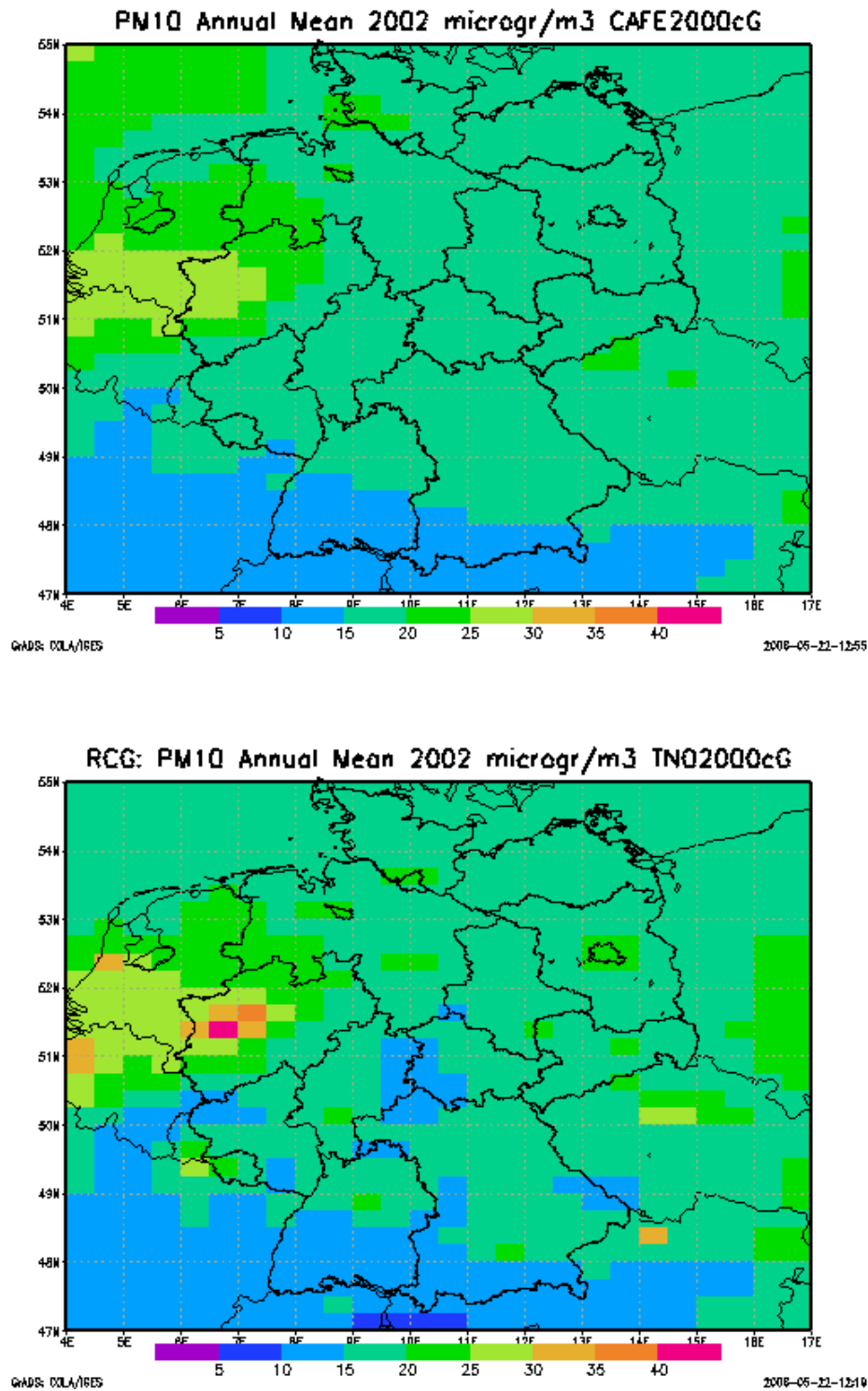


Abbildung 4 Berechnete PM10-Jahresmittelwerte 2002 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: EMEP-CAFE-Emissionen transformiert in das RCG-Raster, unten TNO-Emissionen 2000 direkt im RCG-Raster. Die nationalen Emissionsmengen stimmen in beiden Datenbanken überein. Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge.

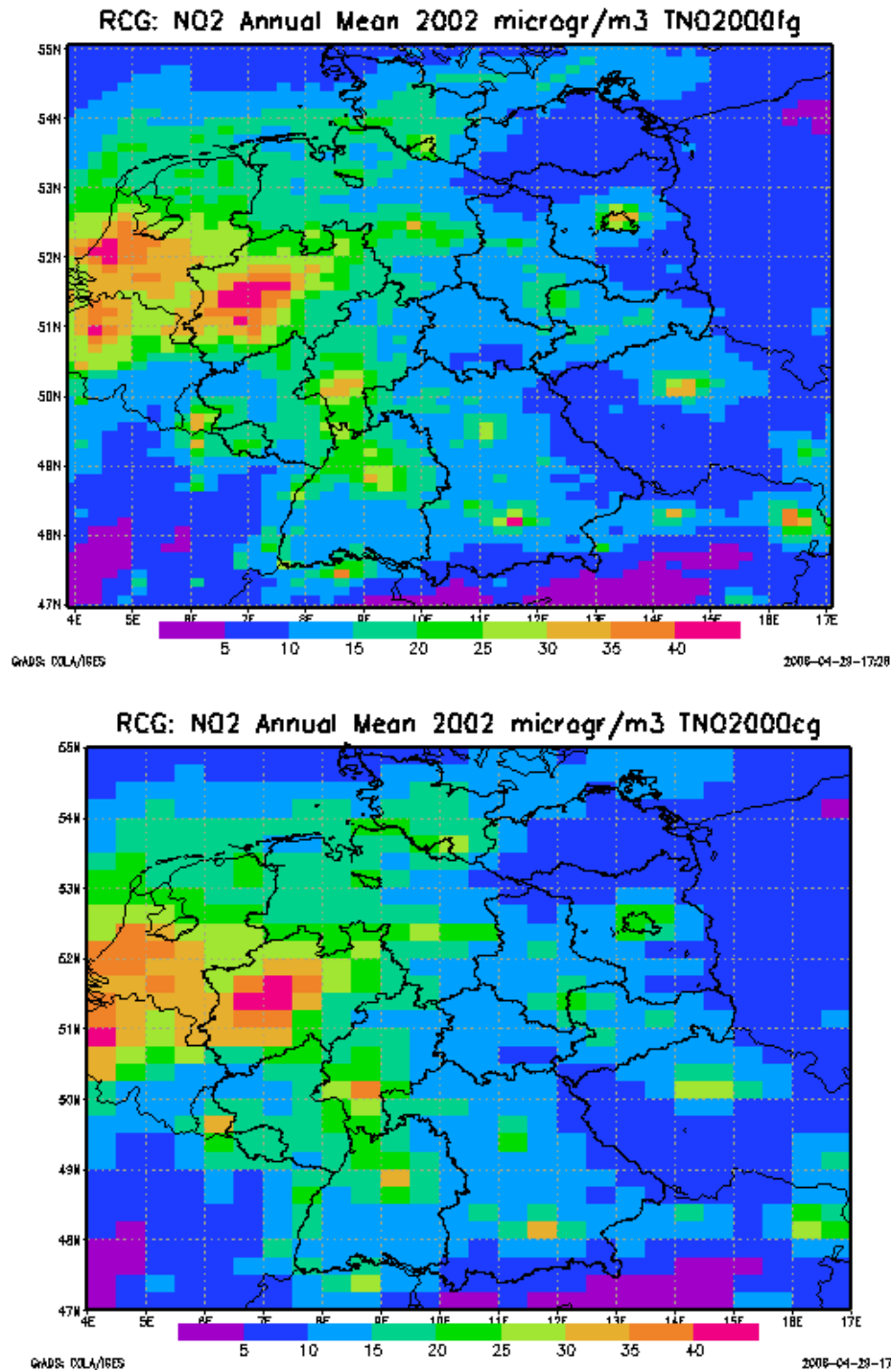


Abbildung 5: Berechnete NO₂-Jahresmittelwerte 2002 in µg/m³. Oben: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge, unten: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge. TNO-Emissionen 2000.

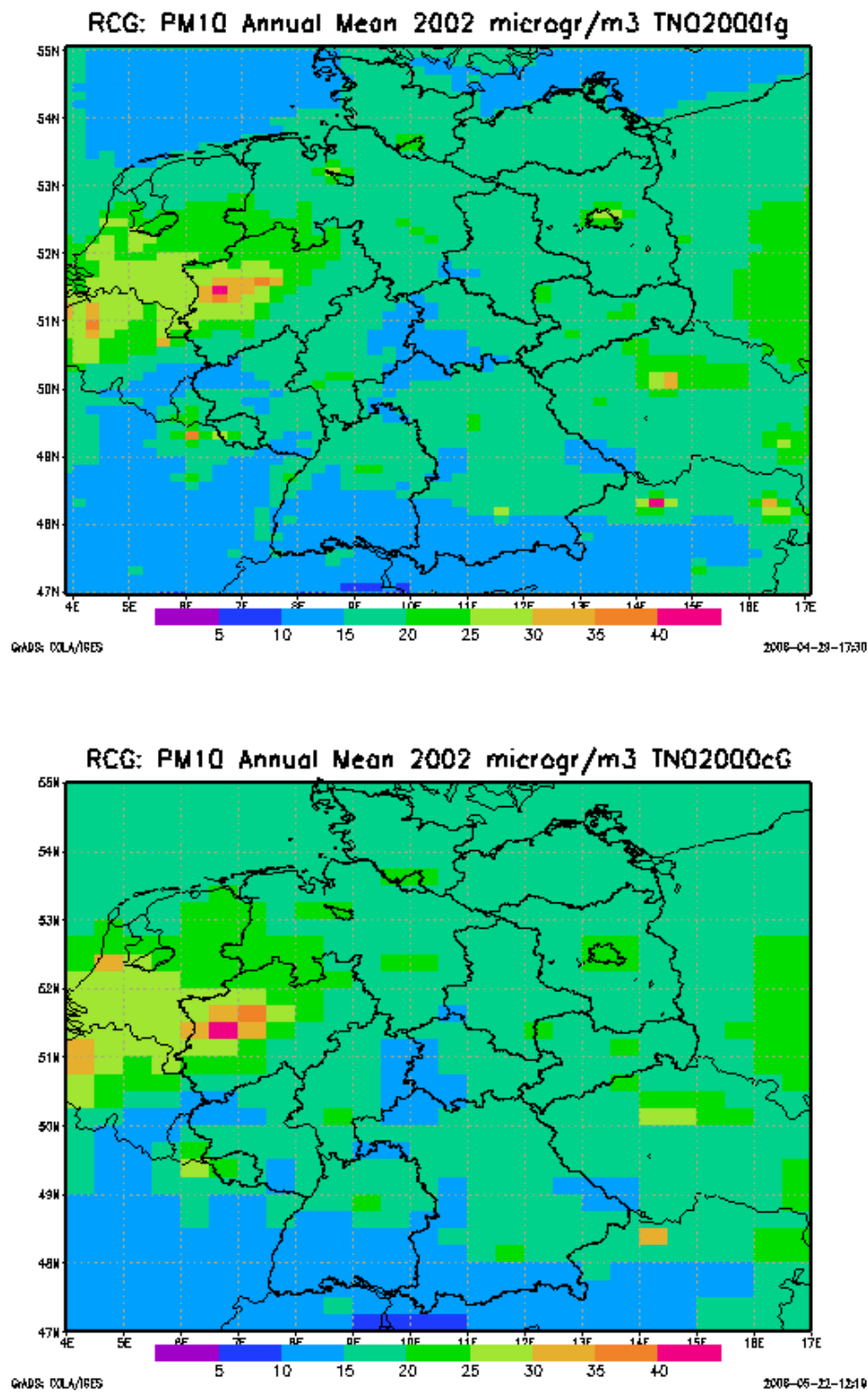


Abbildung 6: Berechnete PM10-Jahresmittelwerte 2002 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge, unten: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge. TNO-Emissionen 2000.

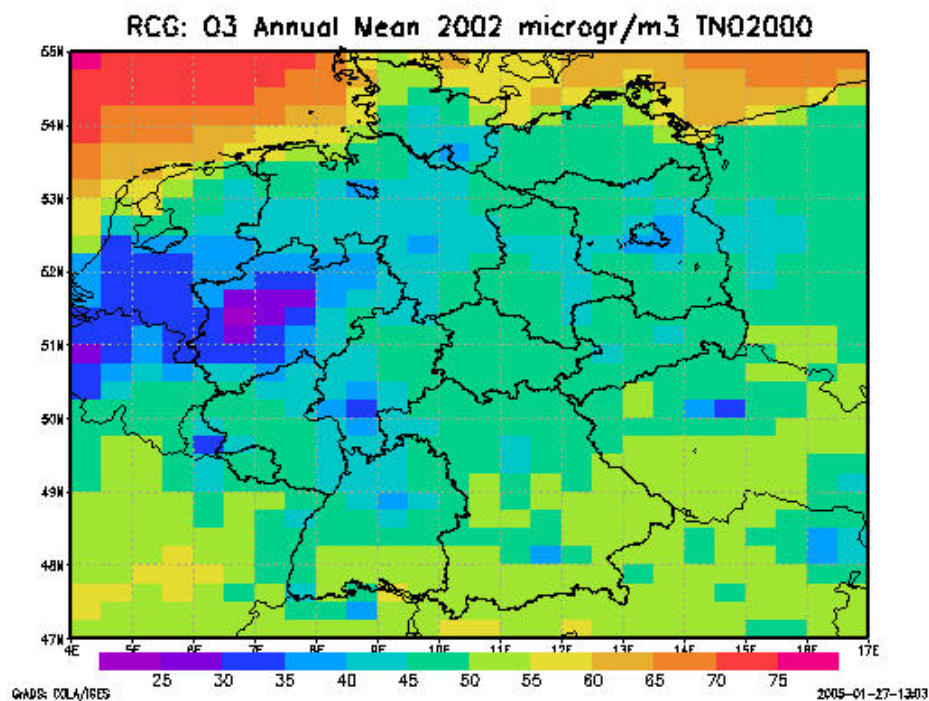
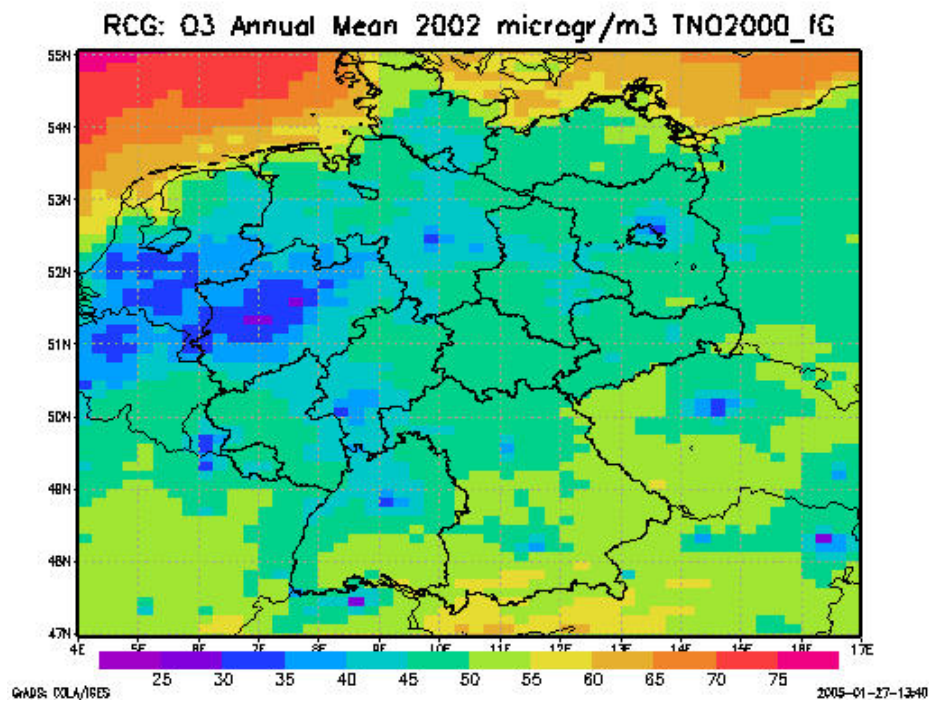


Abbildung 7: Berechnete O₃-Jahresmittelwerte 2002 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge, unten: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge. TNO-Emissionen 2000.

4. Immissionsprognose 2010 und 2020

Diese Berechnungen wurden für das meteorologische Jahr 2000 in der europaweiten und der Deutschland-Skala durchgeführt, da für dieses Jahr EMEP-Auswertungen für den CAFE-Prozess vorliegen (Amann et al., 2005). Um eine bessere Vergleichbarkeit der Abbildungen zu ermöglichen, wurde die Farbgebung der folgenden Abbildungen derjenigen der Abbildungen in Amann et al. (2005) angepasst. Es werden ausgewertet die Stoffe PM10, PM2.5, NO₂ und Ozon.

1.1. PM10 und PM2.5

Die Abbildung 8 zeigt die für das Jahr 2000 berechneten PM10-Jahresmittelwerte in der groben Auflösung für Zentraleuropa und im feineren Raster für Deutschland und die benachbarten Regionen. Wie schon ausgeführt, zeichnen sich die Ballungsgebiete in der höher auflösenden Deutschland-Anwendung deutlich stärker ab als in der Europa-Anwendung. Die höchsten PM10-Konzentrationen von circa 35 µg/m³ werden im Gebiet Duisburg berechnet. Die Abbildung 9 und die Abbildung 10 zeigen die für 2010 bzw. 2020 zu erwartenden PM10-Jahresmittelwerte unter den Bedingungen des CLE-Szenarios. In Abbildung 11 und Abbildung 12 sind die absoluten Änderungen der PM10-Konzentrationen bezogen auf den Basislauf dargestellt. Nach den Berechnungen muss in Städten im Jahre 2010 noch mit urbanen Hintergrundkonzentrationen von 15 bis 20 µg/m³, in den größeren Ballungsgebieten von 20 bis 25 µg/m³, in Teilen des Ruhrgebiets sogar von 25 bis 28 µg/m³ gerechnet werden. In eher ländlichen Regionen werden noch 10 bis 15 µg/m³ PM10 erreicht. Bezogen auf die Basissimulation mit den Emissionen 2000 entspricht dies Abnahmen von 3 bis 6 µg/m³ in städtischen Regionen und 2 bis 3 µg/m³ in ländlichen Regionen. Bis 2020 sinken die urbanen PM10-Hintergrundkonzentrationen um weitere 2 bis 3 µg/m³, die Konzentrationen in den ländlichen Regionen um weitere 1 bis 2 µg/m³ ab (Abbildung 13).

Die höchsten berechneten PM2.5-Konzentrationen des Basislaufs erreichen in den Ballungsgebieten 25 µg/m³ (Abbildung 14). In den ländlichen Regionen liegen die PM2.5-Jahresmittelwerte in dem Bereich zwischen 10 und 15 µg/m³. Insgesamt ist der Gradient zwischen städtischen und ländlichen Konzentrationen beim PM2.5 deutlich geringer als beim PM10, da ein großer Teil des PM2.5 aus überregional gebildeten sekundären Aerosolen besteht. Die für 2010 bzw. 2020 zu erwartenden PM2.5-Konzentrationen sind der Abbildung 15 und der Abbildung 16 zu entnehmen. Die maximalen PM2.5-Konzentrationen in Deutschland erreichen nach den Berechnungen in den Ballungsgebieten in 2010 noch die 20 µg/m³ Marke, im Jahre 2020 liegen sie unter 20 µg/m³. Dies entspricht für 2010 gegenüber dem Ist-Zustand 2000 Abnahmen von 1 bis 5 µg/m³, mit höheren Abnahmen in den Ballungsgebieten. Bis 2020 nehmen die PM2.5-Jahresmittelwerte dann um weitere 1 bis 3 µg/m³ ab (Abbildung 19). In der Tabelle 6 sind die für die verschiedenen Jahre in Deutschland berechneten Konzentrationsbereiche noch einmal zusammengefasst. Es muss darauf hingewiesen werden, dass diese Aussagen streng genommen nur für die meteorologischen Bedingungen des Referenzjahres 2000 gelten, das immissionsklimatologisch ein eher unauffälliges Jahr war (Flemming und Stern, 2004). Für meteorologisch extremere Jahre, wie z.B. 2003, können sich unter Umständen etwas größere Konzentrationsbereiche ergeben. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass die Skala der hier präsentierten Rechnungen nicht ausreichend ist, um städtische „hot spots“ abzubilden. In solchen Rezeptorgebieten, wie z.B. Straßenschluchten, können höhere Konzentrationen auftreten als hier berechnet wurden.

Konzentrationsbereich in $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM10	PM2.5
E2000	12 - 35	7 - 25
CLE2010	8 - 28	7 - 20
CLE2020	8 - 25	5 - 18

Tabelle 6 Berechneter PM10-und PM2.5 Konzentrationsbereich (Hintergrund) der Deutschland-Anwendung (Auflösung 0.25° Länge und 0.125° Breite) in Deutschland für den Ist-Zustand (E2000) und die CLE-Szenarien 2010 und 2020. Jahresmittelwerte basierend auf den meteorologischen Bedingungen des Jahres 2000.

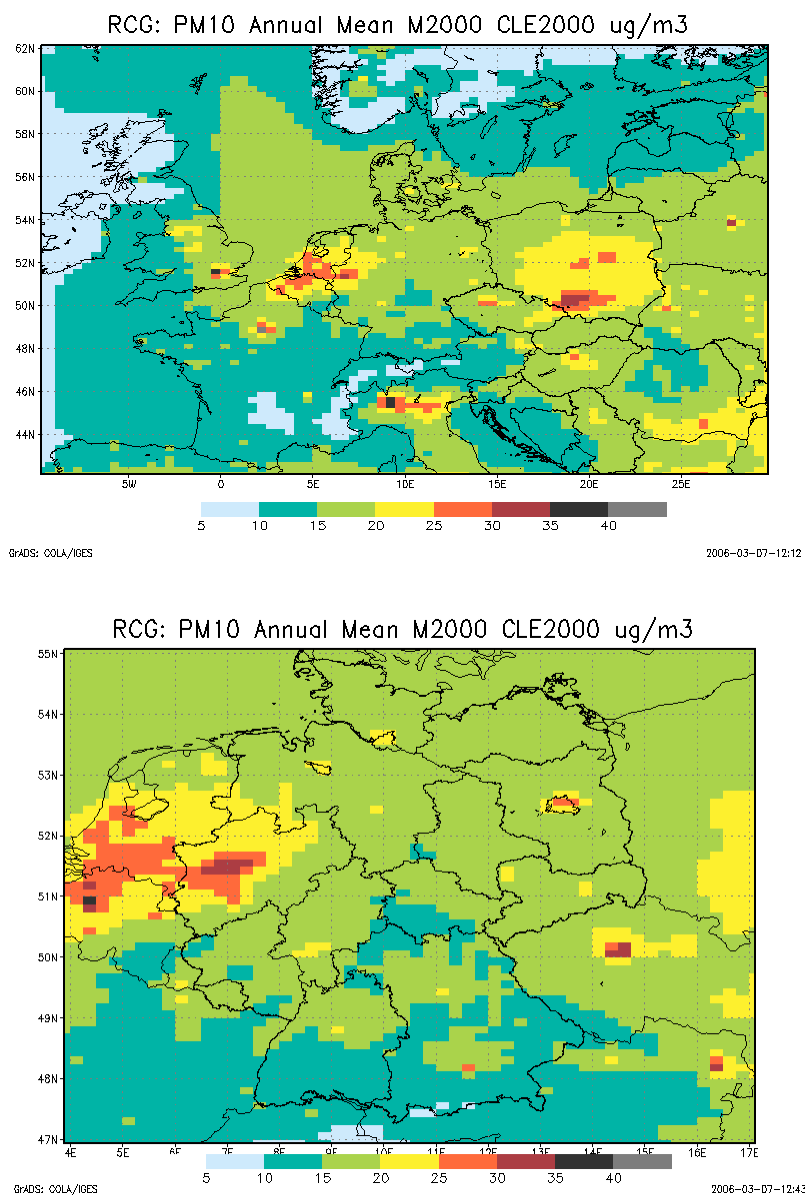


Abbildung 8 Berechnete PM10-Jahresmittelwerte 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen 2000.

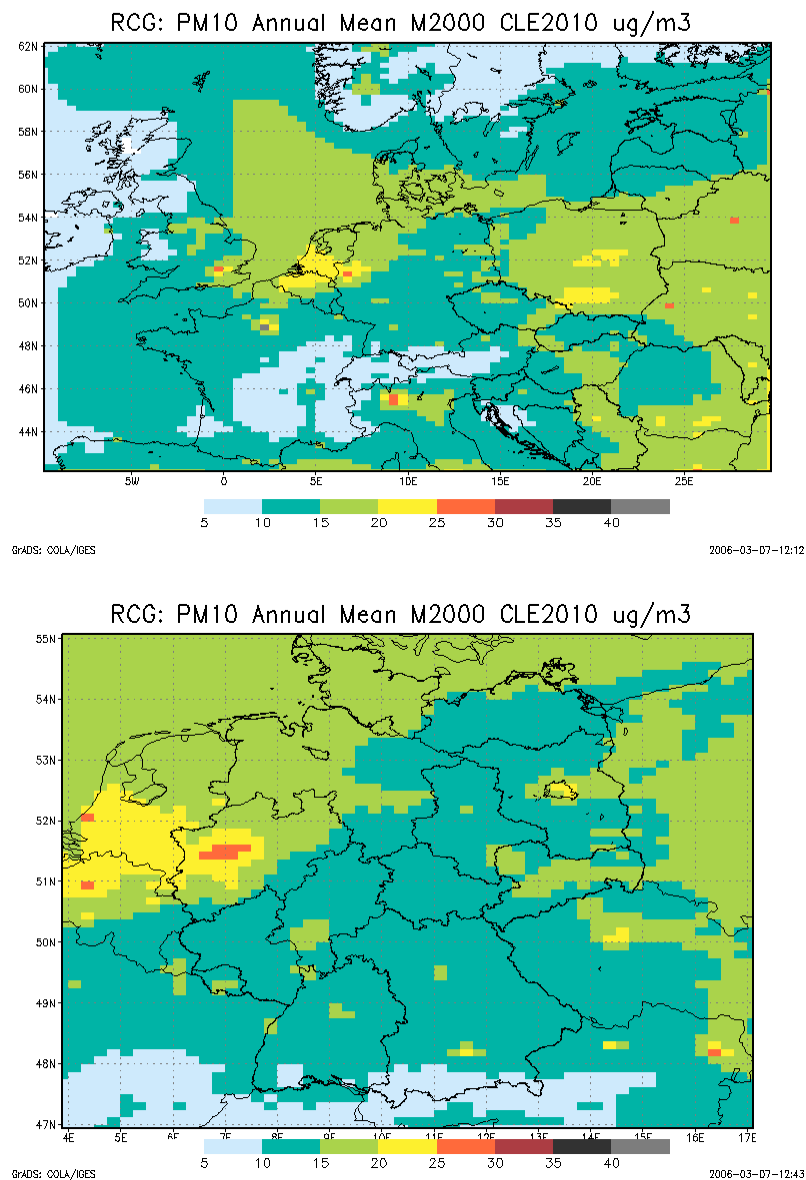


Abbildung 9 Berechnete PM10-Jahresmittelwerte 2010 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2010.

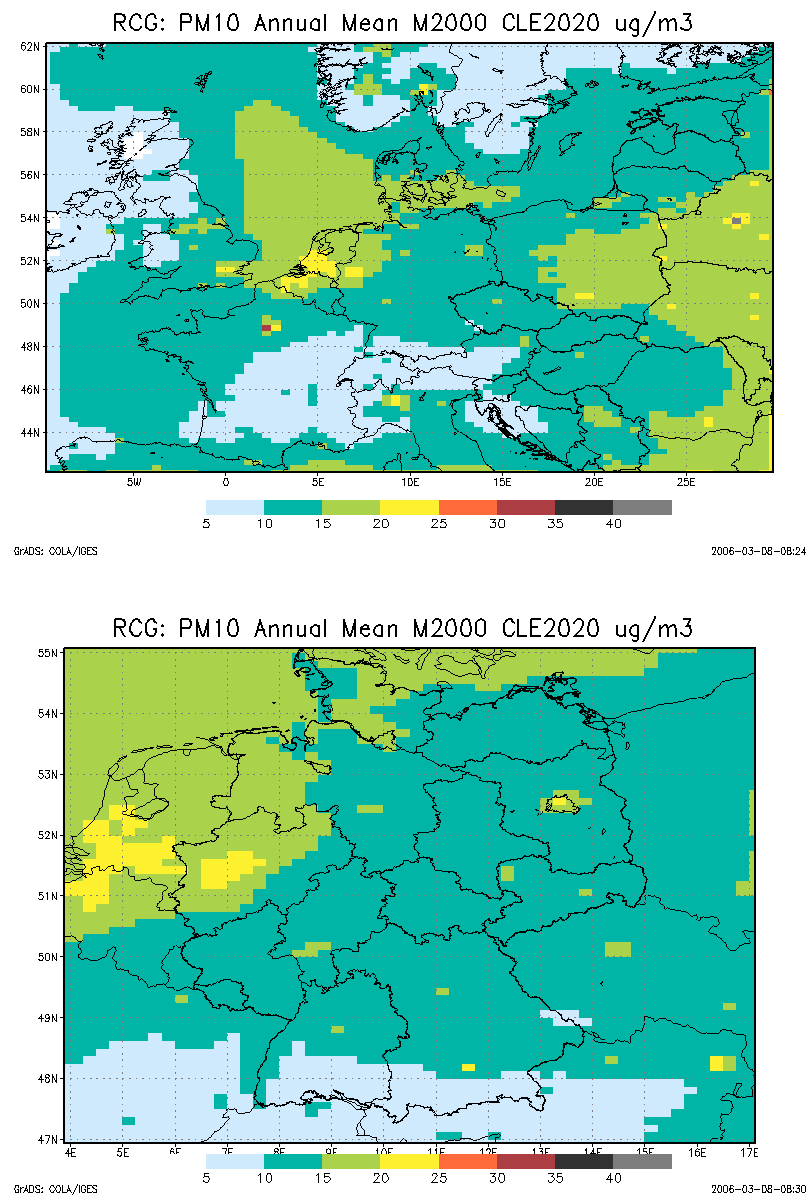


Abbildung 10 Berechnete PM10-Jahresmittelwerte 2020 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2020.

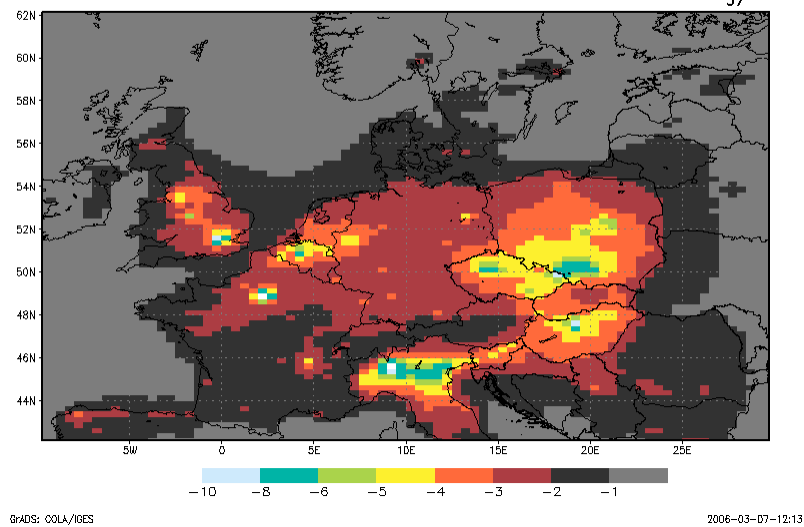
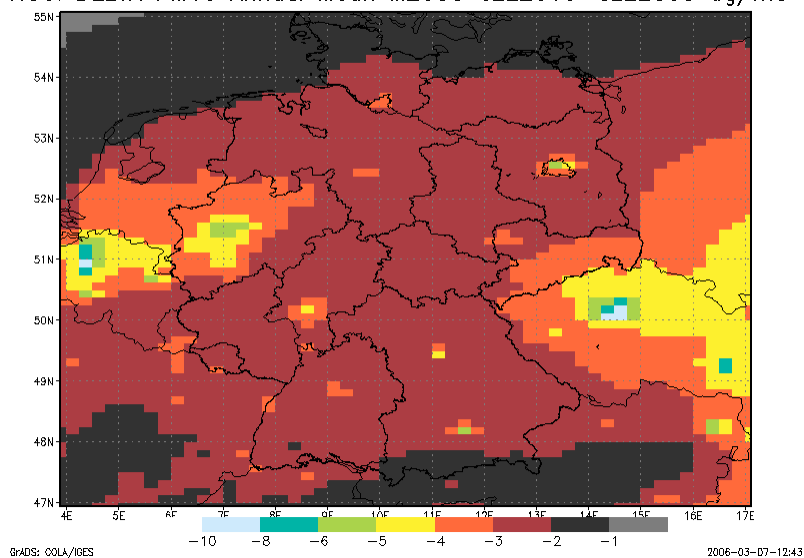
RCG: DELTA PM10 Annual Mean M2000 CLE2010-CLE2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ RCG: DELTA PM10 Annual Mean M2000 CLE2010-CLE2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

Abbildung 11 Zu erwartende absolute Änderung der PM10-Jahresmittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2000 nach 2010 (CLE2010-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

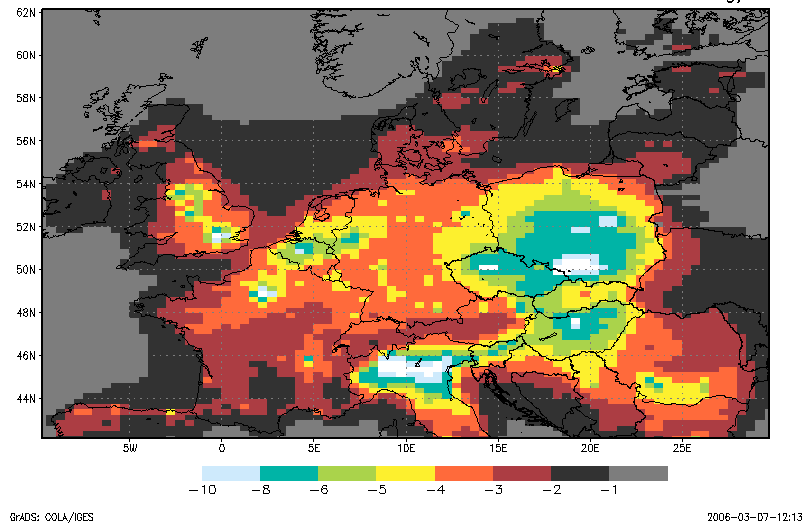
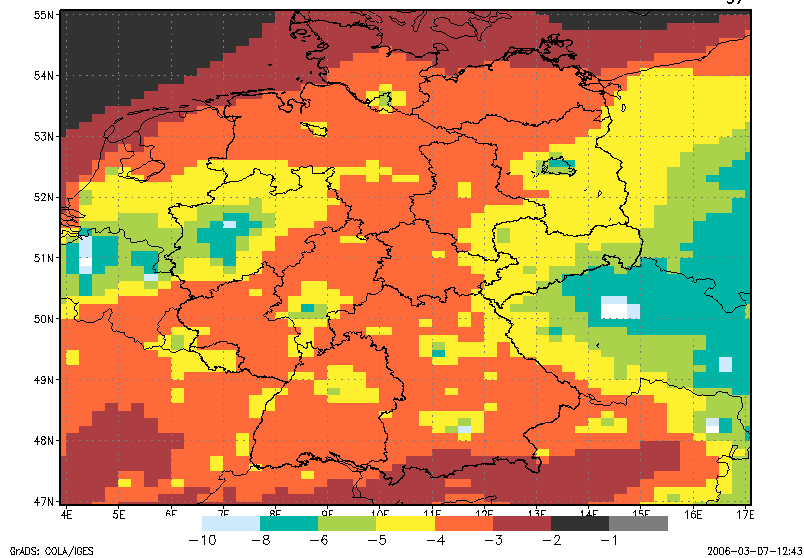
RCG: DELTA PM10 Annual Mean M2000 CLE2020-CLE2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ RCG: DELTA PM10 Annual Mean M2000 CLE2020-CLE2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

Abbildung 12 Zu erwartende absolute Änderung der PM10-Jahresmittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2000 nach 2020 (CLE2020-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

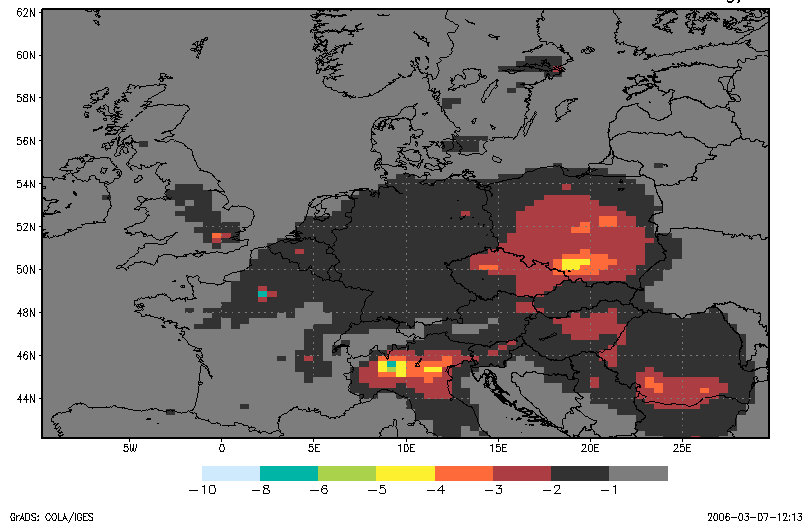
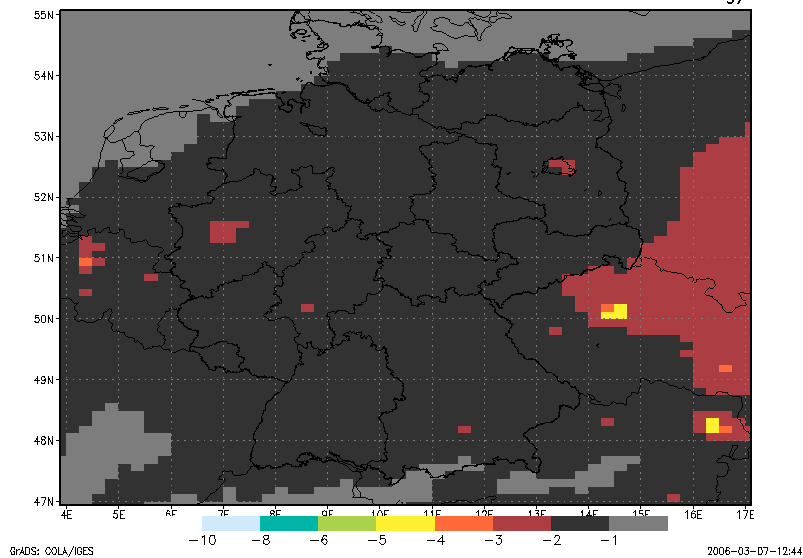
RCG: DELTA PM10 Annual Mean M2000 CLE2020-CLE2010 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ RCG: DELTA PM10 Annual Mean M2000 CLE2020-CLE2010 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

Abbildung 13 Zu erwartende absolute Änderung der PM10-Jahresmittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2010 nach 2020 (CLE2020-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

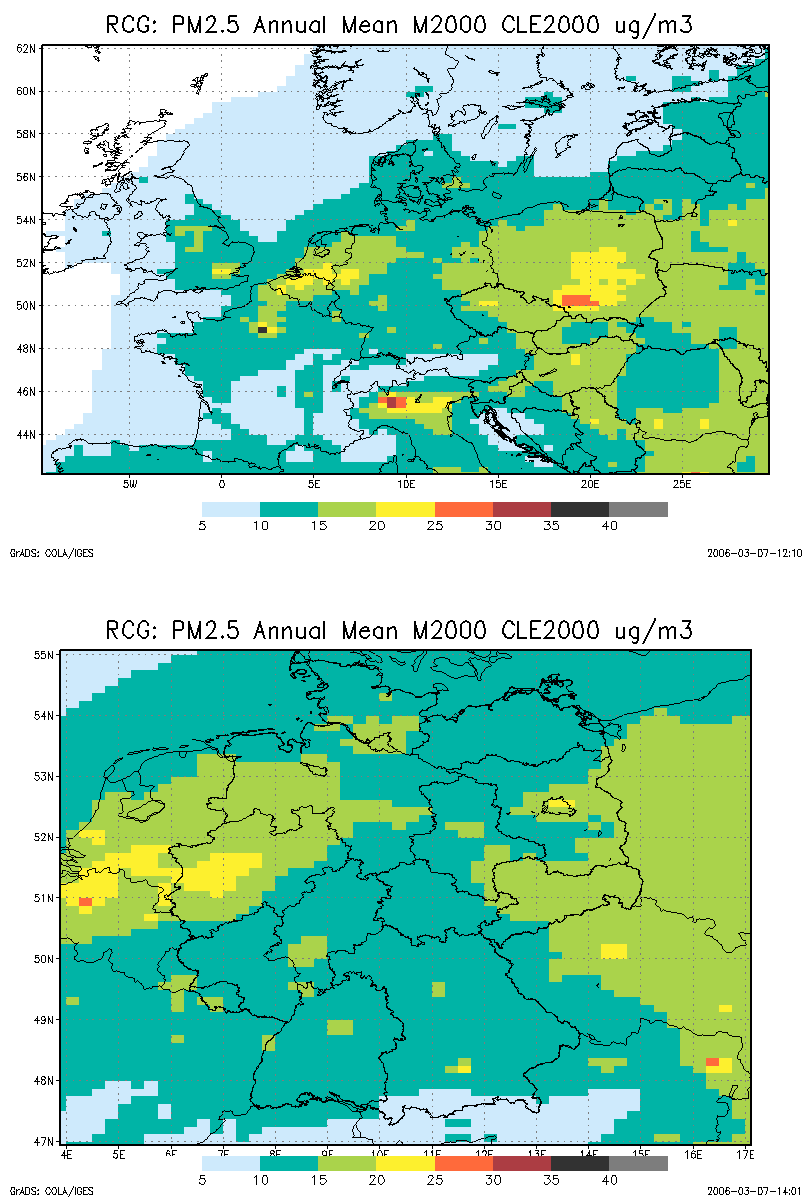


Abbildung 14 Berechnete PM2.5-Jahresmittelwerte 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen 2000.

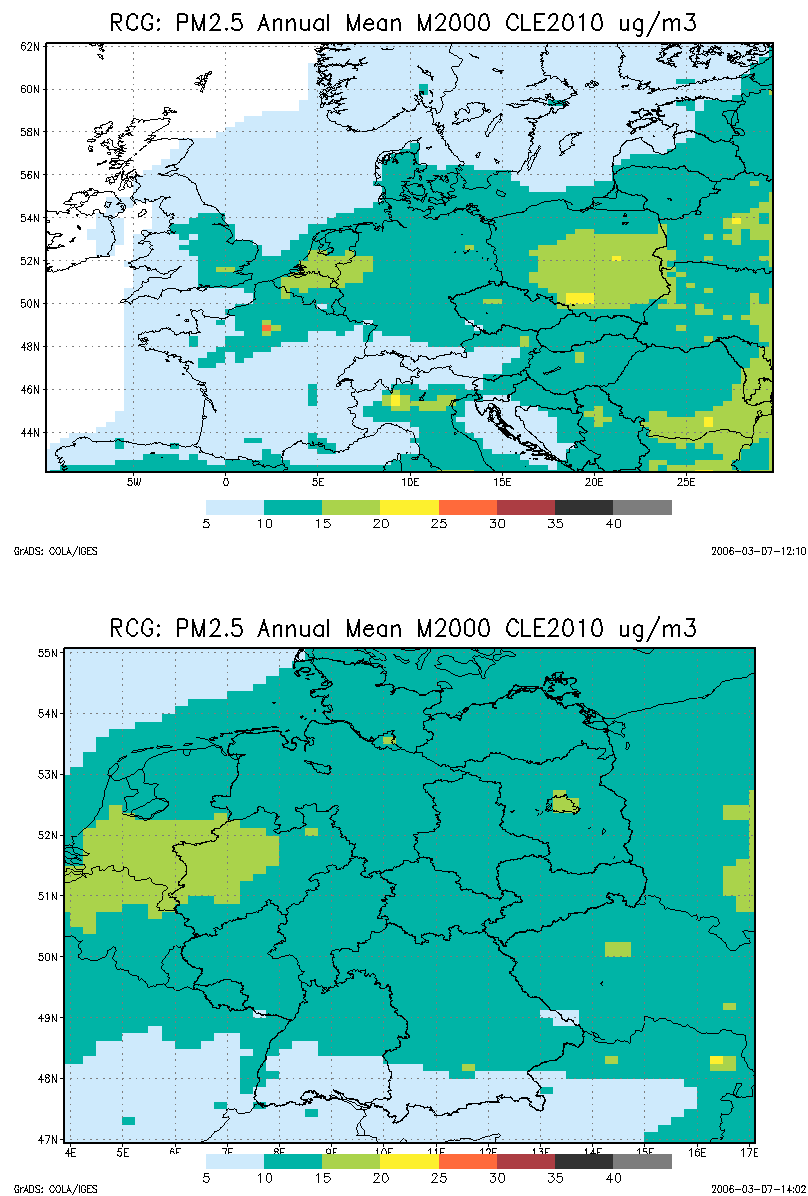


Abbildung 15 Berechnete PM2.5-Jahresmittelwerte 2010 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2010.

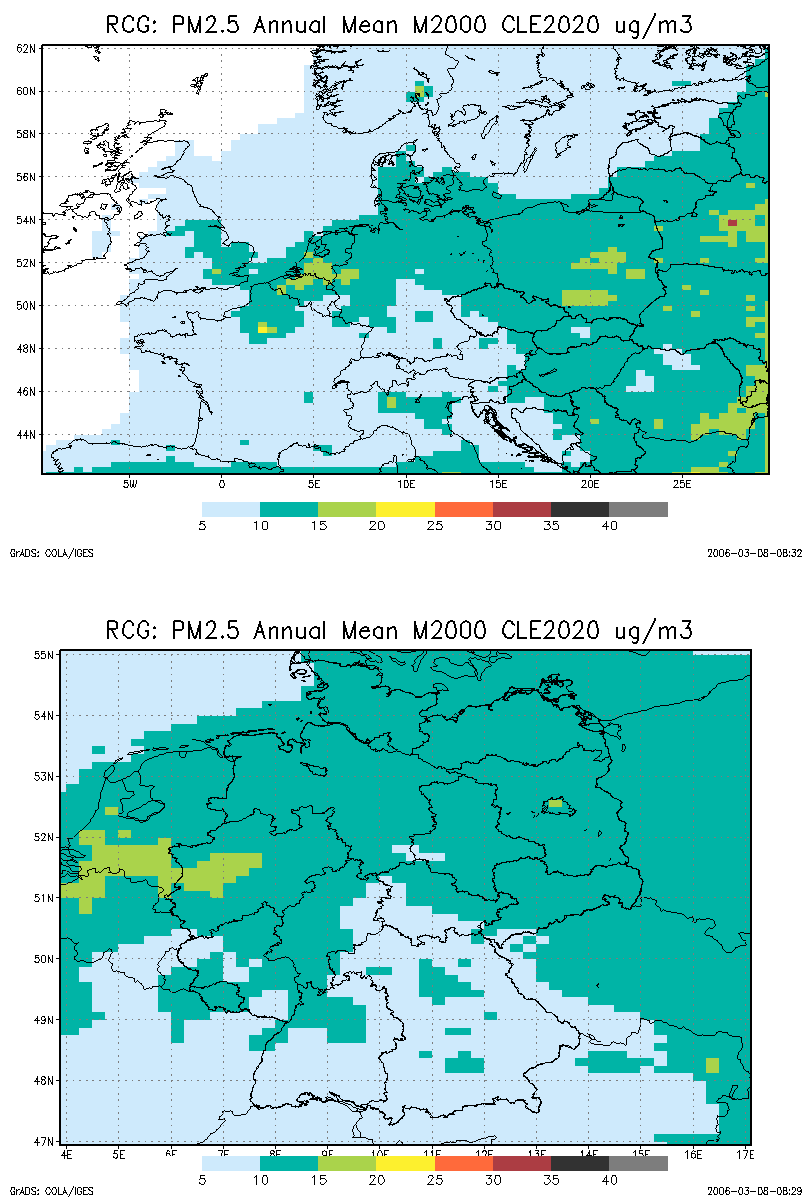


Abbildung 16 Berechnete PM2.5-Jahresmittelwerte 2020 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2020.

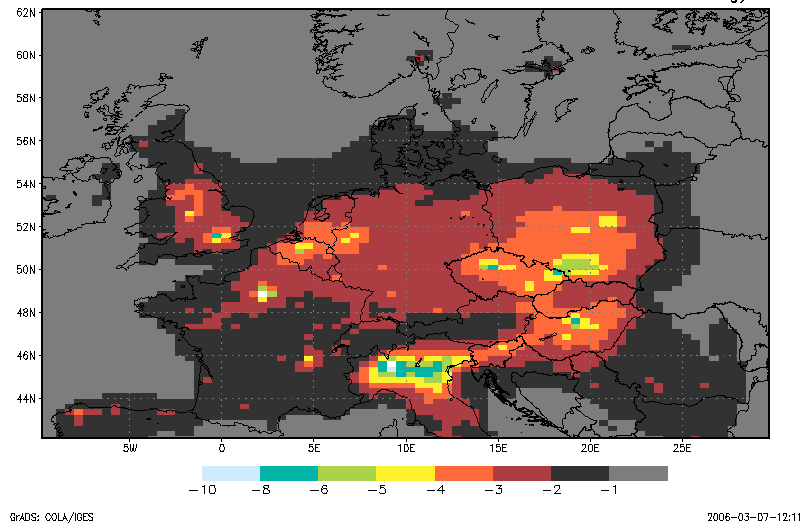
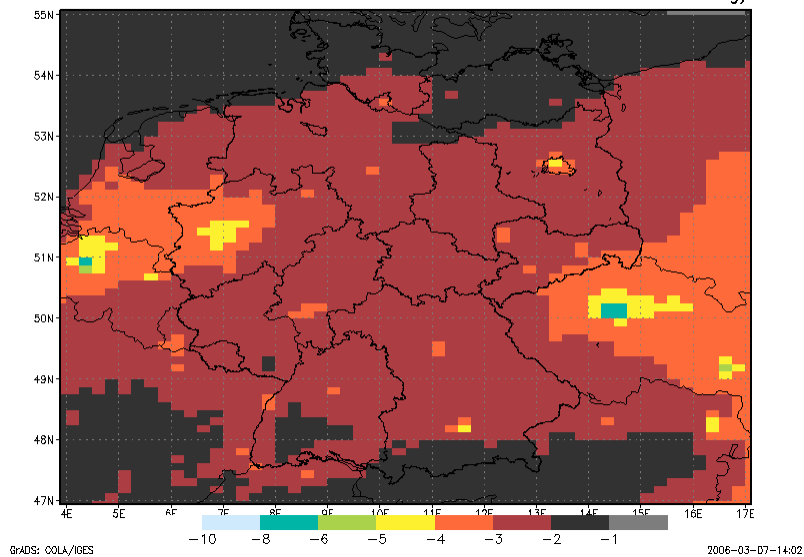
RCG: DELTA PM2.5 Annual Mean M2000 CLE2010-CLE2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ RCG: DELTA PM2.5 Annual Mean M2000 CLE2010-CLE2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

Abbildung 17 Zu erwartende absolute Änderung der PM2.5-Jahresmittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2000 nach 2010 (CLE2010-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

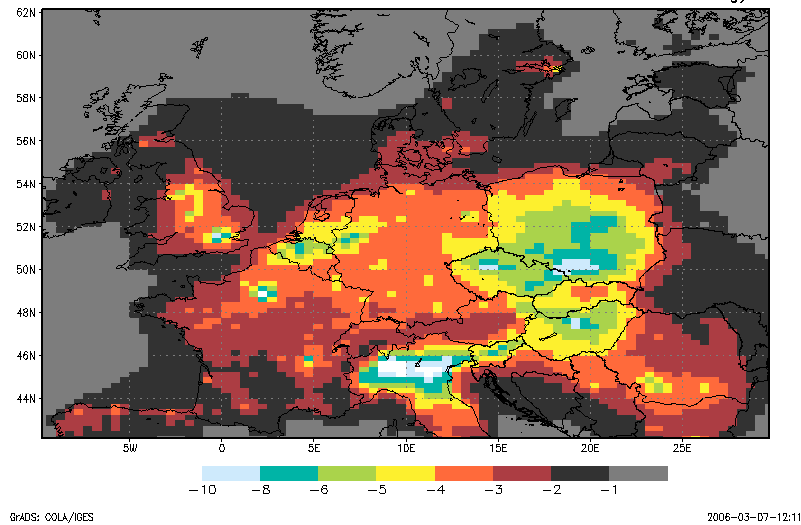
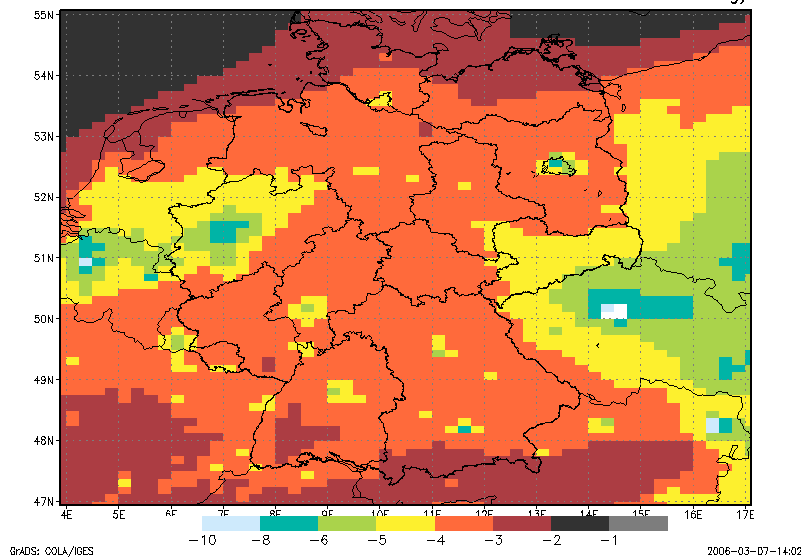
RCG: DELTA PM2.5 Annual Mean M2000 CLE2020-CLE2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ RCG: DELTA PM2.5 Annual Mean M2000 CLE2020-CLE2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

Abbildung 18 Zu erwartende absolute Änderung der PM2.5-Jahresmittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2000 nach 2020 (CLE2020-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

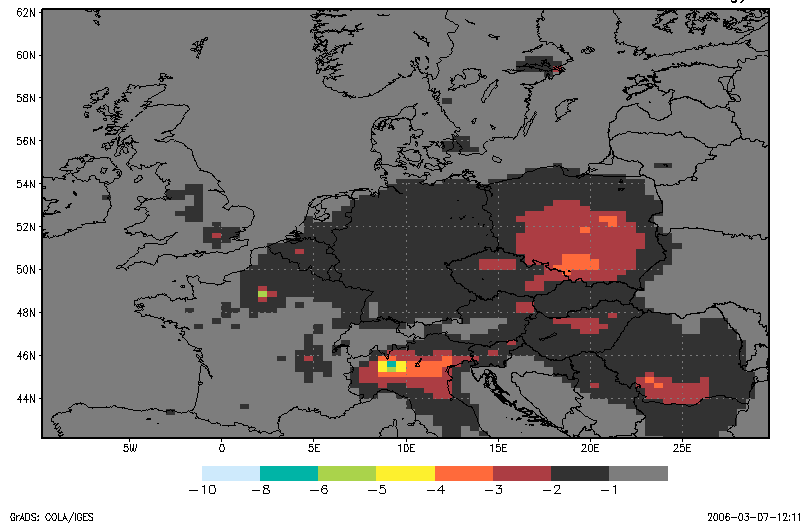
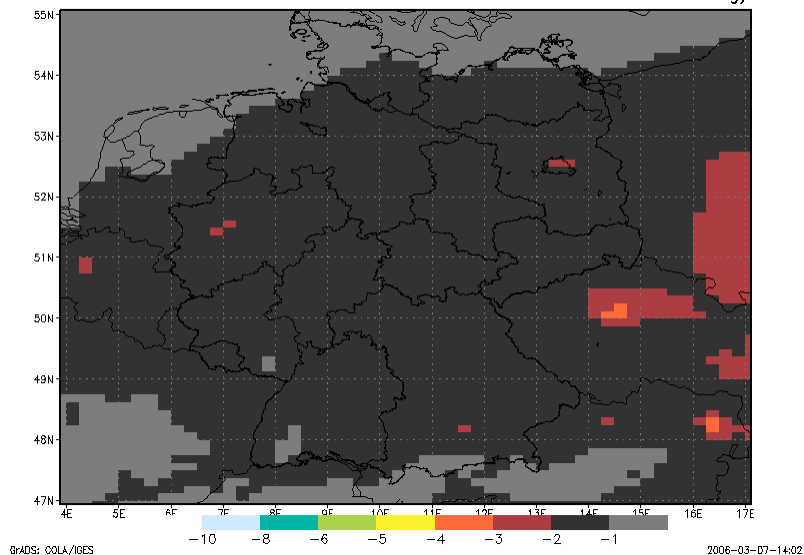
RCG: DELTA PM2.5 Annual Mean M2000 CLE2020-CLE2010 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ RCG: DELTA PM2.5 Annual Mean M2000 CLE2020-CLE2010 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

Abbildung 19 Zu erwartende absolute Änderung der PM2.5-Jahresmittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2010 nach 2020 (CLE2020-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

1.2. NO₂

Die Abbildung 20 zeigt die für das Jahr 2000 berechneten NO₂-Jahresmittelwerte in der groben Auflösung für Zentraleuropa und im feineren Raster für Deutschland und die benachbarten Regionen. Wie schon beim PM, zeichnen sich die Ballungsgebiete in der höher auflösenden Deutschland-Anwendung deutlich stärker ab als in der Europa-Anwendung. Hohe NO₂-Konzentrationen mit Jahresmittelwerten über 35 µg/m³ werden in Teilen des Ruhrgebiets sowie in den Ballungsräumen München, Stuttgart, Rhein-Main und Berlin berechnet. Diese hohen Konzentrationen zeichnen sich in der groben Auflösung nicht ab, was die Notwendigkeit hoch auflösender Modellrechnungen für Ballungsgebiete betont.

Die Abbildung 21 und die Abbildung 22 zeigen die für 2010 bzw. 2020 zu erwartenden NO₂-Jahresmittelwerte unter den Bedingungen des CLE-Szenarios. In Abbildung 23 und Abbildung 24 sind die absoluten Änderungen der NO₂-Konzentrationen bezogen auf den Basislauf dargestellt. Nach den Berechnungen muss in Städten im Jahre 2010 noch mit urbanen NO₂-Hintergrundkonzentrationen von 25 bis 30 µg/m³, in den größeren Ballungsgebieten von 30 bis 35 µg/m³ und vereinzelt bis 40 µg/m³ gerechnet werden. In eher ländlichen Regionen werden noch NO₂-Jahresmittelwerte von 5 bis 15 µg/m³ erreicht. Bezogen auf die Basissimulation mit den Emissionen 2000 entspricht dies Abnahmen von 6 bis 11 µg/m³ in städtischen Regionen und zwischen 1 und 6 µg/m³ in eher ländlichen Regionen. Bis 2020 sinken die urbanen NO₂-Hintergrundkonzentrationen um weitere 6 bis 10 µg/m³, die Konzentrationen in den ländlichen Regionen um weitere 1 bis 3 µg/m³ ab (Abbildung 25). Im urbanen Hintergrund werden die NO₂-Jahresmittelwerte im Jahre 2020 damit überwiegend unter 30 µg/m³ liegen (Abbildung 22).

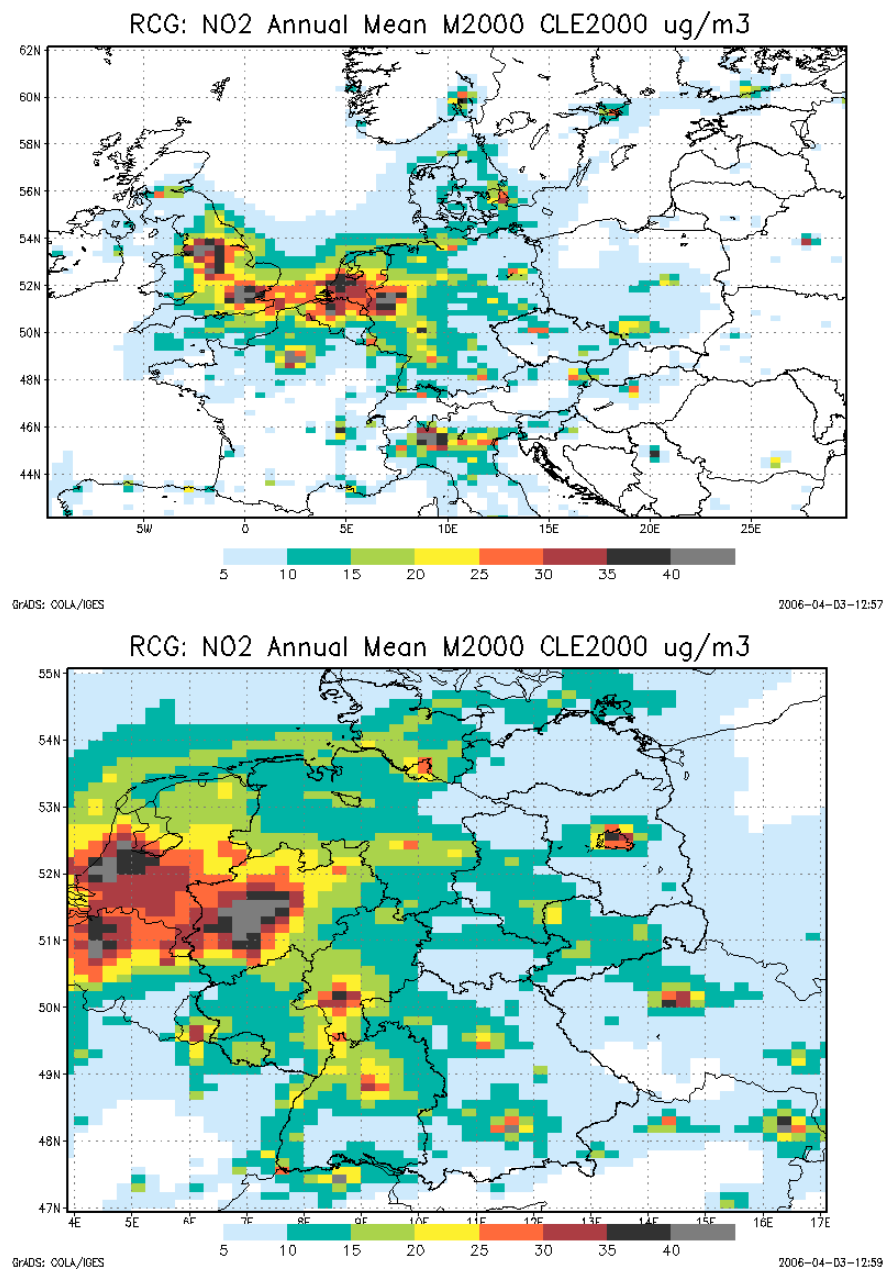


Abbildung 20 Berechnete NO₂-Jahresmittelwerte 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen 2000.

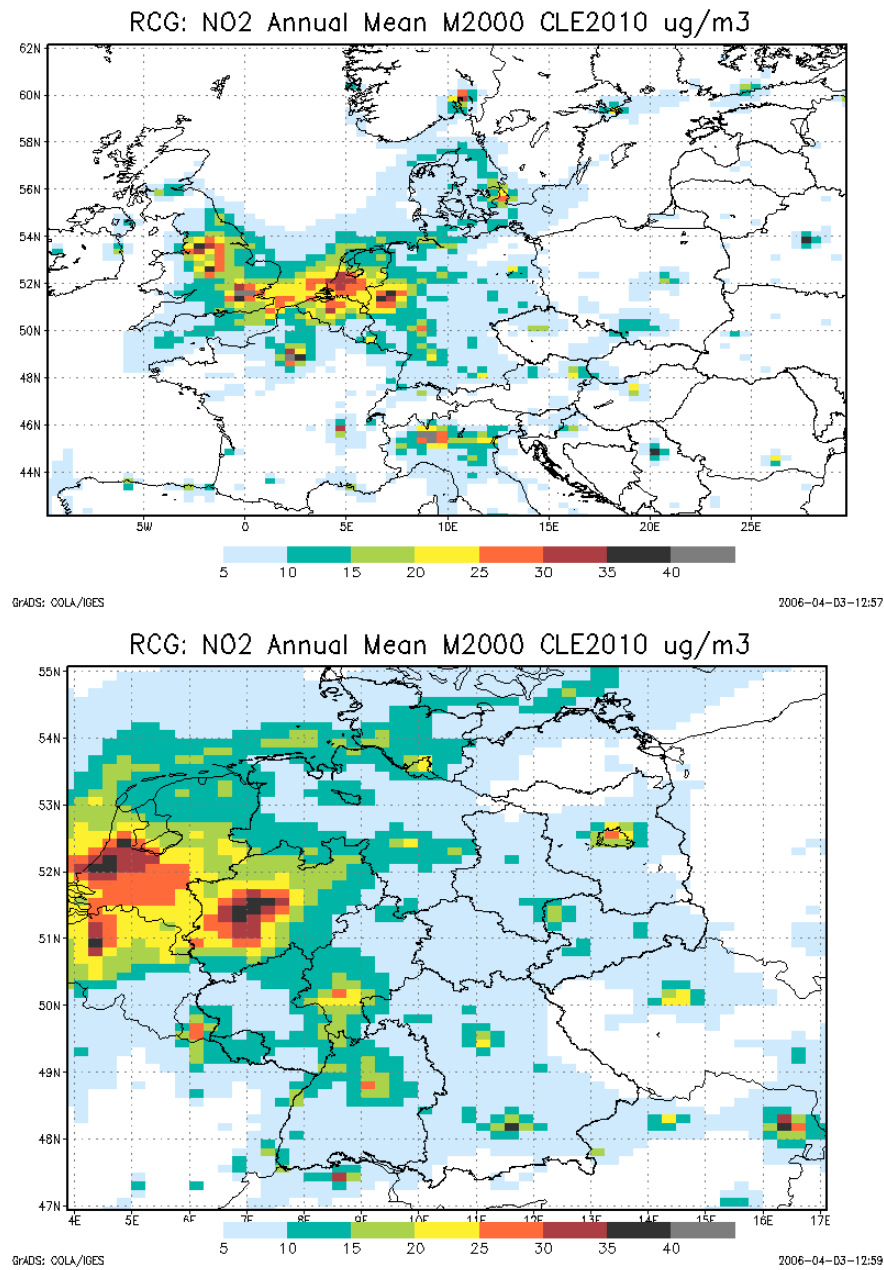


Abbildung 21 Berechnete NO₂-Jahresmittelwerte 2010 in µg/m³. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2010.

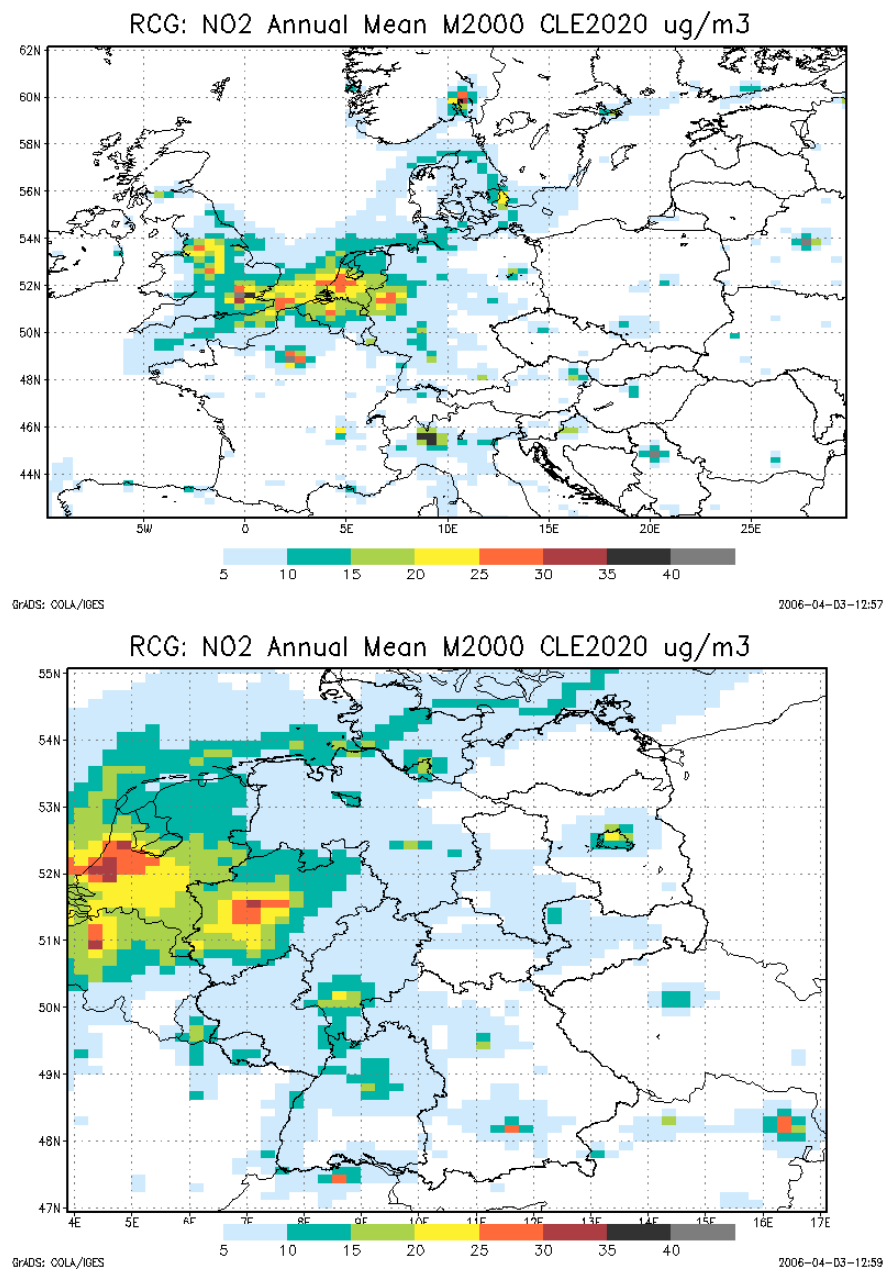


Abbildung 22 Berechnete NO₂-Jahresmittelwerte 2020 in µg/m³. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2020.

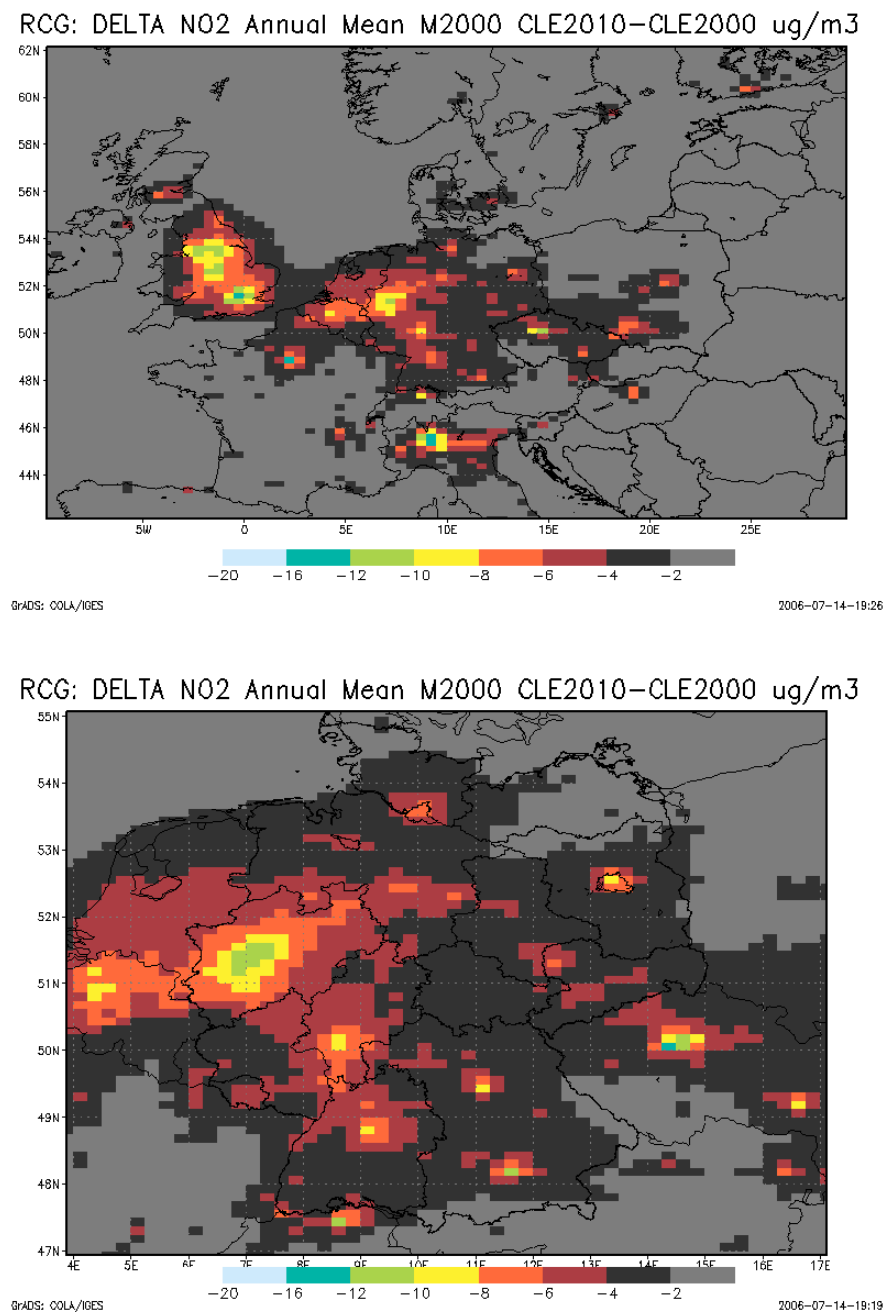
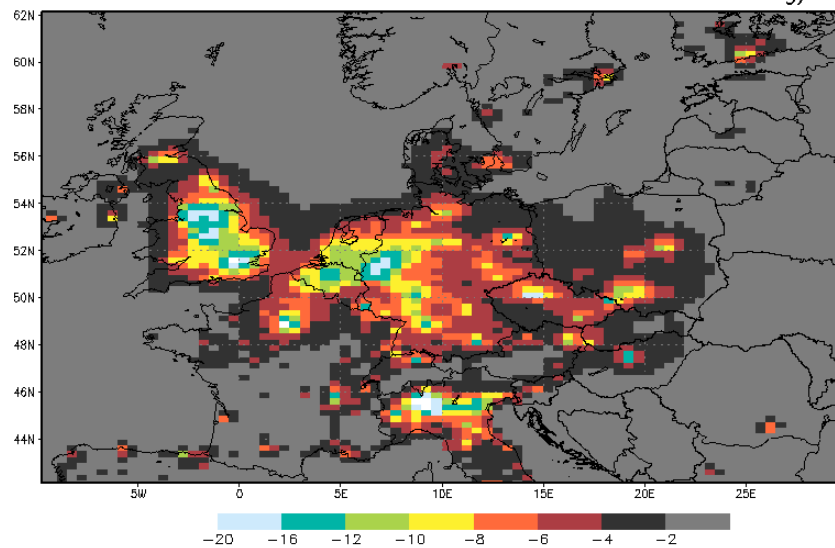
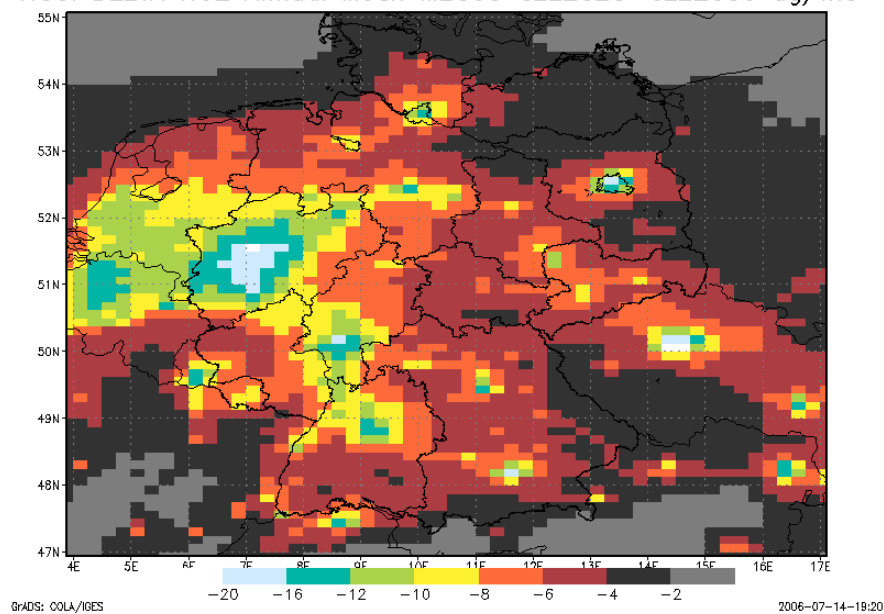


Abbildung 23 Zu erwartende absolute Änderung der NO₂-Jahresmittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2000 nach 2010 (CLE2010-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

RCG: DELTA NO₂ Annual Mean M2000 CLE2020-CLE2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

GrADS: COLA/IGES

2006-07-14-19:26

RCG: DELTA NO₂ Annual Mean M2000 CLE2020-CLE2000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 

GrADS: COLA/IGES

2006-07-14-19:20

Abbildung 24 Zu erwartende absolute Änderung der NO₂-Jahresmittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2000 nach 2020 (CLE2020-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

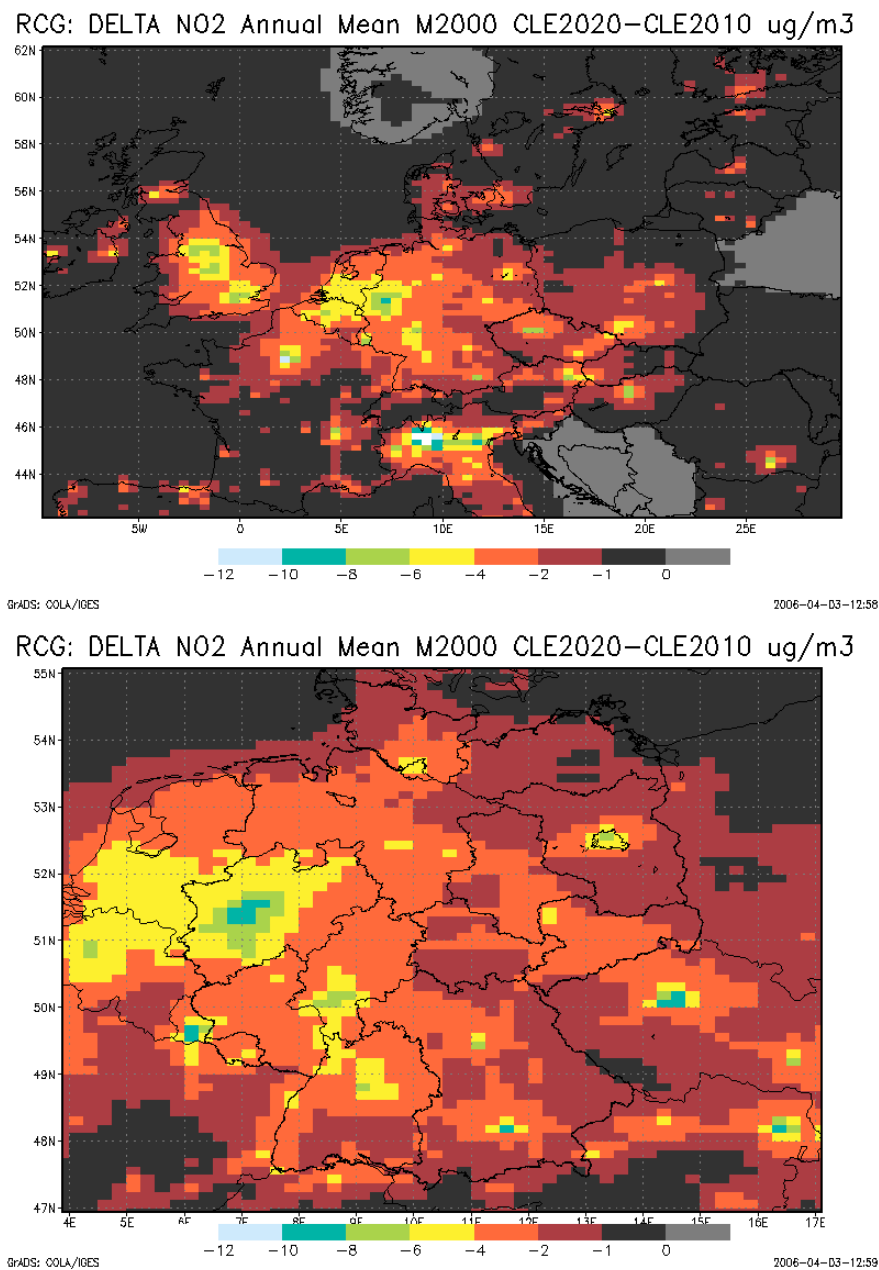


Abbildung 25 Zu erwartende absolute Änderung der NO₂-Jahresmittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2010 nach 2020 (CLE2020-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

1.3. Ozon

Die Abbildung 26, Abbildung 27 und Abbildung 28 zeigen die berechneten Ozonjahresmittel für die Emissionssituation 2000, 2010 und 2020. In Abbildung 29, Abbildung 30 und Abbildung 31 sind die absolute Änderung der Ozonjahresmittelwerte infolge der Emissionsveränderung von 2000 nach 2010, 2000 nach 2020 und 2010 nach 2020 dargestellt. Generell wird es infolge der Emissionsverminderungen der Vorläuferstoffe zu mittleren Ozonzunahmen in den emissionsbelasteten Regionen und zu Ozonabnahmen in den eher ländlichen Regionen kommen. Die Ozonzunahmen sind eine Folge der Verringerung des Titrationseffektes, d.h. einer Verringerung des Ozonabbaus durch frisch emittiertes NO. Da die ländlichen Regionen im Mittel mehr mit Ozon belastet sind als die städtischen Regionen, bedeutet dies eine gewisse Nivellierung des Konzentrationsniveaus. Die Ozonänderungen bezogen auf den Sommermittelwert (Abbildung 32) zeigen die Abbildung 33 und Abbildung 34. Die Gebiete mit Ozonzunahmen sind für den Sommermittelwert sehr viel kleiner als für den Jahresmittelwert und beschränken sich ausschließlich auf die Ballungsräume mit hohen Emissionen. In allen anderen Gebieten kommt es zu einer Abnahme der Sommermittelwerte. Im Winter kommt es wegen der schon angeführten Verminderung des Titrationseffektes bei NO_x-Emissionsabnahmen durchweg zu Zunahmen der Ozonkonzentration (Abbildung 35, Abbildung 36, Abbildung 37).

Die Abbildung 38 zeigt die für das Referenzjahr 2000 berechneten AOT40-Werte zum Schutz der Vegetation. Nach den Berechnungen auf der Basis des Emissionszustandes 2000 wird der Zielwert von 18000 µg/m³ h der Ozon-Tochterrichtlinie in vielen Regionen Deutschlands überschritten. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Flächen mit Überschreitungen als Folge der Emissionsabnahmen bis 2010 und vor allem bis 2020 deutlich kleiner werden oder sogar gar nicht mehr auftreten (Abbildung 39, Abbildung 40). Es muss aber auch hier betont werden, dass diese für das immissionsklimatologisch eher durchschnittliche Jahr 2000 berechneten Abnahmen nicht notwendigerweise für extreme Jahre wie das Jahr 2003 gelten müssen.

Die berechnete Anzahl der Tage in Deutschland und Umgebung mit einem maximalen Ozon 8-h-Mittelwert > 120 µg/m³ zeigt die Abbildung 41 für die meteorologischen Bedingungen des Jahres 2000 und die Emissionsbedingungen 2000, 2010 und 2020. Die zulässige Anzahl von 25 Überschreitungstagen wird nach den Berechnungen insbesondere im Einzugsbereich der Ballungsgebiete überschritten. Die Gebiete mit Überschreitungen werden unter den Emissionsbedingungen 2010 und 2020 deutlich kleiner, treten aber immer noch auf. Ähnliches gilt für den maximalen Ozon 8-h-Mittelwert, dessen Zielwert von 120 µg/m³ in Deutschland flächendeckend überschritten wird (Abbildung 42). Selbst unter den Emissionsbedingungen 2020 wird dieser Zielwert in Deutschland in vielen Gebieten nicht einzuhalten sein. Dies gilt auch für das langfristige Ziel zum Schutz der Vegetation (6000 µg/m³ h). Die hier vorgestellten Rechnungen in der Auflösung von 0.25° Länge und 0.125° Breite führen in Ballungsräumen tendenziell zu einer Überschätzung der Ozonwerte, da der kleinräumig wirkende Titrationseffekt, der den Abbau von Ozon durch frisch emittiertes Stickstoffmonoxid bewirkt, unterschätzt wird. Deshalb zeigt die berechnete Anzahl von Überschreitungstagen in Gebieten mit inhomogener Emissionsverteilung und hohen Emissionen im Vergleich mit Messauswertungen auch eine Tendenz zur Überschätzung (z.B. im Ruhrgebiet). Trotzdem ist davon auszugehen, dass die zulässige Anzahl von 25 Überschreitungstagen auch unter den Emissionsbedingungen 2010 und 2020 nicht überall in Deutschland einzuhalten sein wird, insbesondere in Jahren, die photochemisch aktiver sind als das eher durchschnittliche Jahr 2000.

Die neue WHO-Beurteilungsgröße zur Beurteilung der Gesundheitsgefährdung durch Ozon ist der so genannte SOMO35-Wert. Dieser Wert bezeichnet die Jahressumme der täglichen maximalen 8-Stundenmittelwerte gebildet aus den Ozonstundenwerten über 35 ppb. Die für das Referenzjahr 2000 berechneten SOMO35-Werte zeigt die Abbildung 43. In Deutschland werden vor allem in Süddeutschland Werte bis zu 4000 ppb h erreicht. In Abbildung 44 und Abbildung 45 sind die für die Emissionsbedingungen 2010 bzw. 2020 berechneten SOMO35-Werte zusammengestellt. Im Jahre 2010 sinken die SOMO35-Werte bei durchschnittlichen meteorologischen Verhältnisse nach den Berechnungen in Deutschland unter die 3000 ppb h-Marke. Für 2020 werden in den meisten Gebieten Deutschlands nur noch Werte unter 2000 ppb h berechnet.

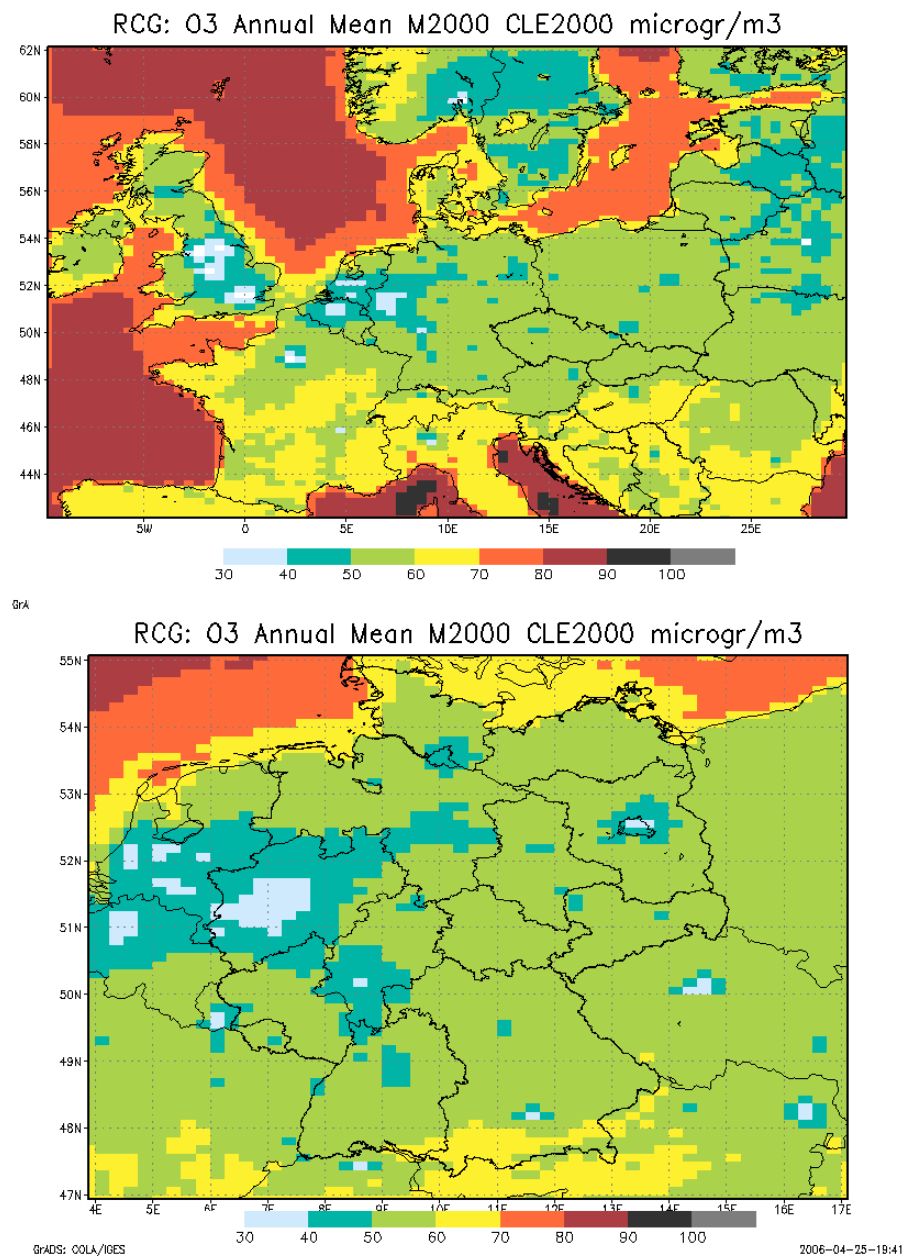


Abbildung 26 Berechnete O₃-Jahresmittelwerte 2000 in µg/m³. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2000.

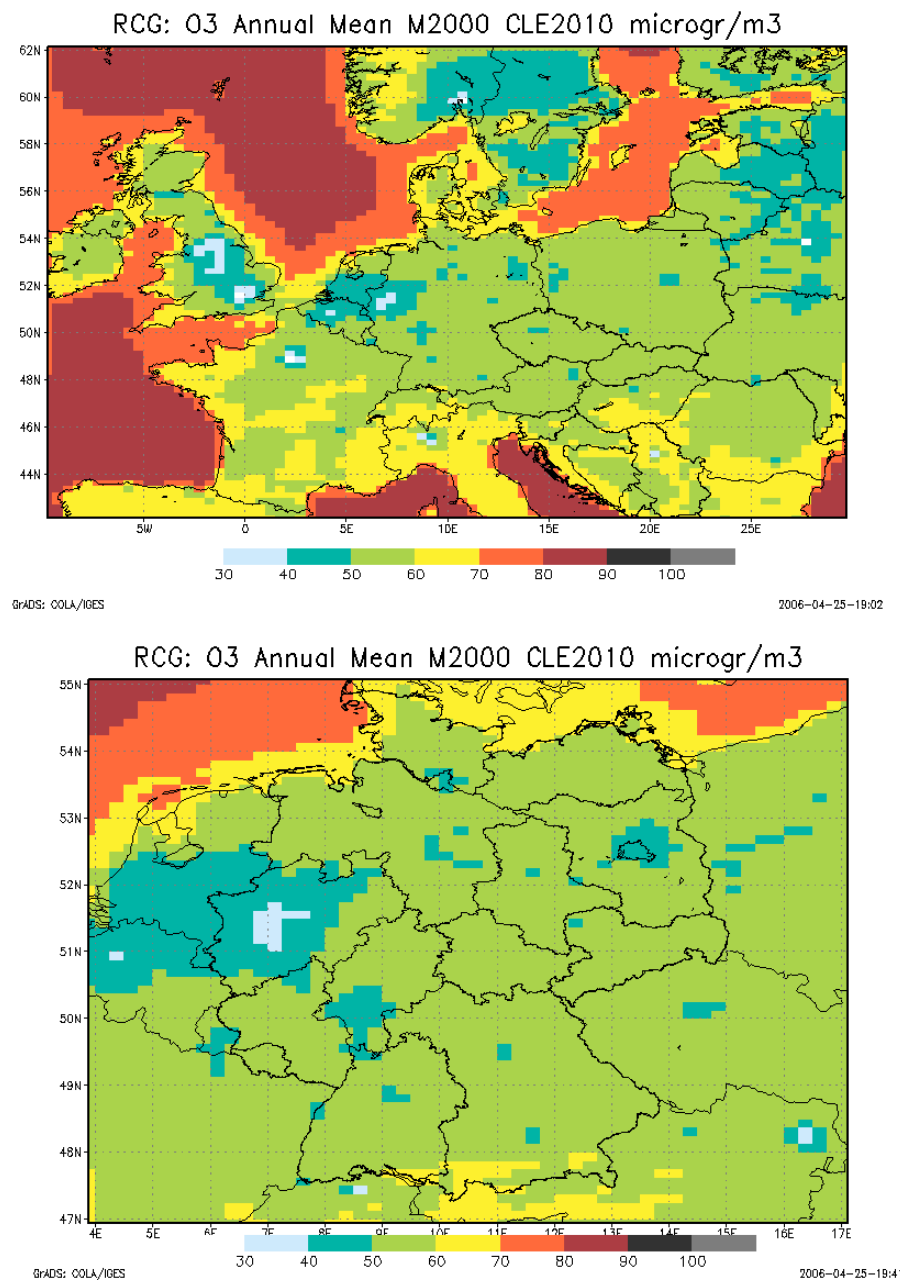


Abbildung 27 Berechnete O₃-Jahresmittelwerte 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2010.

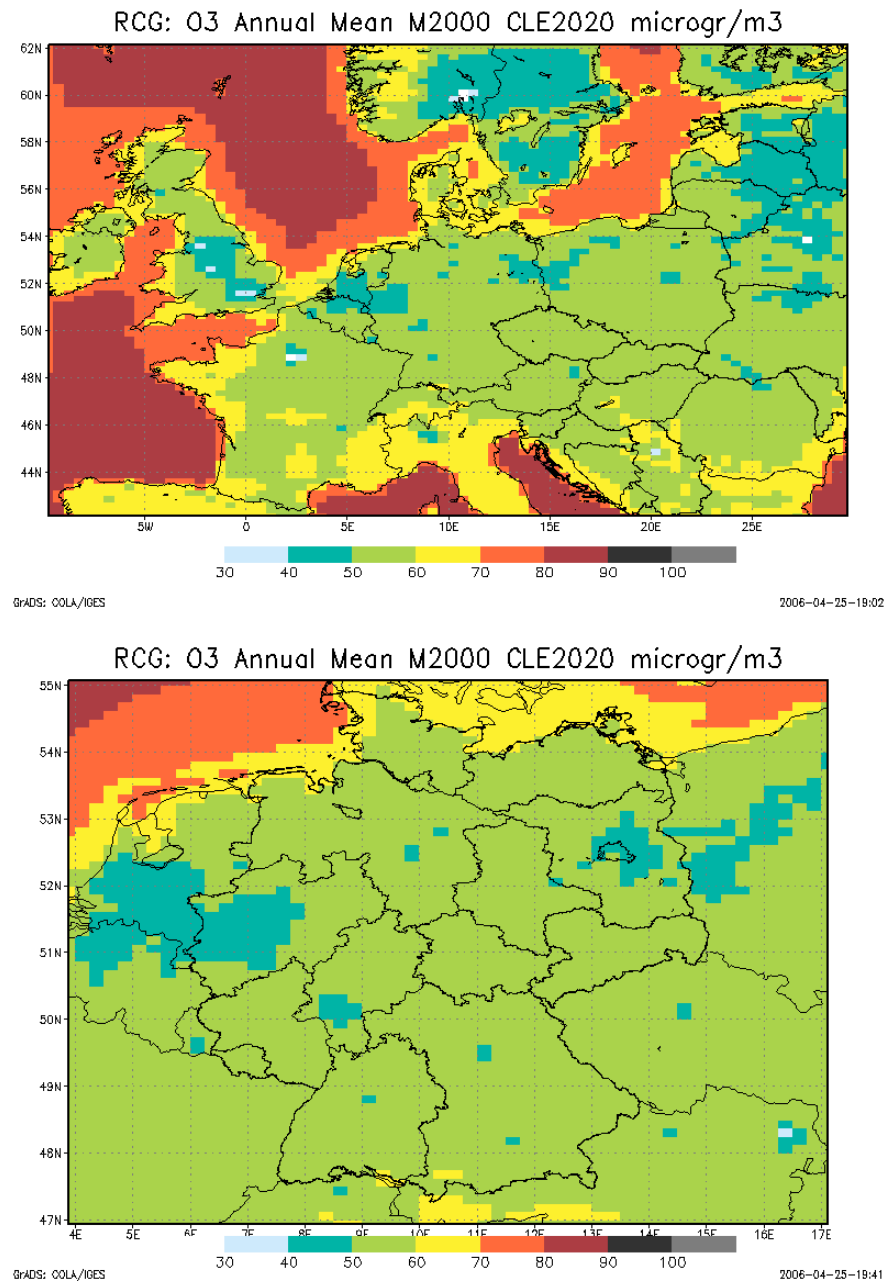


Abbildung 28 Berechnete O₃-Jahresmittelwerte 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2020.

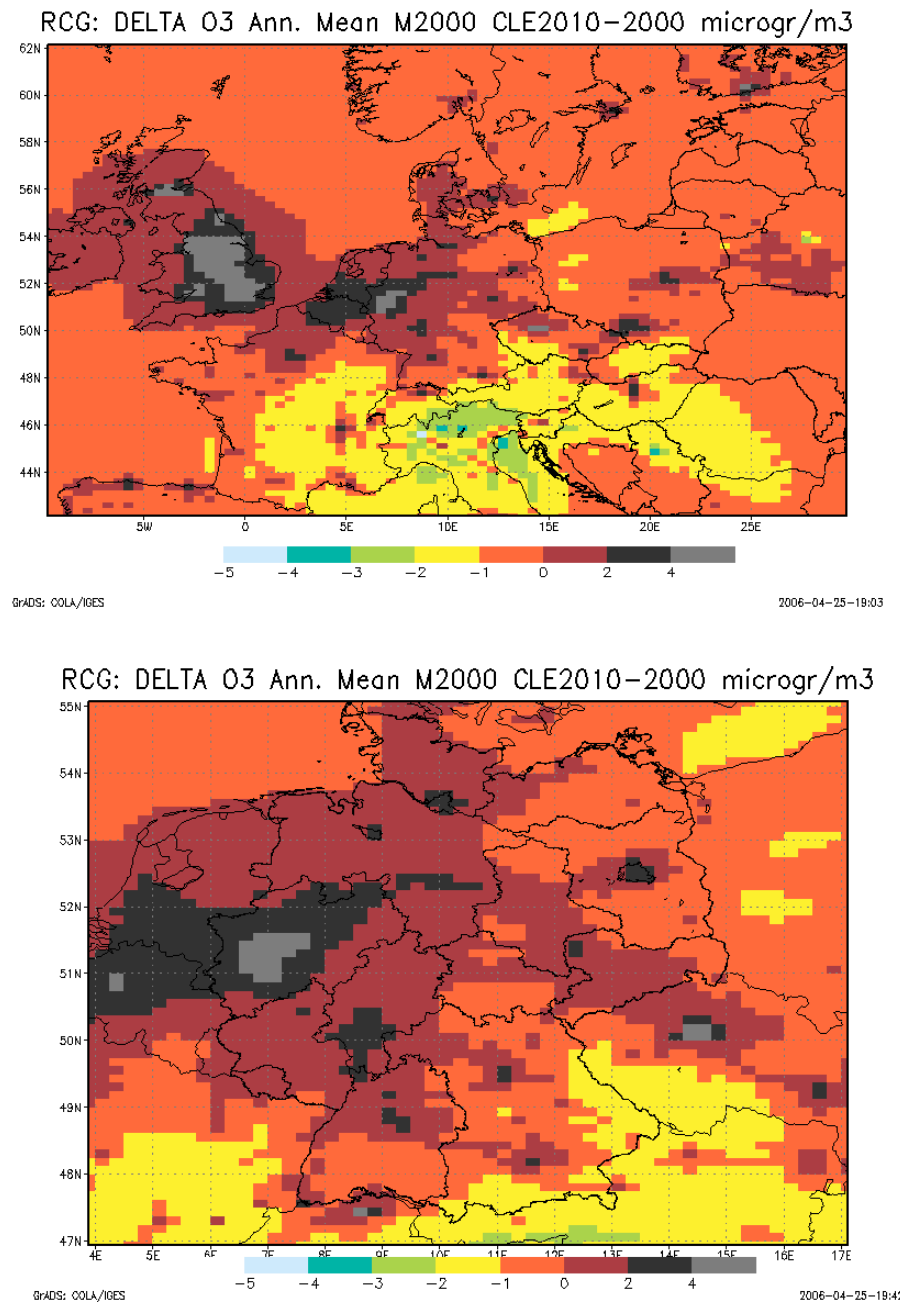


Abbildung 29 Zu erwartende absolute Änderung der O₃-Jahresmittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2000 nach 2010 (CLE2010-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

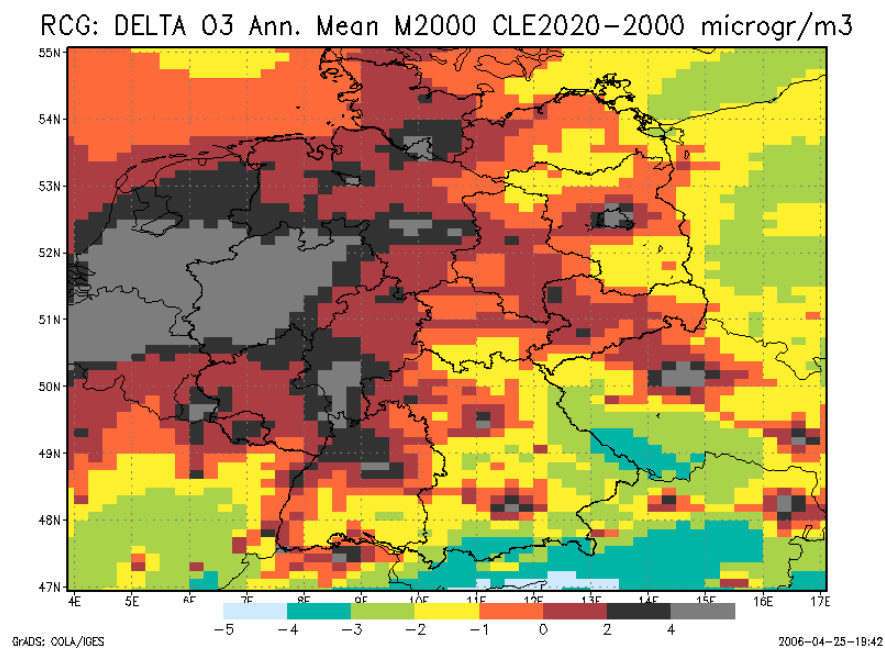
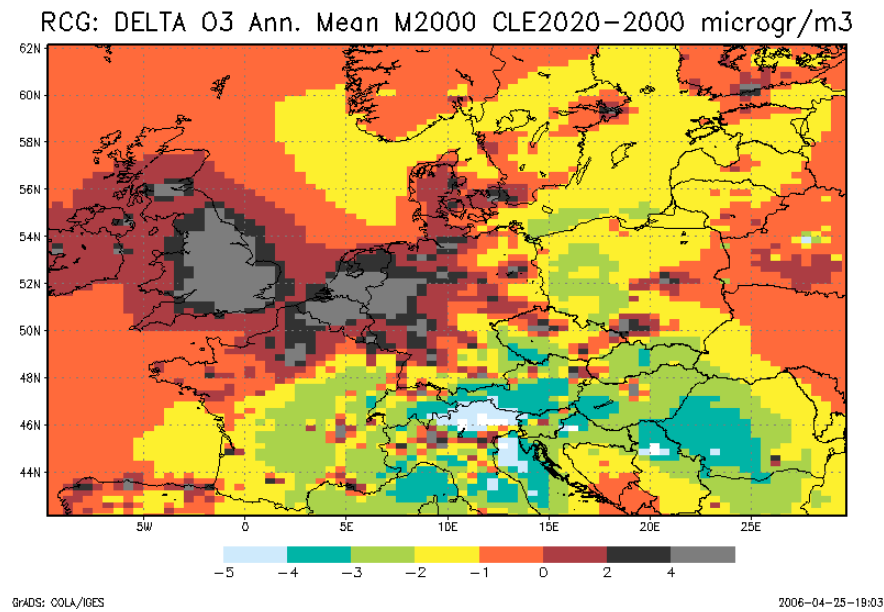


Abbildung 30 Zu erwartende absolute Änderung der O₃-Jahresmittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2000 nach 2020 (CLE2020-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

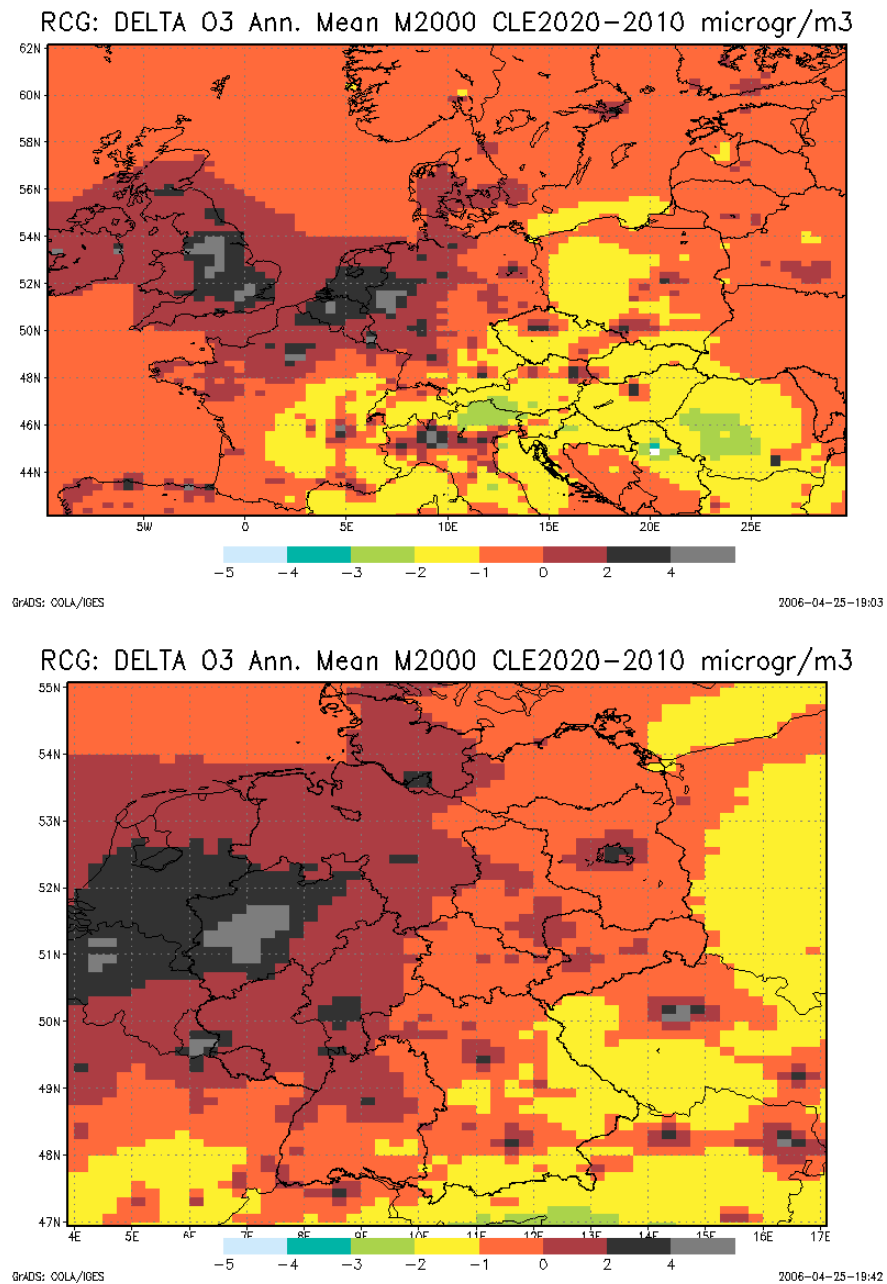


Abbildung 31 Zu erwartende absolute Änderung der O₃-Jahresmittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2010 nach 2020 (CLE-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

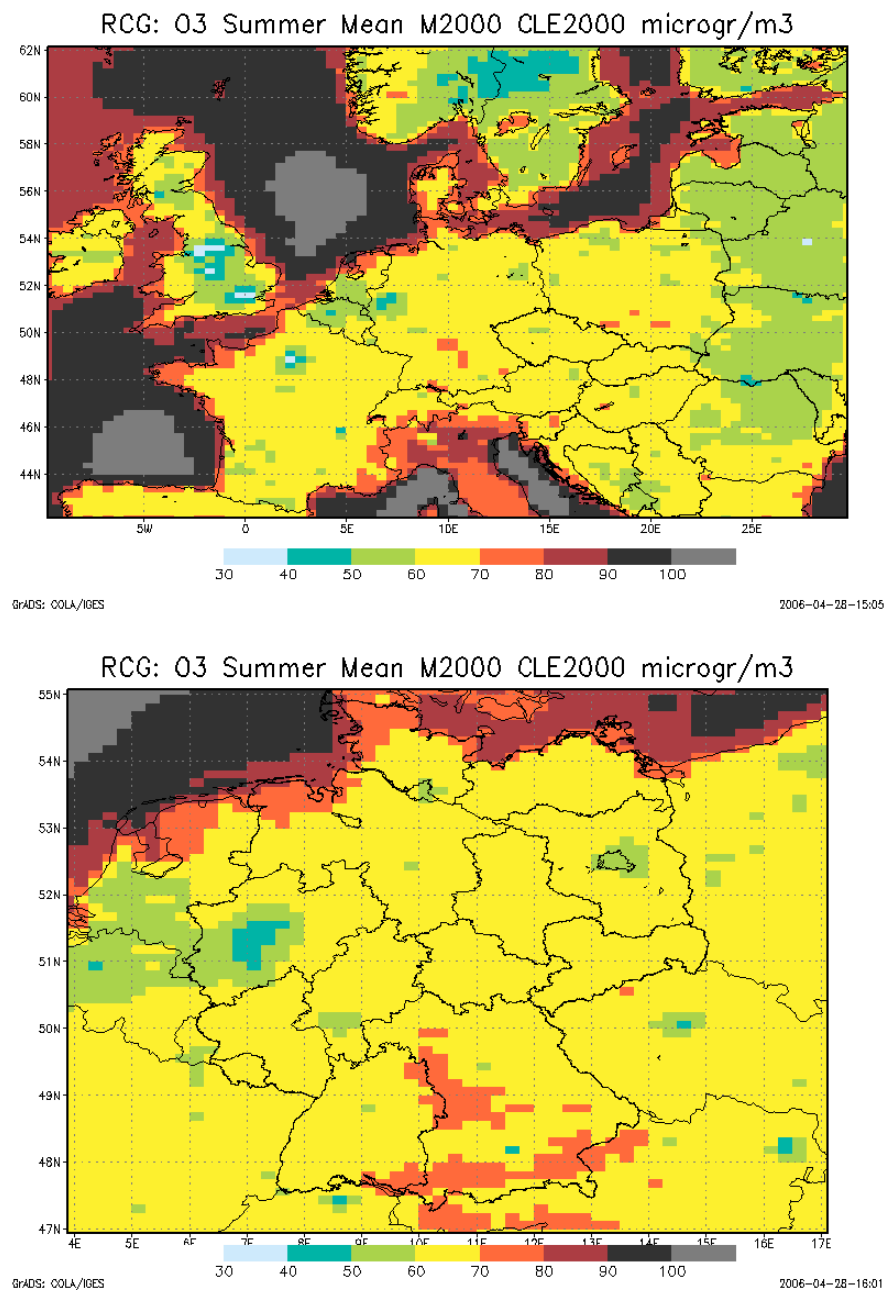


Abbildung 32 Berechnete O₃-Sommermittelwerte 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2000.

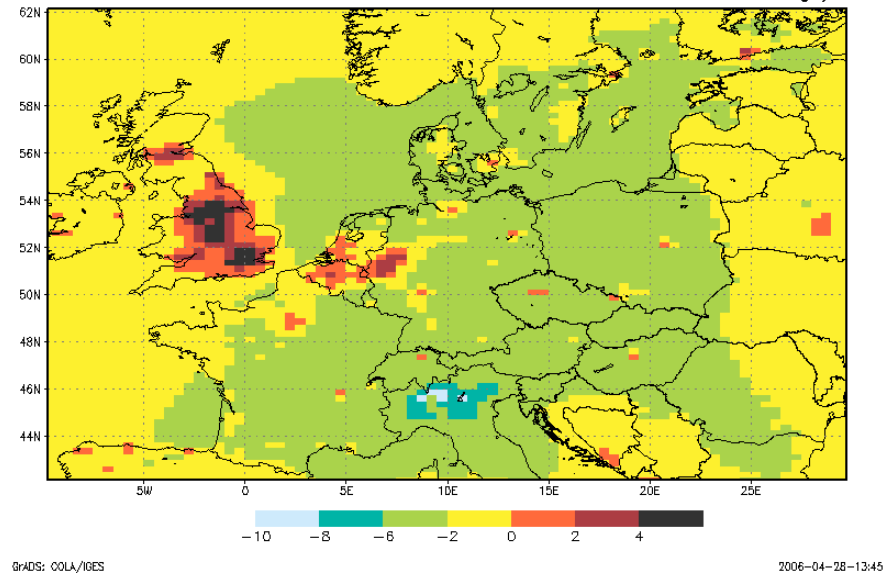
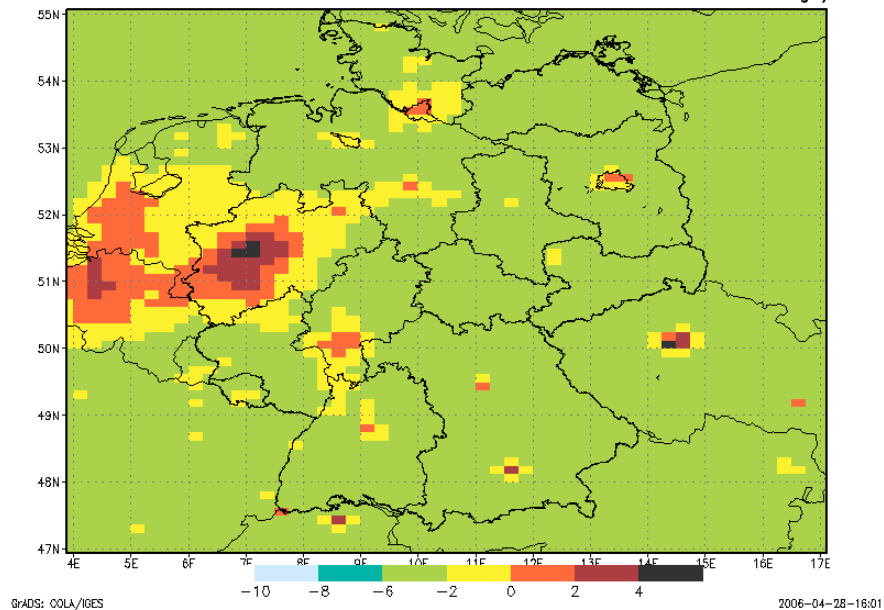
RCG: DELTA O₃ Summer Mean M2000 CLE2010-2000 microgr/m³RCG: DELTA O₃ Summer Mean M2000 CLE2010-2000 microgr/m³

Abbildung 33 Zu erwartende absolute Änderung der O₃-Sommermittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2000 nach 2010 (CLE2010-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

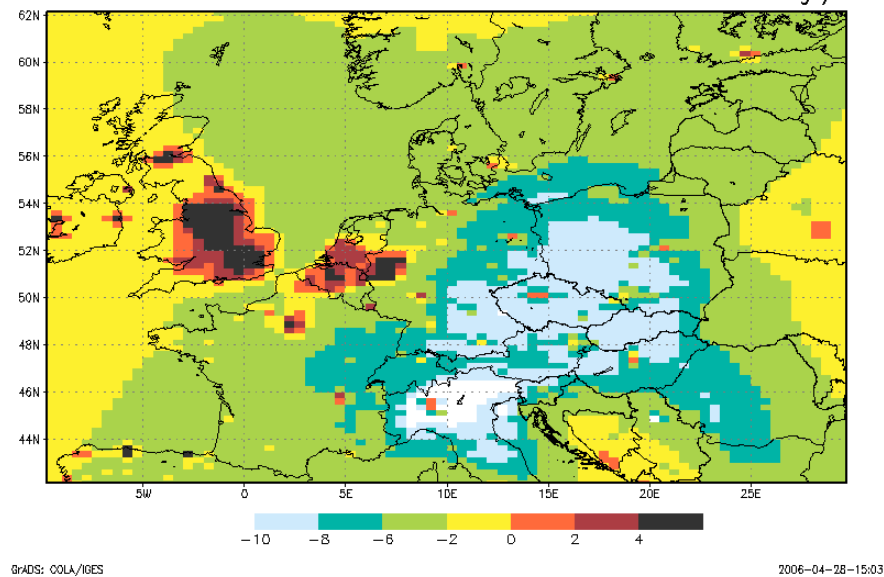
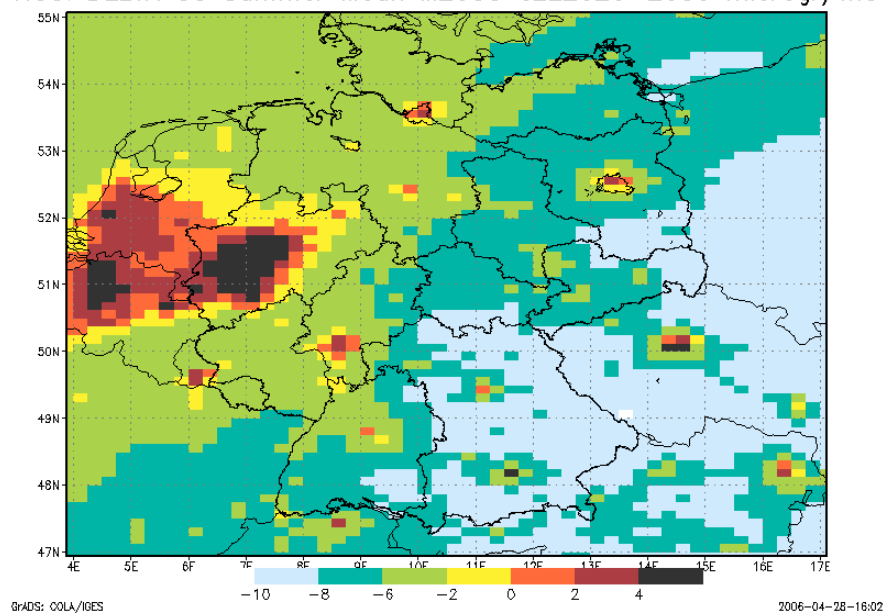
RCG: DELTA O₃ Summer Mean M2000 CLE2020-2000 microgr/m³RCG: DELTA O₃ Summer Mean M2000 CLE2020-2000 microgr/m³

Abbildung 34 Zu erwartende absolute Änderung der O₃-Sommermittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2000 nach 2020 (CLE2020-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

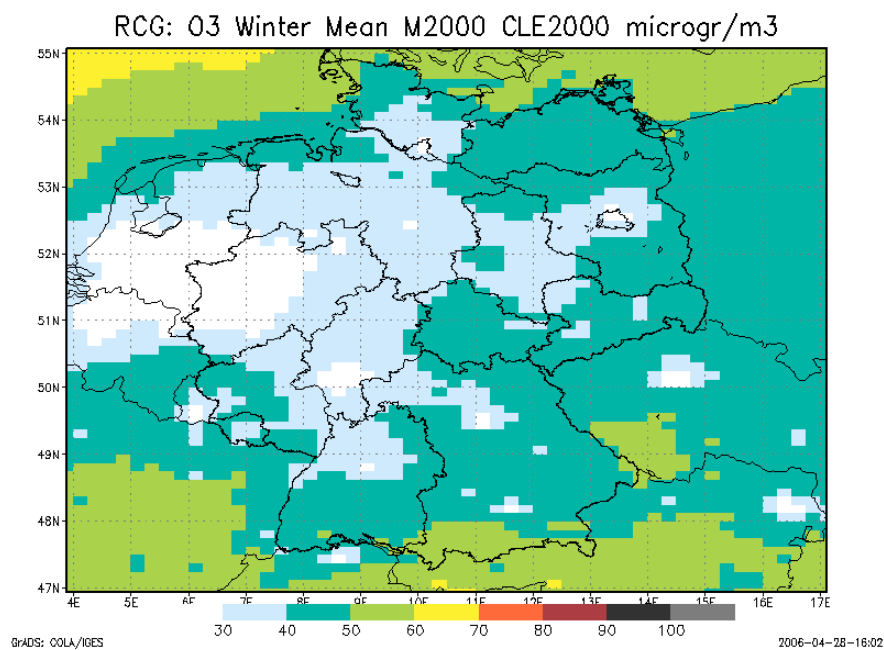
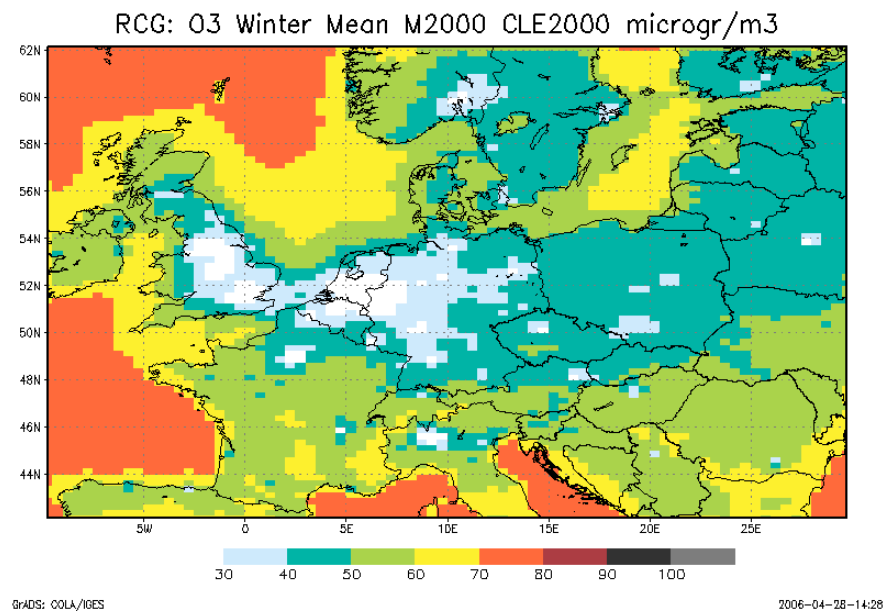


Abbildung 35 Berechnete O₃-Wintermittelwerte 2000 in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2000.

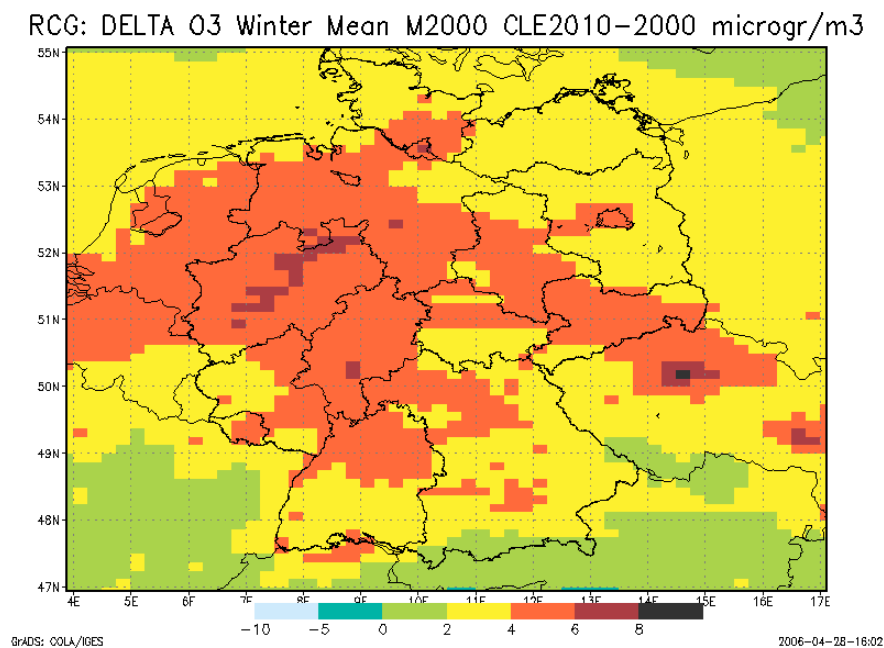
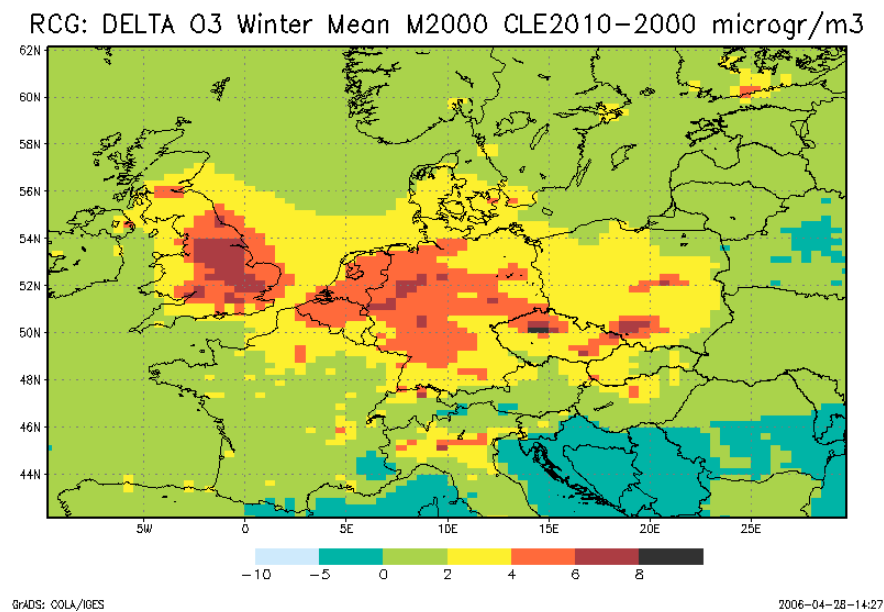


Abbildung 36 Zu erwartende absolute Änderung der O₃-Wintermittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2000 nach 2010 (CLE2010-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

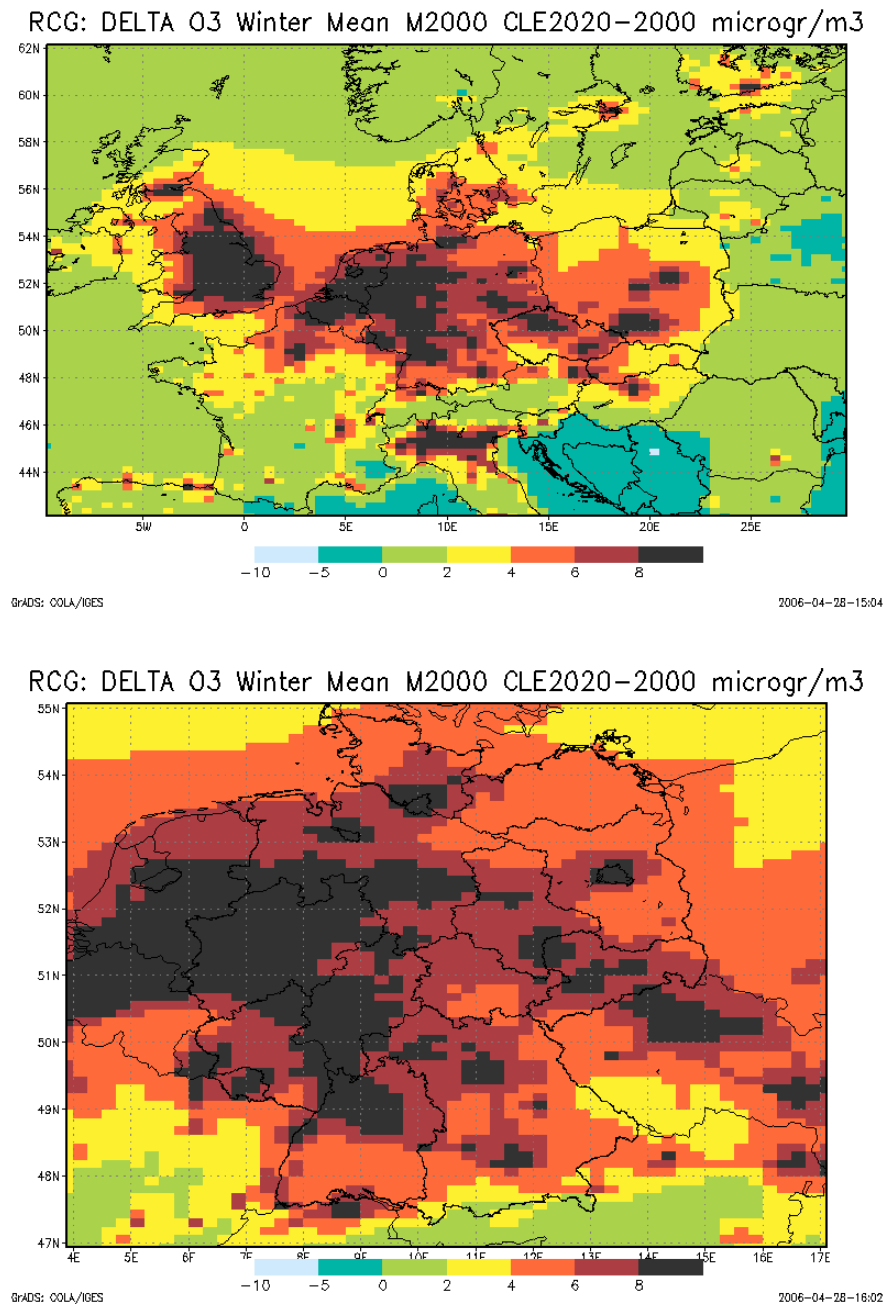


Abbildung 37 Zu erwartende absolute Änderung der O₃-Wintermittelwerte infolge der Emissionsentwicklung 2000 nach 2020 (CLE2020-Szenario). Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen.

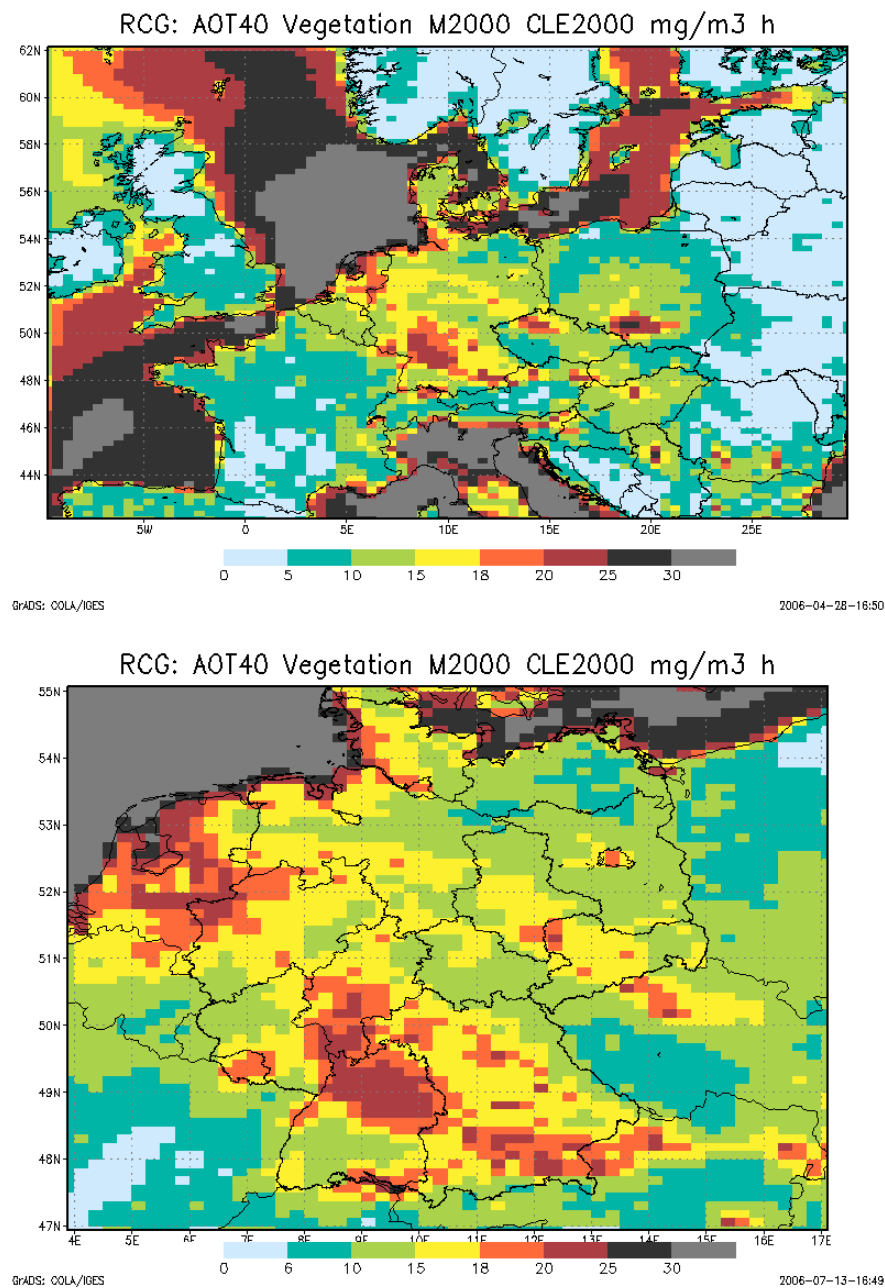


Abbildung 38 Berechnete AOT40-Werte zum Schutz der Vegetation in mg/m³ h. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2000.

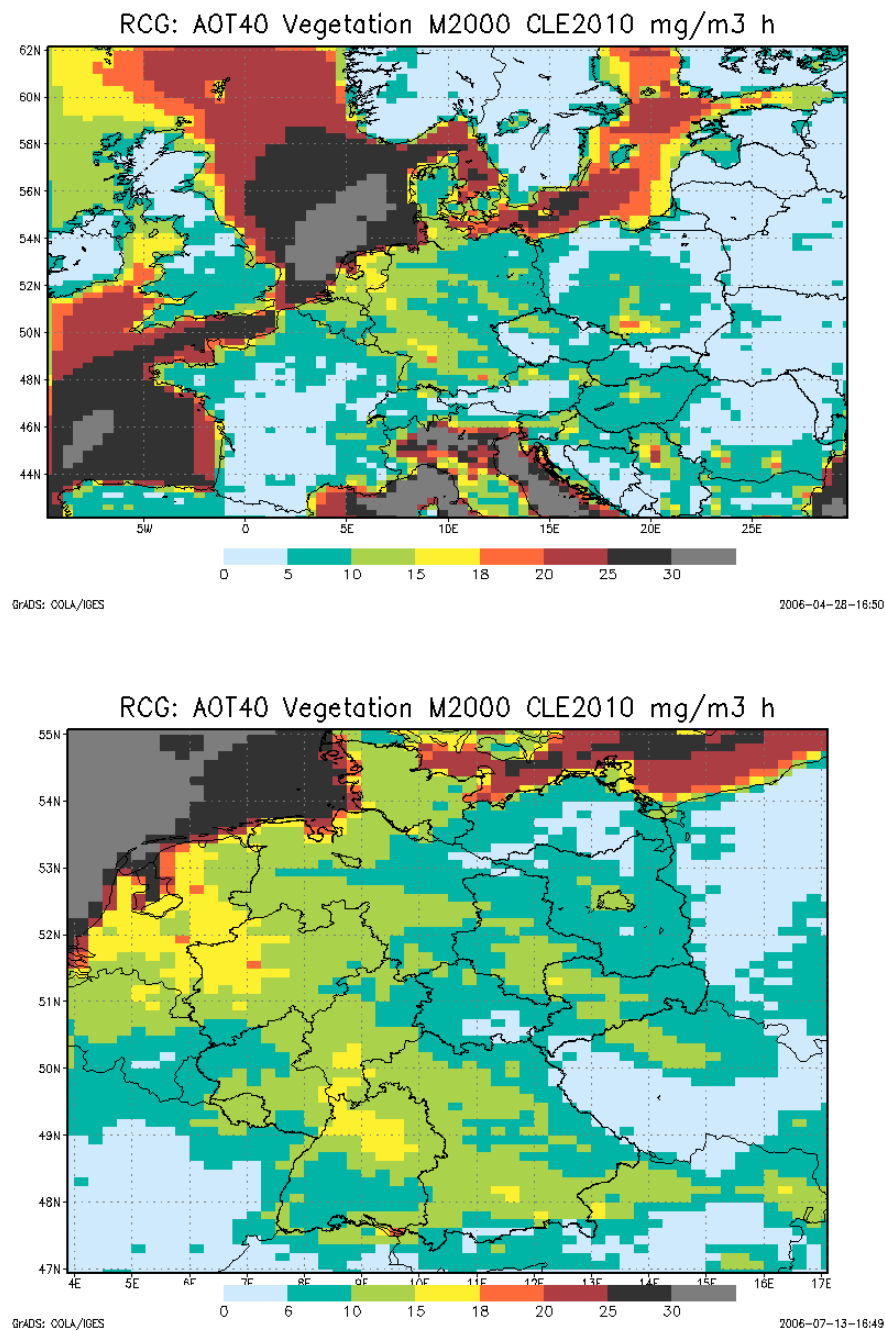


Abbildung 39 Berechnete AOT40-Werte zum Schutz der Vegetation in mg/m³ h. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2010.

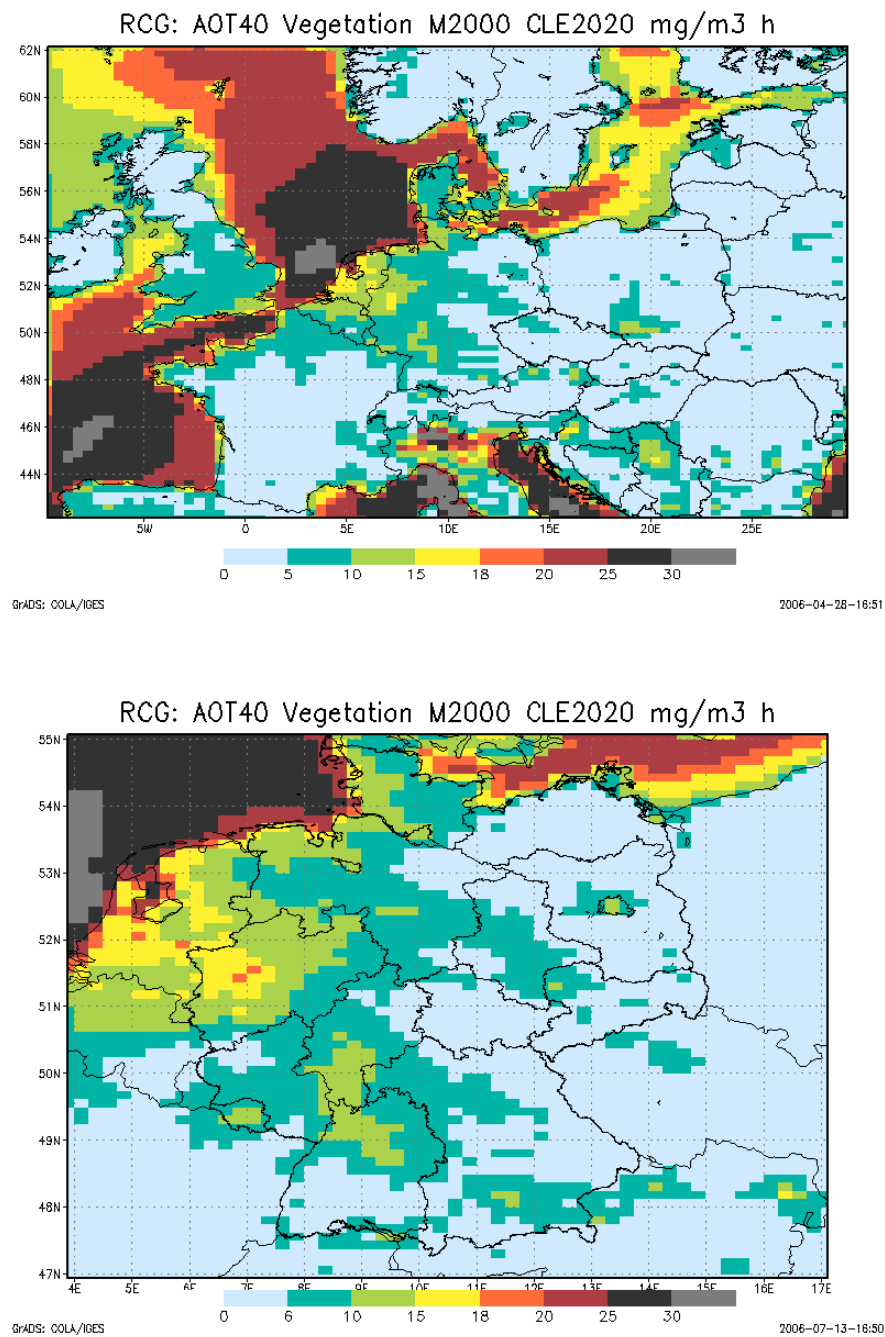


Abbildung 40 Berechnete AOT40-Werte zum Schutz der Vegetation in mg/m³ h. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2020.

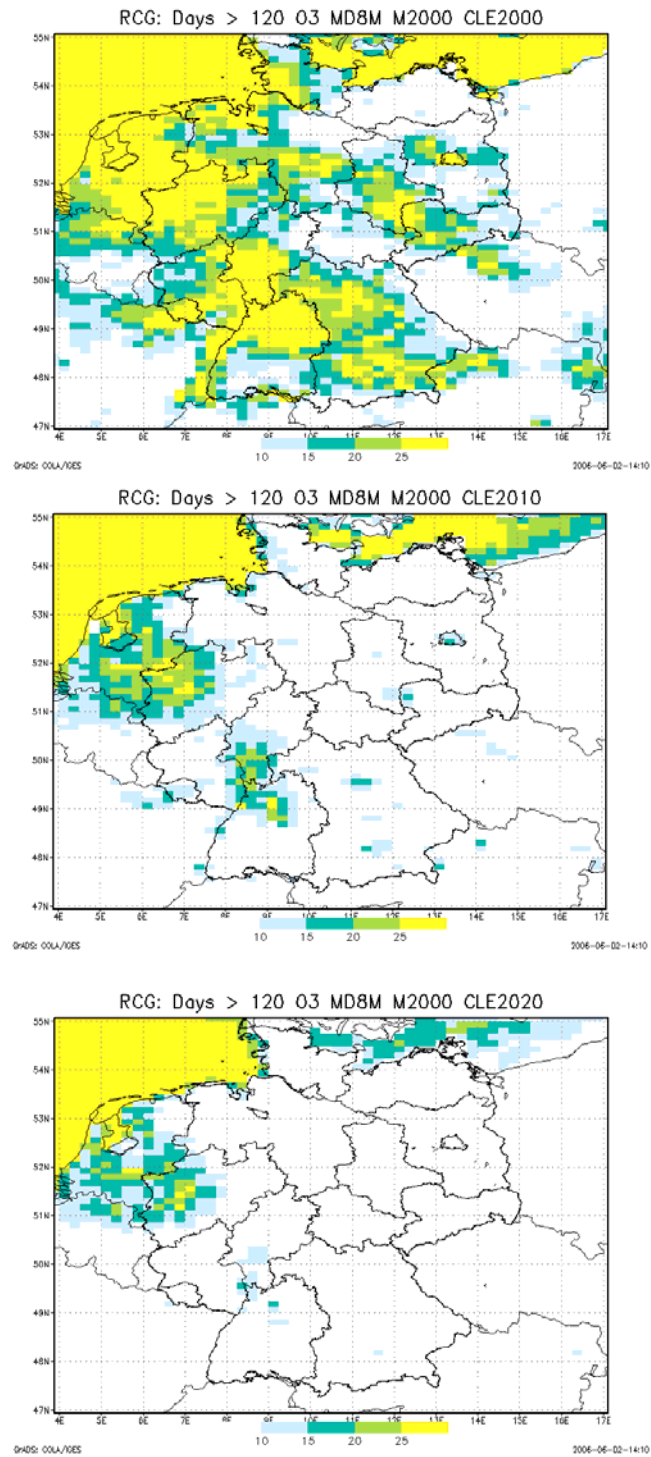


Abbildung 41 Berechnete Anzahl der Tage mit maximalen Ozon 8-h-Mittelwert $> 120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ unter den meteorologischen Bedingungen 2000. Oben: TNO-CAFE-Emissionen CLE 2000, Mitte CLE 2010, unten CLE 2020. Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge.

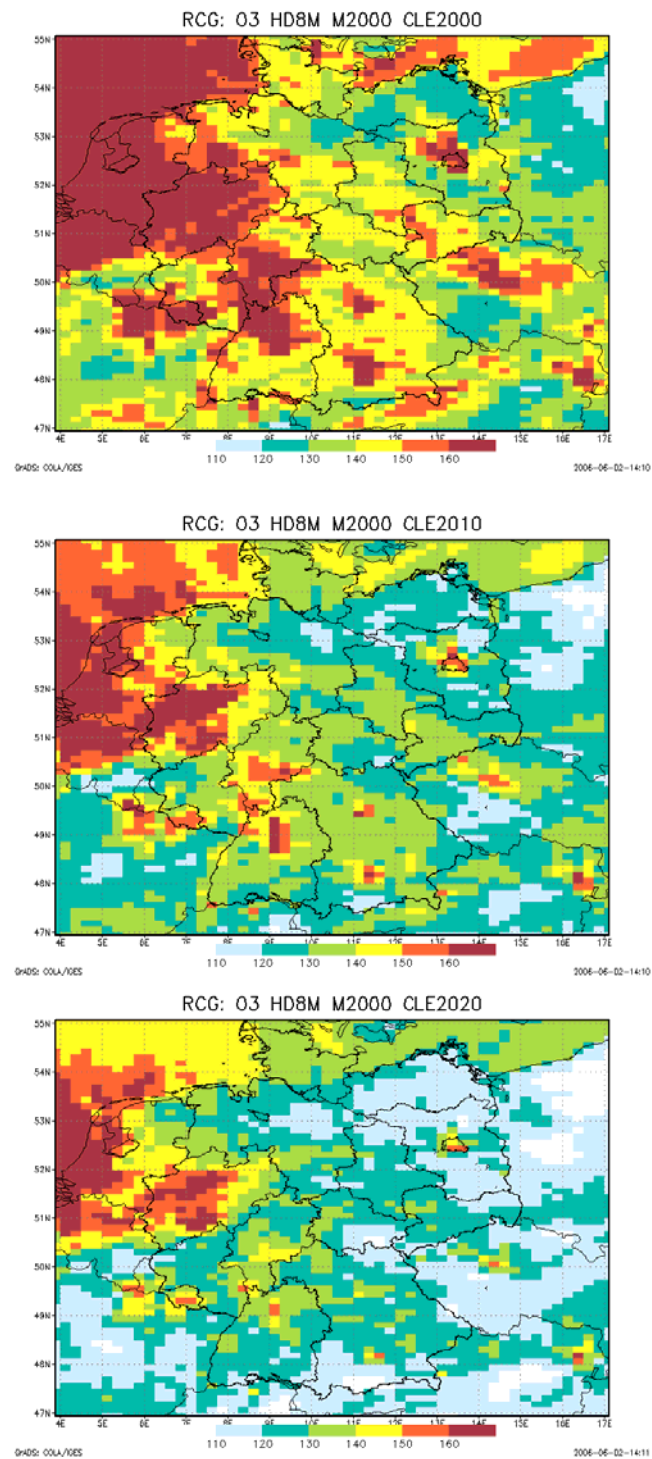


Abbildung 42 Berechneter maximaler Ozon 8-h-Mittelwert in $\mu\text{g}/\text{m}^3$ unter den meteorologischen Bedingungen 2000. Oben: TNO-CAFE-Emissionen CLE 2000, Mitte CLE 2010, unten CLE 2020. Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge.

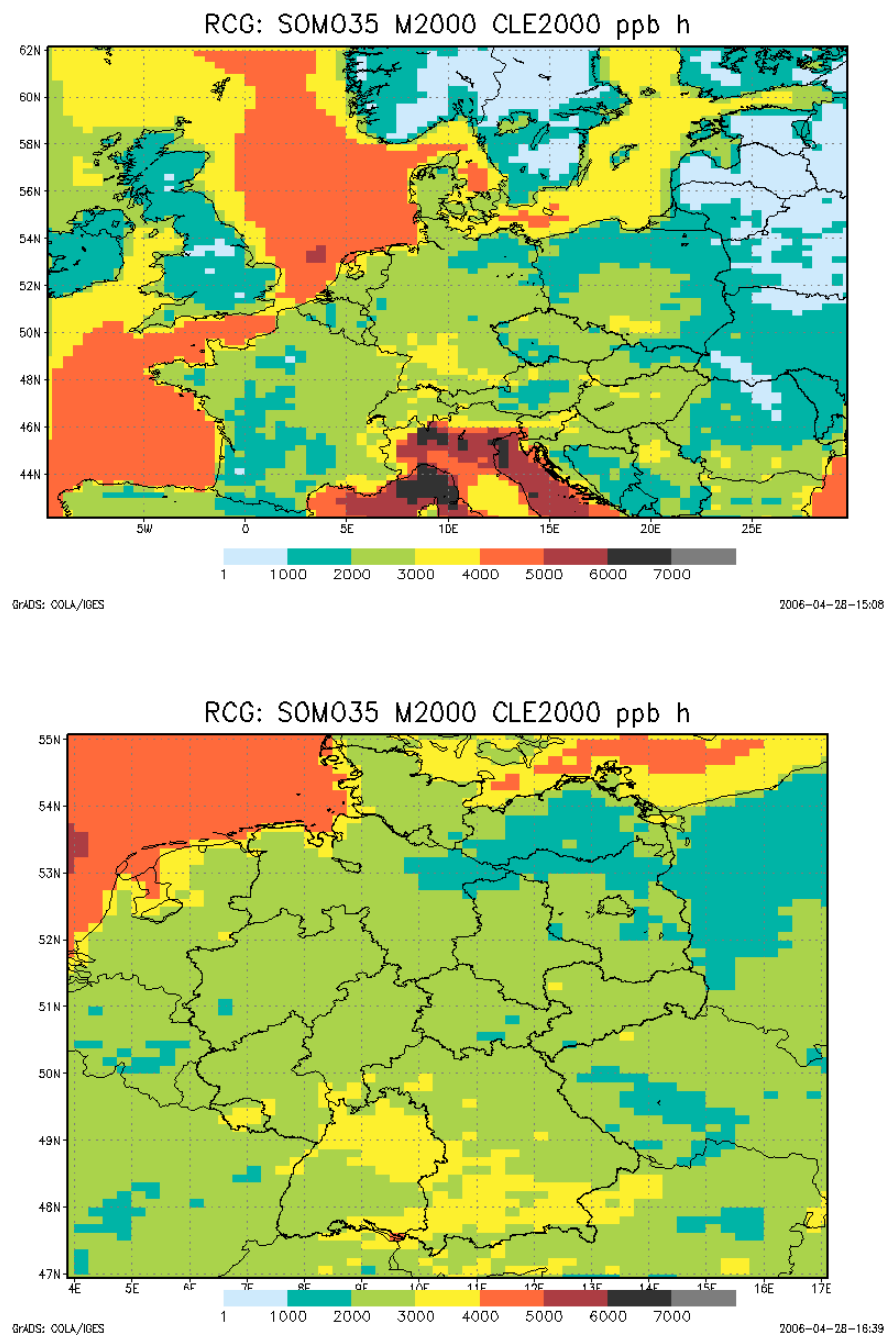


Abbildung 43 Berechnete SOM035-Werte in ppb h. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2000.

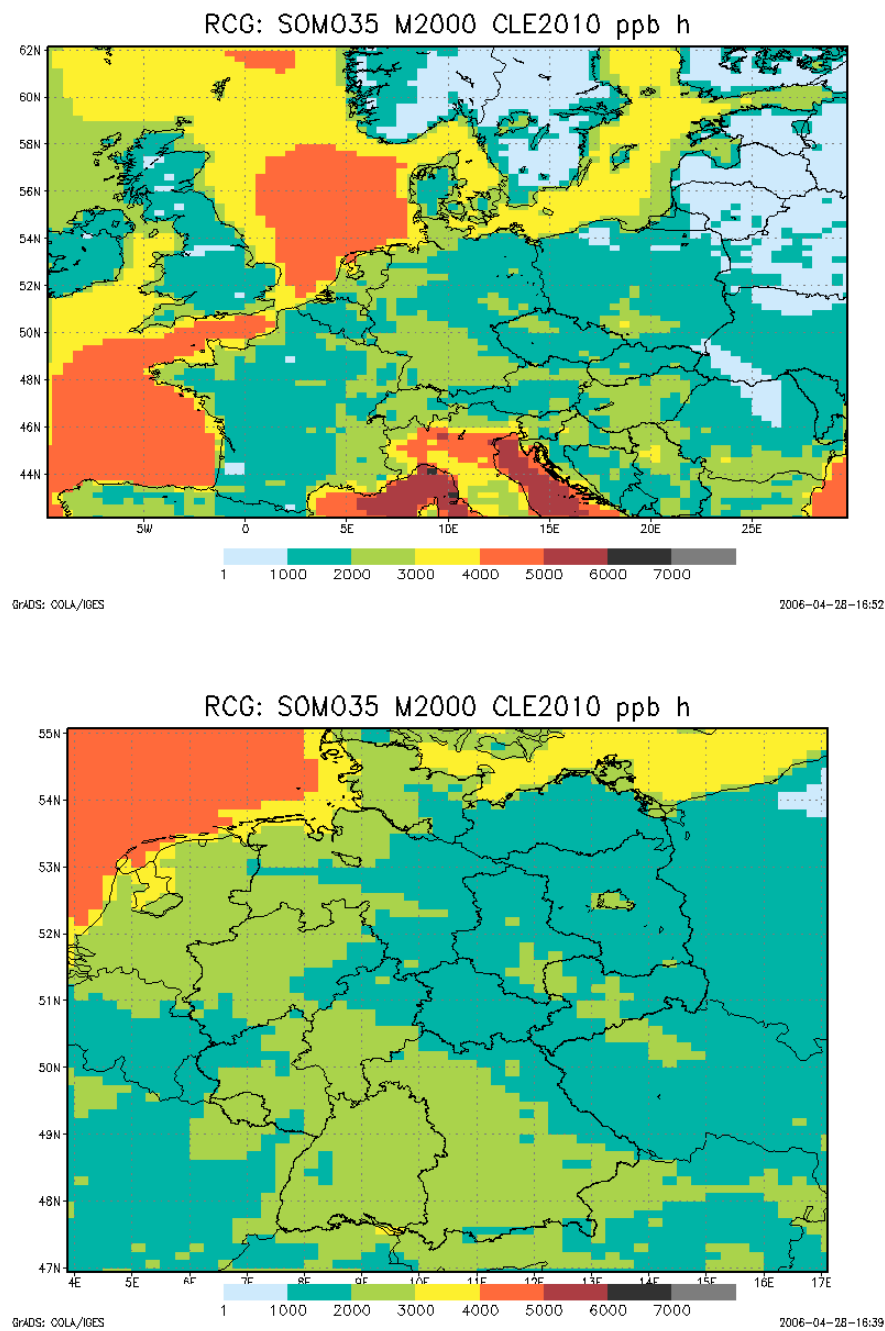


Abbildung 44 Berechnete SOM035-Werte in ppb h. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2010.

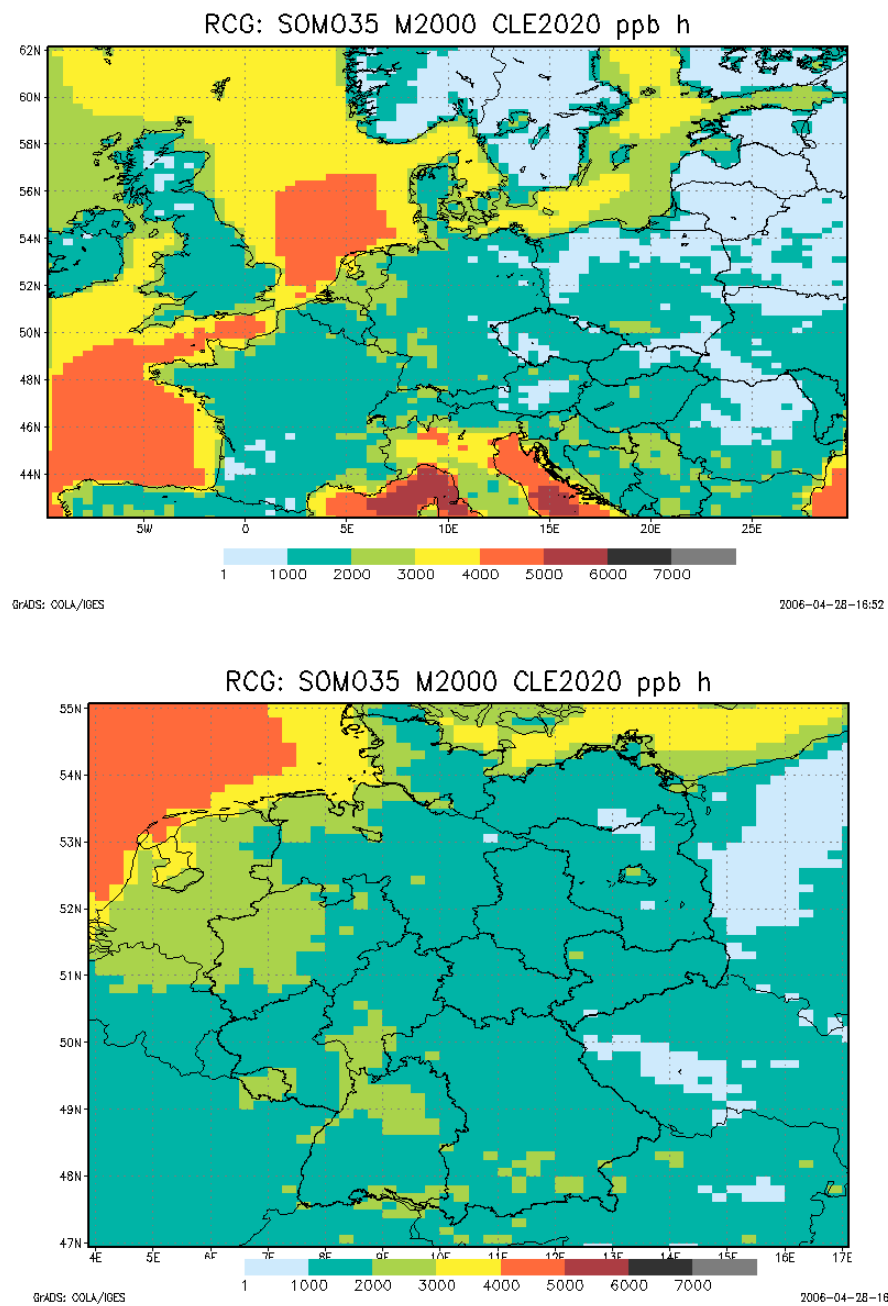


Abbildung 45 Berechnete SOM035-Werte in ppb h. Oben: Rastergröße 0.25° Breite, 0.5° Länge, unten: Rastergröße 0.125° Breite, 0.25° Länge. TNO-CAFE-Emissionen CLE 2020.

5. Direkter Vergleich mit EMEP-Ergebnissen

In diesem Kapitel wird versucht, die mit dem RCG-Modell berechneten Immissionsverteilungen mit denjenigen des EMEP-Modells zu vergleichen. Zum Vergleich standen die in Amman et al. (2005) abgebildeten Immissionsverteilungen des EMEP-Modells zur Verfügung. Die Abbildung 46 zeigt die mit dem EMEP-Modell und dem RCG-Modell berechneten PM_{2.5}-Jahresmittelwerte für das Jahr 2000. Für das EMEP-Modell sind zusätzlich noch das Mittel aus den Jahren 1997, 1999, 2000 und 2003 dargestellt. Die Abbildungen haben identische Skalen- und Farbabstufung. Die berechnete PM_{2.5}-Konzentrationsverteilung beider Modelle ist sehr ähnlich. In Deutschland werden mit dem EMEP-Modell in einem Nord-Süd ausgerichteten Gebiet in der Mitte Deutschlands etwas höhere Konzentrationen berechnet als mit dem RCG-Modell. In der Konzentrationsverteilung des RCG-Modells zeichnen sich dagegen die Ballungsgebiete klarer ab als in der EMEP-Verteilung, was sicherlich eine Folge der höheren Auflösung des RCG-Modells ist (siehe auch Abbildung 16). Die Unterschiede zwischen den EMEP-PM_{2.5}-Konzentrationen für 2000 und den mittleren PM_{2.5}-Konzentrationen für die Jahre 1997, 1999, 2000 und 2003 sind relativ gering. In Deutschland werden aber im Mittel etwas höhere Konzentrationen berechnet, was möglicherweise auf die Einbeziehung des immissionsklimatologisch extremeren Jahres 2003 zurückzuführen ist.

Die Abbildung 47 zeigt die mit dem EMEP-Modell und dem RCG-Modell berechneten SOMO₃₅-Werte für das Jahr 2000. Für das EMEP-Modell sind zusätzlich noch das Mittel aus den Jahren 1997, 1999, 2000 und 2003 dargestellt. Im südlichen und mittleren Bereich Deutschlands sind die mit dem EMEP-Modell berechneten SOMO₃₅-Werte höher als diejenigen des RCG-Modells: Das Gebiet mit SOMO₃₅-Werten größer 4000 ppb h ist beim EMEP-Modell größer als beim RCG-Modell. Übereinstimmend werden bei beiden Modellergebnissen die höchsten SOMO₃₅-Werte im nördlichen Italien berechnet. Das 4-Jahresmittel der SOMO₃₅-Werte des EMEP-Modells ist im Süden Deutschlands geringfügig niedriger als der Mittelwert für 2000 obwohl im 4-Jahresmittel das sehr ozonträchtige Jahr 2003 enthalten ist. Dieses Jahr wird aber kompensiert durch die Jahre 1997 und 1999, die beide zu den photochemisch weniger aktiven gehören (Flemming und Stern, 2004).

Abbildung 48 zeigt den Vergleich für die AOT₄₀-Werte in der Skala des EMEP-Modells. Für das EMEP-Modell stand nur der Mittelwert aus den Jahren 1997, 1999, 2000 und 2003 zur Verfügung. Die EMEP-AOT₄₀-Mittelwerte sind in Deutschland höher als die mit dem RCG-Modell unter den meteorologischen Bedingungen des Jahres 2000 berechneten Werte. Eine Ursache dafür liegt sicherlich in der Einbeziehung des sehr heißen Sommers 2003, der sich in der AOT₄₀-Berechnung deutlicher niederschlägt als in der SOMO₃₅-Berechnung, da die AOT₄₀-Werte nur im Sommerhalbjahr aus allen Ozonstundenwerten über 40 ppb gebildet werden während die SOMO₃₅-Werte über das ganze Jahr aus allen Ozonstundenwerten über 35 ppb gebildet werden. Hierzu sei auch auf die mit der OI-Methodik abgeleiteten kartographischen Darstellungen der Immissionsbelastung in Deutschland verwiesen (Stern und Fath, 2006), die deutlich aufzeigen, dass die AOT₄₀-Werte in Deutschland im Jahre 2003 sehr viel höher lagen als in den vorhergehenden Jahren.

Die RCG-Immissionsprognosen 2010 und 2020 auf Basis der meteorologischen Verhältnisse 2000 können nur mit den mittleren EMEP-Prognosen basierend auf den Jahren 1997, 1999, 2000 und 2003 verglichen werden, da die Prognosen für die meteorologischen Verhältnisse 2000 nicht in Amann et al. (2005) enthalten sind. Entsprechend den höheren SOMO₃₅- und AOT₄₀-Werten des EMEP-Modells in Deutschland liegen auch die Immissionsprognosen 2010 und 2020 des EMEP-Modells höher als die des RCG-Modells. Für die SOMO₃₅-Werte ist dies in Abbildung

49 und Abbildung 50 dargestellt. Nach den EMEP-Rechnungen werden im Jahre 2010 im Süden Deutschlands noch SOMO35-Werte über 3000 ppb h erreicht während auf der Basis des RCG-Modells in ganz Deutschland nur noch Werte unter 3000 ppb h berechnet werden. Es muss aber festgehalten werden, dass die RCG-Berechnungen nur auf einem Jahr beruhen während die EMP-Berechnungen ein 4-Jahresmittel darstellen. Ähnliches gilt für die AOT40-Werte (Abbildung 51, Abbildung 52).

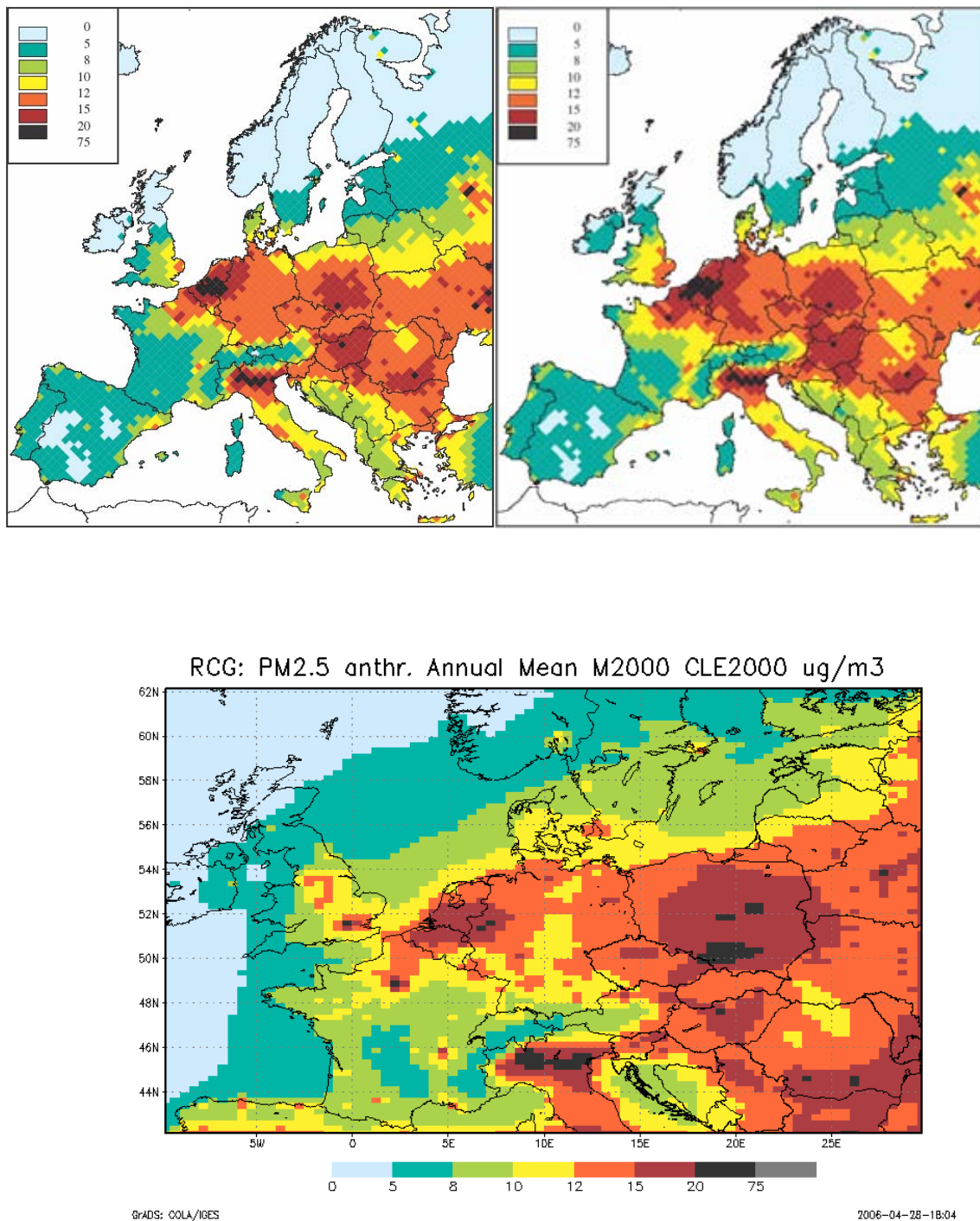


Abbildung 46 Berechnete PM2.5-Jahresmittelwerte in $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Oben links: EMEP-Berechnung für das meteorologische Jahr 2000 und den CAFE-Emissionen 2000. Oben rechts: Mittelwert der EMEP-Berechnung für die meteorologischen Jahre 1997, 1999, 2000, 2003. Beide Bilder aus Amann et al. (2005). Unten: RCG-Berechnung für das meteorologische Jahr 2000 unter Verwendung der TNO-CAFE-Emissionen 2000.

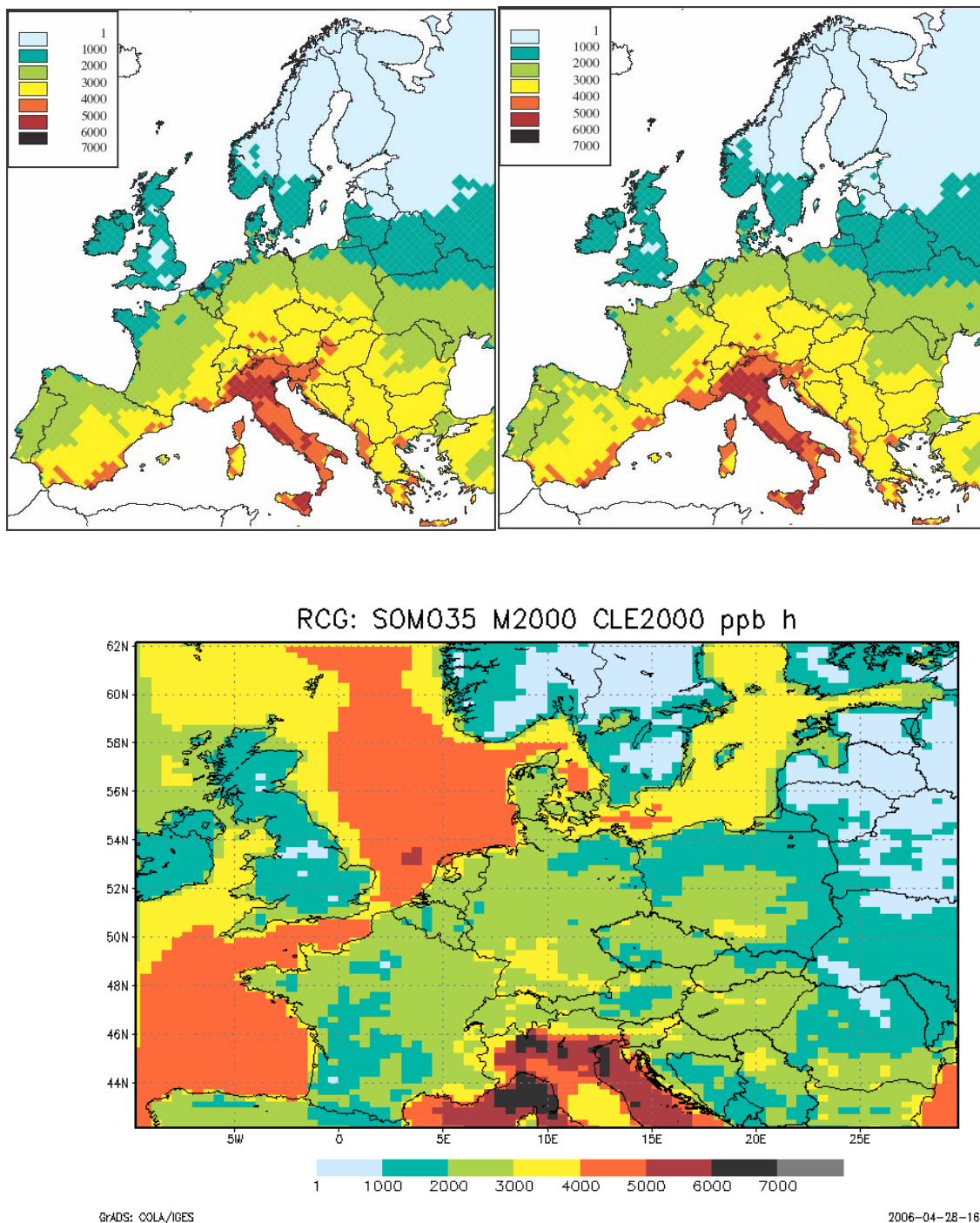


Abbildung 47 Berechnete SOMO35-Werte in ppb h. Oben links: EMEP-Berechnung für das meteorologische Jahr 2000 und den EMEP-CAFE-Emissionen 2000. Oben rechts: Mittelwert der EMEP-Berechnung für die meteorologischen Jahre 1997, 1999, 2000, 2003. Beide Bilder aus Amann et al. (2005). Unten: RCG-Berechnung für das meteorologische Jahr 2000 unter Verwendung der TNO-CAFE-Emissionen 2000.

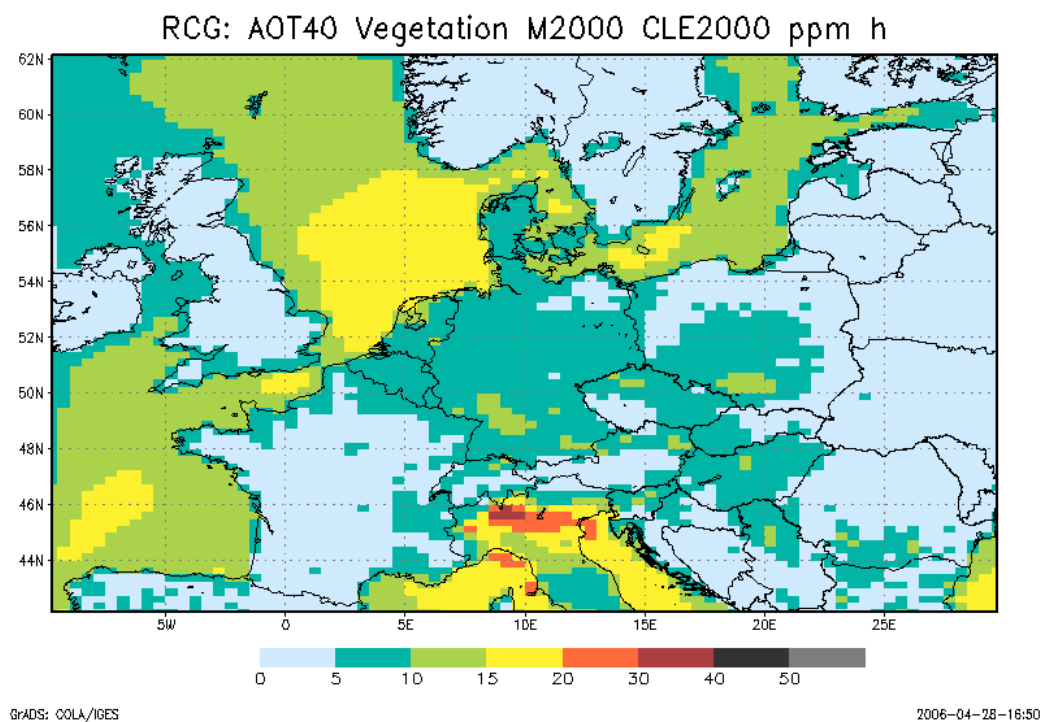
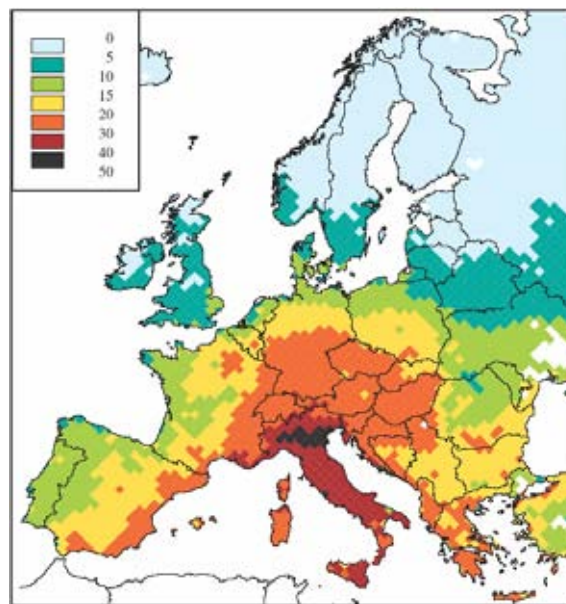


Abbildung 48 Berechnete AOT40-Werte in ppm h. Oben: Mittelwert der EMEP-Berechnung für die meteorologischen Jahre 1997, 1999, 2000, 2003 unter Verwendung der EMEP-CAFE-Emissionen 2000. Quelle: Amann et al. (2005). Unten: RCG-Berechnung für das meteorologische Jahr 2000 unter Verwendung der TNO-CAFE-Emissionen 2000.

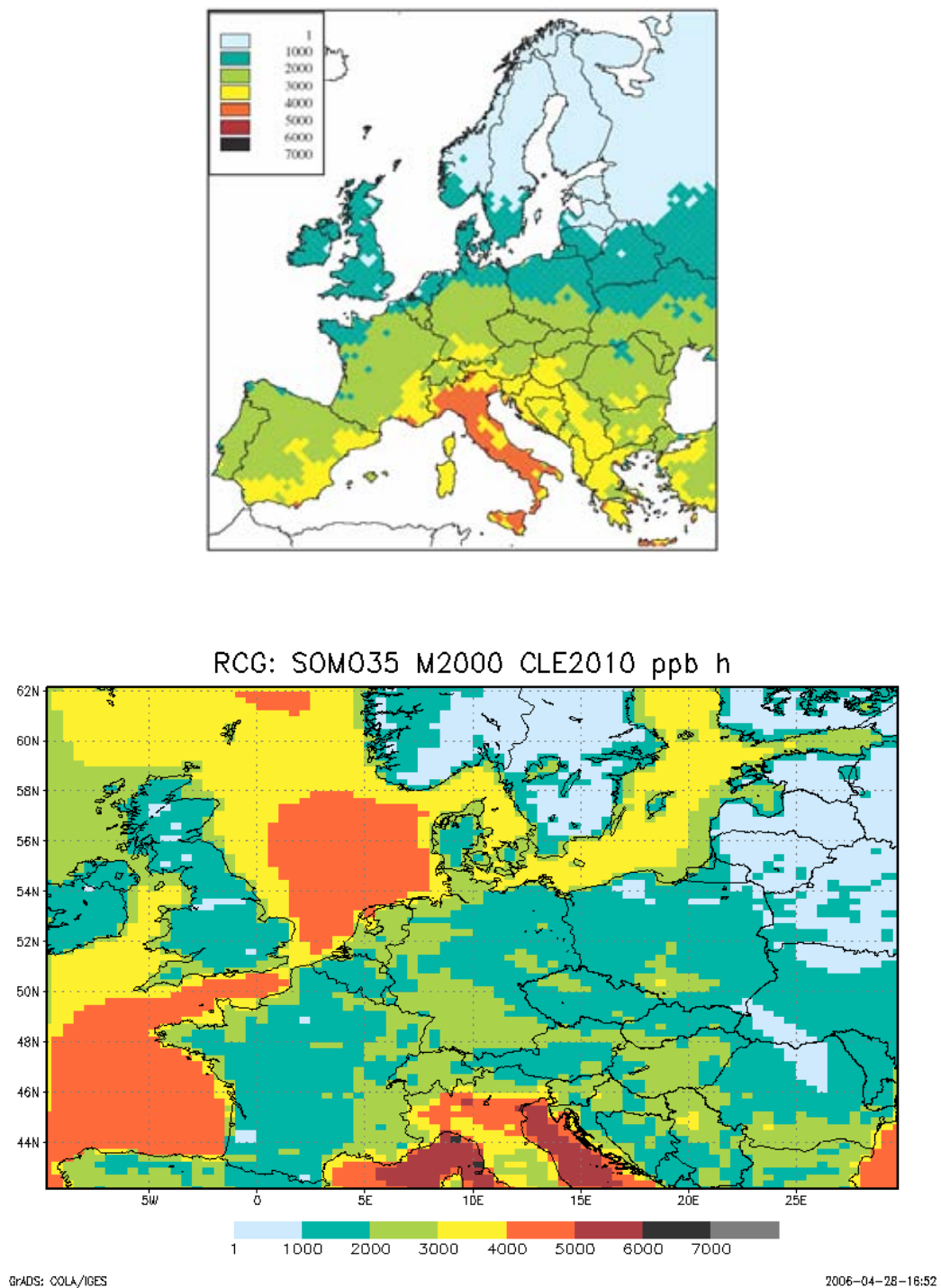


Abbildung 49 Berechnete SOMO35-Werte in ppb h für 2010. Oben: Mittelwert der EMEP-Berechnung für die meteorologischen Jahre 1997, 1999, 2000, 2003. Quelle: Amann et al. (2005). Unten: RCG-Berechnung für das meteorologische Jahr 2000 unter Verwendung der TNO-CAFE-Emissionen 2010.

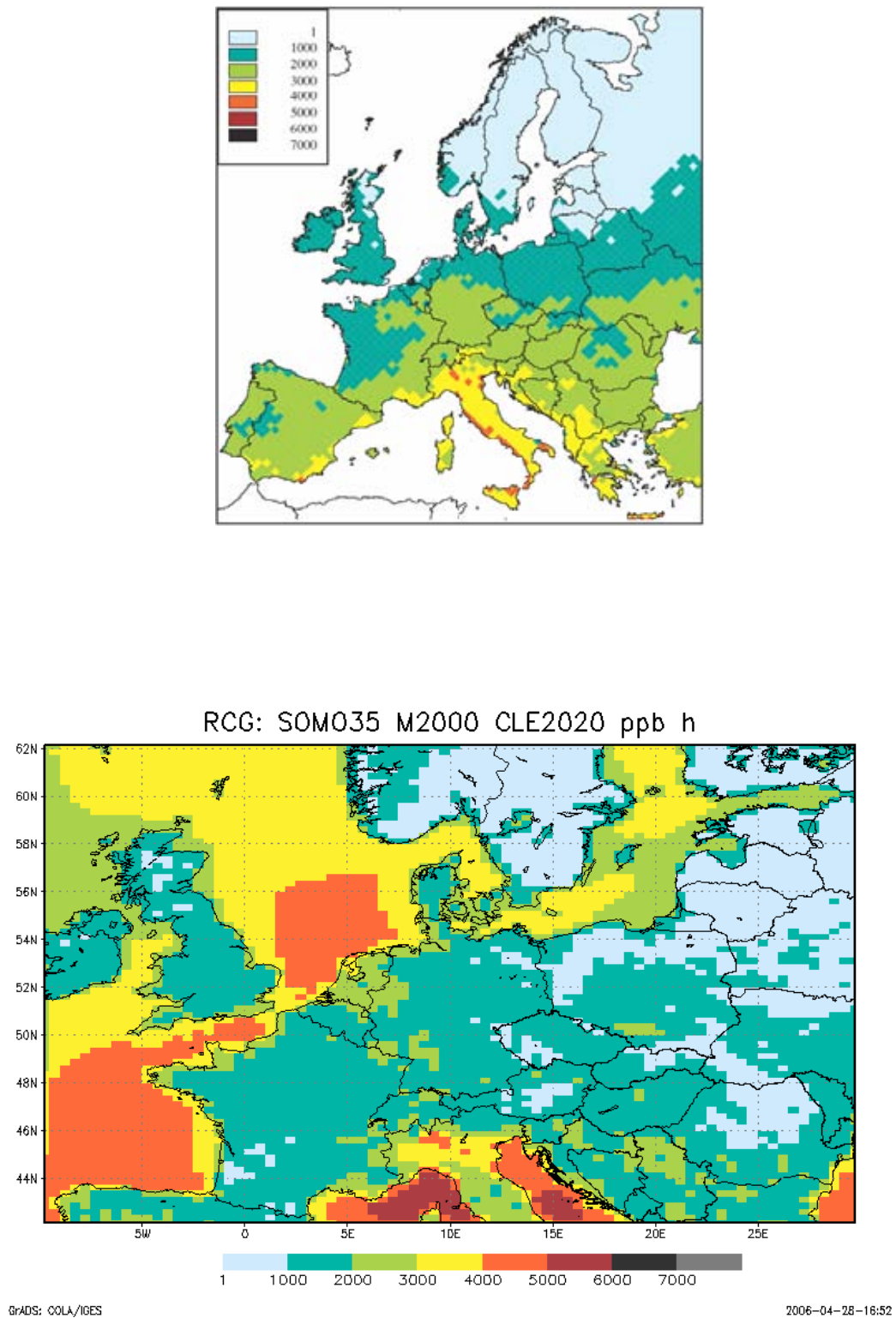


Abbildung 50 Berechnete SOMO35-Werte in ppb h für 2020. Oben: Mittelwert der EMEP-Berechnung für die meteorologischen Jahre 1997, 1999, 2000, 2003. Quelle: Amann et al. (2005). Unten: RCG-Berechnung für das meteorologische Jahr 2000 unter Verwendung der TNO-CAFE-Emissionen 2020.

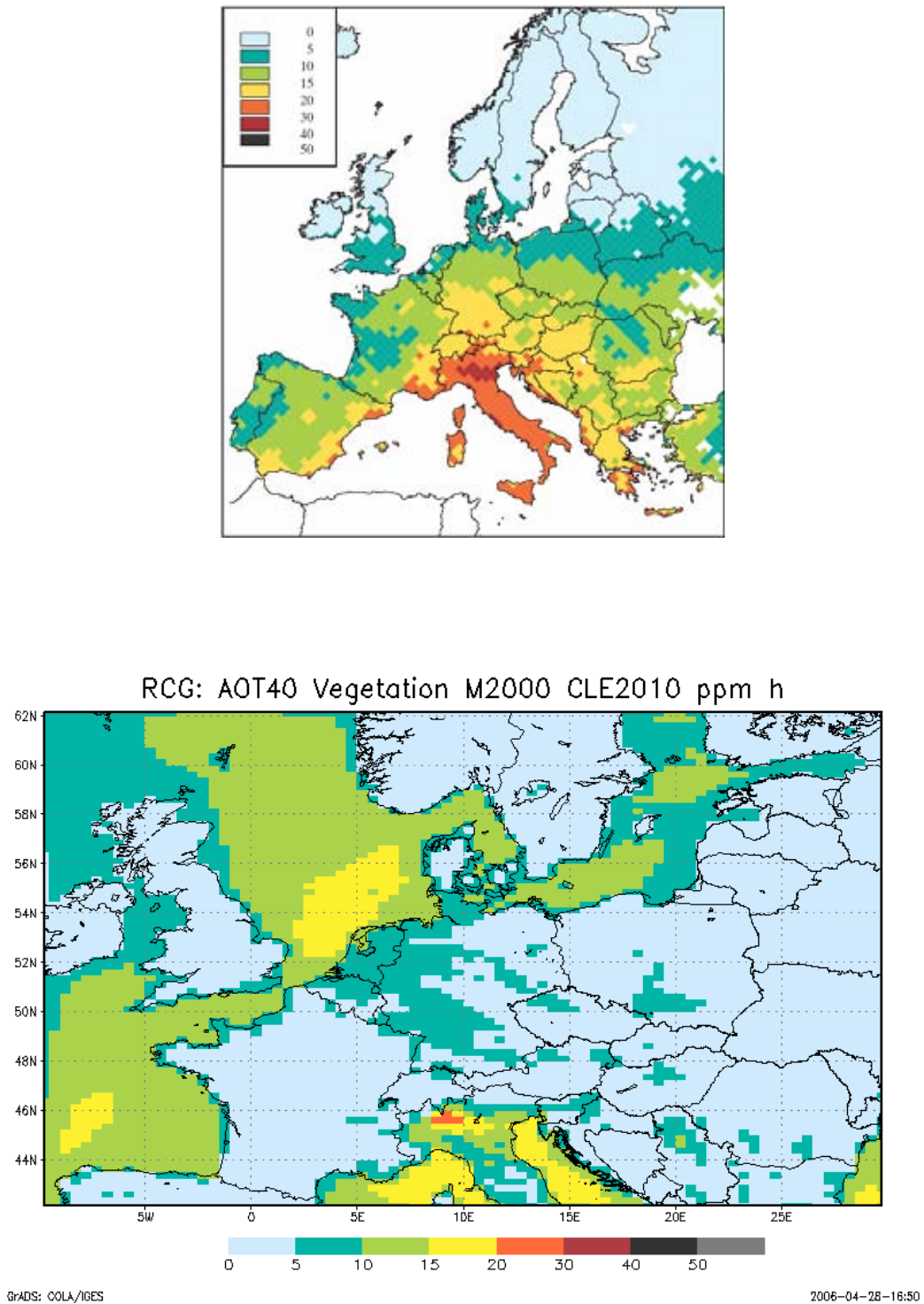


Abbildung 51 Berechnete AOT40-Werte in ppm h. Oben: Mittelwert der EMEP-Berechnung für die meteorologischen Jahre 1997, 1999, 2000, 2003 unter Verwendung der EMEP-CAFE-Emissionen 2010. Quelle: Amann et al. (2005). Unten: RCG-Berechnung für das meteorologische Jahr 2000 unter Verwendung der TNO-CAFE-Emissionen 2010.

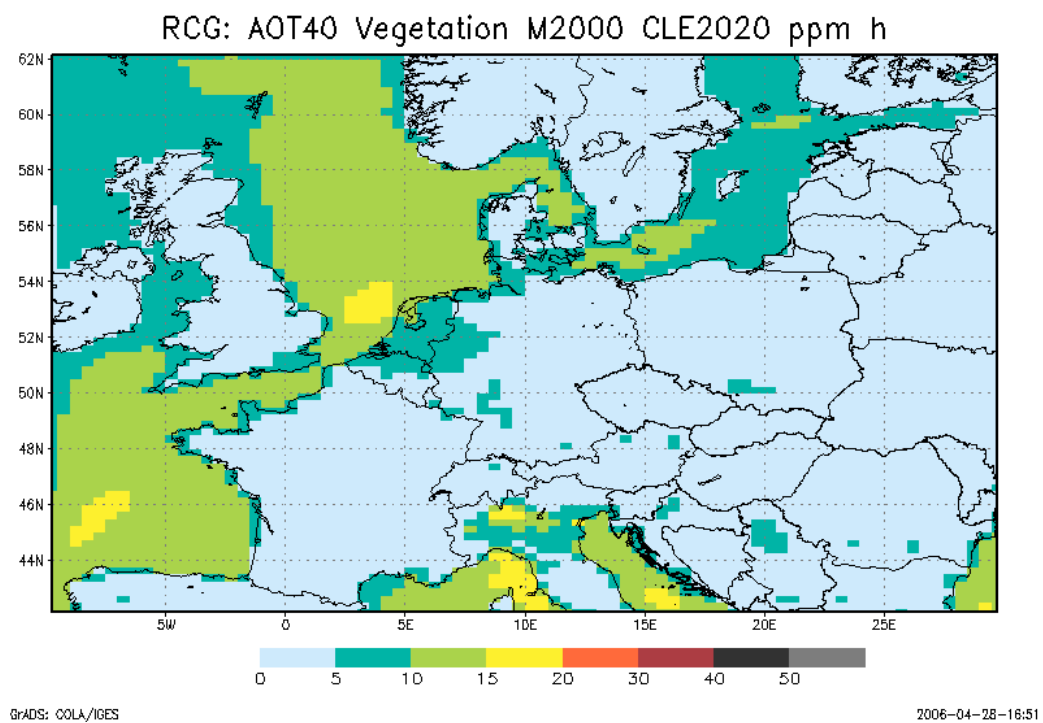
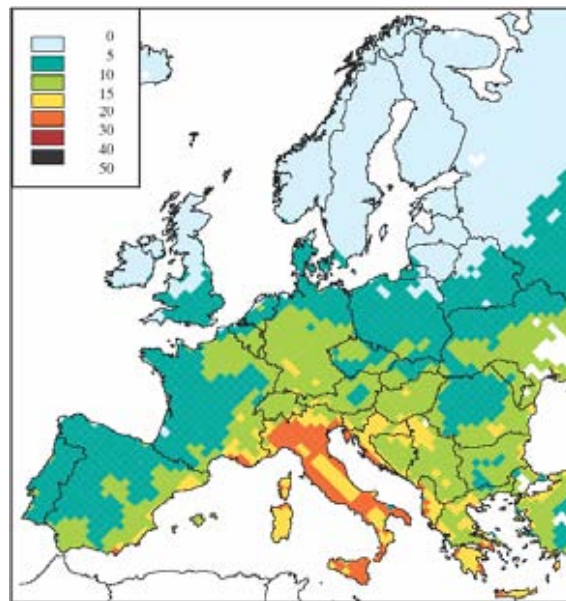


Abbildung 52 Berechnete AOT40-Werte in ppm h. Oben: Mittelwert der EMEP-Berechnung für die meteorologischen Jahre 1997, 1999, 2000, 2003 unter Verwendung der EMEP-CAFE-Emissionen 2020. Quelle: Amann et al. (2005). Unten: RCG-Berechnung für das meteorologische Jahr 2000 unter Verwendung der TNO-CAFE-Emissionen 2020.

6. Zusammenfassung

In diesem Bericht wird anfangs die Entwicklung der Emissionssituation in Deutschland von 2000 nach 2010 und 2020 beschrieben. Gemittelt über ganz Deutschland vermindern sich entsprechend den Vorgaben des CLE-Szenarios („Current Legislation“) die NO_x -Emissionen bis 2010 um circa 29%. Die aufgrund des CLE-Szenarios berechnete mittlere NMVOC-Abnahme in Deutschland beträgt circa 31%, die SO_2 -Abnahme 30% und die PM_{10} -Abnahme 14%. Für 2020 werden für diese Schadstoffe Abnahmen von 45%, 43%, 34% und 20% erwartet, jeweils bezogen auf das Referenzjahr 2000.

Danach werden anhand des Basislaufs für die Meteorologie 2002 die Auswirkungen einer Gittertransformation (EMEP-Gitter nach RCG-Gitter) und diejenigen einer Gitterverfeinerung (0.25° Breite auf 0.125° Breite, 0.5° Länge auf 0.25° Länge) diskutiert. Die feinere Auflösung von 0.125° Breite und 0.25° Länge ermöglicht in den Ballungsräumen und deren Rändern eine deutliche Erhöhung des Konzentrationsgradienten. In den emissionschwachen Gebieten macht sich die Halbierung der Maschenweite dagegen kaum bemerkbar.

Anschließend erfolgt die Auswertung der Emissionsszenarien für die prognostizierte Emissionssituation 2010 und 2020. Nach den Berechnungen für die meteorologischen Verhältnisse des Jahres 2000 muss in Städten im Jahre 2010 noch mit urbanen PM_{10} -Hintergrundkonzentrationen von 15 bis $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in den größeren Ballungsgebieten von 20 bis $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in Teilen des Ruhrgebiets sogar von 25 bis $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gerechnet werden. In eher ländlichen Regionen werden noch 10 bis $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ PM_{10} erreicht. Bezogen auf die Basissimulation mit den Emissionen 2000 entspricht dies Abnahmen von 3 bis $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in städtischen Regionen und 2 bis $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in ländlichen Regionen. Bis 2020 sinken die urbanen PM_{10} -Hintergrundkonzentrationen um weitere 2 bis $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die Konzentrationen in den ländlichen Regionen um weitere 1 bis $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab. Die maximalen $\text{PM}_{2.5}$ -Konzentrationen in Deutschland erreichen nach den Berechnungen in den Ballungsgebieten in 2010 noch die $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ Marke, im Jahre 2020 liegen sie unter $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dies entspricht für 2010 gegenüber dem Ist-Zustand 2000 Abnahmen von 1 bis $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mit höheren Abnahmen in den Ballungsgebieten. Bis 2020 nehmen die $\text{PM}_{2.5}$ -Jahresmittelwerte dann um weitere 1 bis $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab.

Nach den Berechnungen muss in Städten im Jahre 2010 noch mit urbanen NO_2 -Hintergrundkonzentrationen von 25 bis $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, in den größeren Ballungsgebieten von 30 bis $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ und vereinzelt bis $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ gerechnet werden. In eher ländlichen Regionen werden noch NO_2 -Jahresmittelwerte von 5 bis $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ erreicht. Bezogen auf die Basissimulation mit den Emissionen 2000 entspricht dies Abnahmen von 6 bis $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in städtischen Regionen und zwischen 1 und $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in eher ländlichen Regionen. Bis 2020 sinken die urbanen NO_2 -Hintergrundkonzentrationen um weitere 6 bis $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$, die Konzentrationen in den ländlichen Regionen um weitere 1 bis $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ab. Im urbanen Hintergrund werden die NO_2 -Jahresmittelwerte im Jahre 2020 damit überwiegend unter $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ liegen.

Auf der Basis des Emissionszustandes 2000 wird der AOT40-Zielwert von $18000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$ der Ozon-Tochterrichtlinie in vielen Regionen Deutschlands überschritten. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Flächen mit Überschreitungen als Folge der Emissionsabnahmen bis 2010 und vor allem bis 2020 deutlich kleiner werden oder sogar gar nicht mehr auftreten. Die zulässige Anzahl von 25 Überschreitungstagen wird nach den Berechnungen insbesondere im Einzugsbereich der Ballungsgebiete überschritten. Die Gebiete mit Überschreitungen werden unter den Emissionsbedingungen 2010 und 2020 deutlich kleiner, treten aber immer noch auf. Es ist also davon auszugehen, dass die zulässige Anzahl von 25 Überschreitungstagen auch unter den Emissionsbedingungen 2010 und 2020 nicht überall in Deutschland einzuhalten sein wird, insbesondere in Jahren, die photochemisch aktiver sind als das eher durchschnittliche Jahr 2000.

Ähnliches gilt für den maximalen Ozon 8-h-Mittelwert, dessen Zielwert von $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ in Deutschland flächendeckend überschritten wird. Selbst unter den Emissionsbedingungen 2020 wird dieser Zielwert in Deutschland in vielen Gebieten nicht einzuhalten sein. Dies gilt auch für das langfristige Ziel zum Schutz der Vegetation ($6000 \mu\text{g}/\text{m}^3 \text{ h}$).

Es muss darauf hingewiesen werden, dass die obigen Aussagen zu den zu erwartenden Konzentrationsänderungen streng genommen nur für die meteorologischen Bedingungen des Referenzjahres 2000 gelten, das immissionsklimatologisch ein eher unauffälliges Jahr war. Für meteorologisch extremere Jahre, wie z.B. 2003, können sich unter Umständen etwas größere Konzentrationsbereiche ergeben. Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass die Skala der hier präsentierten Rechnungen nicht ausreichend ist, um städtische „hot spots“ abzubilden. In solchen Rezeptorgebieten, wie z.B. Straßenschluchten, können höhere Konzentrationen und damit auch höhere Konzentrationsänderungen auftreten als hier berechnet wurden.

Der Schluss des Berichts präsentiert noch einen kurzen Vergleich der RCG-Ergebnisse mit denjenigen Ergebnissen des EMEP-Modells, die für den CAFE-Prozess verwendet wurden. Die Unterschiede zwischen den EMEP-Ergebnissen und denjenigen des RCG-Modells sind relativ gering, insbesondere unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die beiden Modellergebnisse nur bedingt vergleichbar sind. Es lässt sich festhalten, dass beide Modelle in der Tendenz der Immissionsprognosen zu sehr ähnlichen Ergebnissen kommen.

.

7. Literatur

Amann, M., I. Bertok, J. Cofala, F. Gyarfas, C. Heyes, Z. Klimon (2005). Baseline Scenarios for the Clean Air for Europe (CAFE) Programme. Final Report, International Institute for Applied Systems Analysis, Schlossplatz 1, A-2361 Laxenburg, Austria

Builtjes, P., M. van Loon, M. Schaap, S. Teeuwisse, A. Visschedijk, P. Bloos (2002), The development of an emission data base over Europe and further contributions of TNO-MEP. TNO-Report R2002/322. Abschlussbericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 298 41 252 des Umweltbundesamts „Modellierung und Prüfung von Strategien zur Verminderung der Belastung durch Ozon“.

EMEP (2003). Review and revision. Emission data reported to CLTRAP. MSC-W Status Report 2003. EMEP Status Report 2003. ISSN 0804-2446.

Flemming, J. und Stern, R. (2004). Immissionsklima 1995 - 2003 aus Beobachtung und Modellrechnung. Einfluss von Wettervariabilität und Emissionstrends. Abschlussbericht im Rahmen des Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 201 43 250 auf dem Gebiet des Umweltschutzes „Anwendung modellgestützter Beurteilungssysteme für die bundeseinheitliche Umsetzung der EU-Rahmenrichtlinie Luftqualität und ihrer Tochterrichtlinien“

Stern, R. (2003). Entwicklung und Anwendung des chemischen Transportmodells REM-CALGRID. Abschlussbericht zum FuE-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 FuE-Vorhaben 201 43 250 des Umweltbundesamts „Anwendung modellgestützter Beurteilungssysteme für die bundeseinheitliche Umsetzung der EU-Rahmenrichtlinie Luftqualität und ihrer Tochterrichtlinien“

Stern, R. (2006). Erstellung einer hoch aufgelösten Emissionsdatenbasis für Deutschland und Europa, Bezugsjahre 2000, 2010 und 2020. Bericht zum FE-Vorhaben 202 43 270 „Entwicklung von Modellen zur Identifizierung von Schadstoffquellen -insbesondere im Verkehrsbereich- im Rahmen der 22. BImSchV - Dokumentation, Weiterentwicklung, Validierung und Maßnahmenplanung für ein bundeseinheitliches Vorgehen“. FU Berlin, Institut für Meteorologie.

Stern, R. und Fath, J. (2006) Kartographische Darstellung der flächenhaften Immissionsbelastung in Deutschland durch Kombination von Messung und Rechnung für die Jahre 1999 bis 2003. Bericht zum Forschungs- und Entwicklungsvorhaben FKZ 204 42 202/03 auf dem Gebiet des Umweltschutzes „Analyse und Bewertung der Immissionsbelastung durch Feinstaub in Deutschland durch Ferntransporte“

Visschedijk, A. und Van der Gon, D. (2005). Gridded European anthropogenic emission data for NO_x, SO₂, NMVOC, NH₃, CO, PM₁₀, PM_{2.5} and CH₄ for the year 2000. TNO-report B&O-A R 2005/106

8. Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1: FEINES EMISSIONSGITTER MIT EINER AUFLÖSUNG VON 0,25° LÄNGE UND 0,125° BREITE FÜR DEUTSCHLAND.	7
ABBILDUNG 2: NO _x -EMISSIONEN IM GROßRAUM BERLIN. OBEN: EMEP-CAFE-EMISSIONEN 2000 TRANSFORMIERT IN DAS RCG-RASTER 0.125° BREITE UND 0.25° LÄNGE. UNTEN: TNO-EMISSIONEN 2000 DIREKT IN DER RCG-RASTERUNG.	9
ABBILDUNG 3: BERECHNETE NO ₂ -JAHRESMITTELWERTE 2002 IN µG/M ³ . OBEN: EMEP-CAFE-EMISSIONEN TRANSFORMIERT IN DAS RCG-RASTER, UNTEN TNO-EMISSIONEN 2000 DIREKT IM RCG-RASTER. DIE NATIONAL EN EMISSIONSMENGEN STIMMEN IN BEIDEN DATENBASEN ÜBEREIN. RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE.	10
ABBILDUNG 4 BERECHNETE PM10-JAHRESMITTELWERTE 2002 IN µG/M ³ . OBEN: EMEP-CAFE-EMISSIONEN TRANSFORMIERT IN DAS RCG-RASTER, UNTEN TNO-EMISSIONEN 2000 DIREKT IM RCG-RASTER. DIE NATIONAL EN EMISSIONSMENGEN STIMMEN IN BEIDEN DATENBASEN ÜBEREIN. RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE.	11
ABBILDUNG 5: BERECHNETE NO ₂ -JAHRESMITTELWERTE 2002 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE. TNO-EMISSIONEN 2000.	12
ABBILDUNG 6: BERECHNETE PM10-JAHRESMITTELWERTE 2002 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE. TNO-EMISSIONEN 2000.	13
ABBILDUNG 7: BERECHNETE O ₃ -JAHRESMITTELWERTE 2002 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE. TNO-EMISSIONEN 2000.	14
ABBILDUNG 8 BERECHNETE PM10-JAHRESMITTELWERTE 2000 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN 2000.	17
ABBILDUNG 9 BERECHNETE PM10-JAHRESMITTELWERTE 2010 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2010.	18
ABBILDUNG 10 BERECHNETE PM10-JAHRESMITTELWERTE 2020 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2020.	19
ABBILDUNG 11 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER PM10-JAHRESMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2000 NACH 2010 (CLE2010-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.	20
ABBILDUNG 12 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER PM10-JAHRESMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2000 NACH 2020 (CLE2020-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.	21
ABBILDUNG 13 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER PM10-JAHRESMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2010 NACH 2020 (CLE2020-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.	22
ABBILDUNG 14 BERECHNETE PM2.5-JAHRESMITTELWERTE 2000 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN 2000.	23
ABBILDUNG 15 BERECHNETE PM2.5-JAHRESMITTELWERTE 2010 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2010.	24
ABBILDUNG 16 BERECHNETE PM2.5-JAHRESMITTELWERTE 2020 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2020.	25
ABBILDUNG 17 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER PM2.5-JAHRESMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2000 NACH 2010 (CLE2010-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.	26
ABBILDUNG 18 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER PM2.5-JAHRESMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2000 NACH 2020 (CLE2020-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.	27
ABBILDUNG 19 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER PM2.5-JAHRESMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2010 NACH 2020 (CLE2020-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.	28
ABBILDUNG 20 BERECHNETE NO ₂ -JAHRESMITTELWERTE 2000 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN 2000.	30
ABBILDUNG 21 BERECHNETE NO ₂ -JAHRESMITTELWERTE 2010 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2010.	31
ABBILDUNG 22 BERECHNETE NO ₂ -JAHRESMITTELWERTE 2020 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2020.	32

ABBILDUNG 23 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER NO ₂ -JAHRESMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2000 NACH 2010 (CLE2010-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.....	33
ABBILDUNG 24 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER NO ₂ -JAHRESMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2000 NACH 2020 (CLE2020-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.....	34
ABBILDUNG 25 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER NO ₂ -JAHRESMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2010 NACH 2020 (CLE2020-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.....	35
ABBILDUNG 26 BERECHNETE O ₃ -JAHRESMITTELWERTE 2000 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2000.....	38
ABBILDUNG 27 BERECHNETE O ₃ -JAHRESMITTELWERTE 2000 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2010.....	39
ABBILDUNG 28 BERECHNETE O ₃ -JAHRESMITTELWERTE 2000 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2020.....	40
ABBILDUNG 29 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER O ₃ -JAHRESMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2000 NACH 2010 (CLE2010-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.....	41
ABBILDUNG 30 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER O ₃ -JAHRESMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2000 NACH 2020 (CLE2020-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.....	42
ABBILDUNG 31 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER O ₃ -JAHRESMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2010 NACH 2020 (CLE-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.....	43
ABBILDUNG 32 BERECHNETE O ₃ -SOMMERMITTELWERTE 2000 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2000.....	44
ABBILDUNG 33 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER O ₃ -SOMMERMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2000 NACH 2010 (CLE2010-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.....	45
ABBILDUNG 34 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER O ₃ -SOMMERMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2000 NACH 2020 (CLE2020-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.....	46
ABBILDUNG 35 BERECHNETE O ₃ -WINTERMITTELWERTE 2000 IN µG/M ³ . OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2000.....	47
ABBILDUNG 36 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER O ₃ -WINTERMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2000 NACH 2010 (CLE2010-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.....	48
ABBILDUNG 37 ZU ERWARTENDE ABSOLUTE ÄNDERUNG DER O ₃ -WINTERMITTELWERTE INFOLGE DER EMISSIONSENTWICKLUNG 2000 NACH 2020 (CLE2020-SZENARIO). OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN.....	49
ABBILDUNG 38 BERECHNETE AOT40-WERTE ZUM SCHUTZ DER VEGETATION IN MG/M ³ H. OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2000.....	50
ABBILDUNG 39 BERECHNETE AOT40-WERTE ZUM SCHUTZ DER VEGETATION IN MG/M ³ H. OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2010.....	51
ABBILDUNG 40 BERECHNETE AOT40-WERTE ZUM SCHUTZ DER VEGETATION IN MG/M ³ H. OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2020.....	52
ABBILDUNG 41 BERECHNETE ANZAHL DER TAGE MIT MAXIMALEN OZON 8-H-MITTELWERT > 120µG/M ³ UNTER DEN METEOROLOGISCHEN BEDINGUNGEN 2000. OBEN: TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2000, MITTE CLE 2010, UNTEN CLE 2020. RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE.	53
ABBILDUNG 42 BERECHNETER MAXIMALER OZON 8-H-MITTELWERT IN µG/M ³ UNTER DEN METEOROLOGISCHEN BEDINGUNGEN 2000. OBEN: TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2000, MITTE CLE 2010, UNTEN CLE 2020. RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE.	54
ABBILDUNG 43 BERECHNETE SOMO35-WERTE IN PPB H. OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2000.	55
ABBILDUNG 44 BERECHNETE SOMO35-WERTE IN PPB H. OBEN: RASTERGRÖßE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖßE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2010.	56

ABBILDUNG 45 BERECHNETE SOMO35-WERTE IN PPB H. OBEN: RASTERGRÖÖE 0.25° BREITE, 0.5° LÄNGE, UNTEN: RASTERGRÖÖE 0.125° BREITE, 0.25° LÄNGE. TNO-CAFE-EMISSIONEN CLE 2020.	57
ABBILDUNG 46 BERECHNETE PM2.5-JAHRESMITTELWERTE IN $\mu\text{g}/\text{m}^3$. OBEN LINKS: EMEP-BERECHNUNG FÜR DAS METEOROLOGISCHE JAHR 2000 UND DEN CAFE-EMISSIONEN 2000. OBEN RECHTS: MITTELWERT DER EMEP-BERECHNUNG FÜR DIE METEOROLOGISCHEN JAHRE 1997, 1999, 2000, 2003. BEIDE BILDER AUS AMANN ET AL. (2005). UNTEN: RCG-BERECHNUNG FÜR DAS METEOROLOGISCHE JAHR 2000 UNTER VERWENDUNG DER TNO-CAFE-EMISSIONEN 2000.	60
ABBILDUNG 47 BERECHNETE SOMO35-WERTE IN PPB H. OBEN LINKS: EMEP-BERECHNUNG FÜR DAS METEOROLOGISCHE JAHR 2000 UND DEN EMEP-CAFE-EMISSIONEN 2000. OBEN RECHTS: MITTELWERT DER EMEP-BERECHNUNG FÜR DIE METEOROLOGISCHEN JAHRE 1997, 1999, 2000, 2003. BEIDE BILDER AUS AMANN ET AL. (2005). UNTEN: RCG-BERECHNUNG FÜR DAS METEOROLOGISCHE JAHR 2000 UNTER VERWENDUNG DER TNO-CAFE-EMISSIONEN 2000.	61
ABBILDUNG 48 BERECHNETE AOT40-WERTE IN PPM H. OBEN: MITTELWERT DER EMEP-BERECHNUNG FÜR DIE METEOROLOGISCHEN JAHRE 1997, 1999, 2000, 2003 UNTER VERWENDUNG DER EMEP-CAFE-EMISSIONEN 2000. QUELLE: AMANN ET AL. (2005). UNTEN: RCG-BERECHNUNG FÜR DAS METEOROLOGISCHE JAHR 2000 UNTER VERWENDUNG DER TNO-CAFE-EMISSIONEN 2000.	62
ABBILDUNG 49 BERECHNETE SOMO35-WERTE IN PPB H FÜR 2010. OBEN: MITTELWERT DER EMEP-BERECHNUNG FÜR DIE METEOROLOGISCHEN JAHRE 1997, 1999, 2000, 2003. QUELLE: AMANN ET AL. (2005). UNTEN: RCG-BERECHNUNG FÜR DAS METEOROLOGISCHE JAHR 2000 UNTER VERWENDUNG DER TNO-CAFE-EMISSIONEN 2010.	63
ABBILDUNG 50 BERECHNETE SOMO35-WERTE IN PPB H FÜR 2020. OBEN: MITTELWERT DER EMEP-BERECHNUNG FÜR DIE METEOROLOGISCHEN JAHRE 1997, 1999, 2000, 2003. QUELLE: AMANN ET AL. (2005). UNTEN: RCG-BERECHNUNG FÜR DAS METEOROLOGISCHE JAHR 2000 UNTER VERWENDUNG DER TNO-CAFE-EMISSIONEN 2020.	64
ABBILDUNG 51 BERECHNETE AOT40-WERTE IN PPM H. OBEN: MITTELWERT DER EMEP-BERECHNUNG FÜR DIE METEOROLOGISCHEN JAHRE 1997, 1999, 2000, 2003 UNTER VERWENDUNG DER EMEP-CAFE-EMISSIONEN 2010. QUELLE: AMANN ET AL. (2005). UNTEN: RCG-BERECHNUNG FÜR DAS METEOROLOGISCHE JAHR 2000 UNTER VERWENDUNG DER TNO-CAFE-EMISSIONEN 2010.	65
ABBILDUNG 52 BERECHNETE AOT40-WERTE IN PPM H. OBEN: MITTELWERT DER EMEP-BERECHNUNG FÜR DIE METEOROLOGISCHEN JAHRE 1997, 1999, 2000, 2003 UNTER VERWENDUNG DER EMEP-CAFE-EMISSIONEN 2020. QUELLE: AMANN ET AL. (2005). UNTEN: RCG-BERECHNUNG FÜR DAS METEOROLOGISCHE JAHR 2000 UNTER VERWENDUNG DER TNO-CAFE-EMISSIONEN 2020.	66

9. Tabellenverzeichnis

TABELLE 1: EMISSIONEN 2000 IN DEUTSCHLAND AUFGETEILT IN DIE SNAP-VERURSACHERGRUPPEN.....	3
TABELLE 2: EMISSIONEN 2010 IN DEUTSCHLAND AUFGETEILT IN DIE SNAP-VERURSACHERGRUPPEN. CLE-SZENARIO	4
TABELLE 3 EMISSIONEN 2020 IN DEUTSCHLAND AUFGETEILT IN DIE SNAP-VERURSACHERGRUPPEN. CLE-SZENARIO.	5
TABELLE 4: ÄNDERUNG DER DEUTSCHEN EMISSIONEN 2000 NACH 2010 IN %, BEZOGEN AUF 2000.	5
TABELLE 5 ÄNDERUNG DER DEUTSCHEN EMISSIONEN 2000 NACH 2020 IN %, BEZOGEN AUF 2000.....	6
TABELLE 6 BERECHNETER PM10-UND PM2.5 KONZENTRATIONSBEREICH (HINTERGRUND) DER DEUTSCHLAND- ANWENDUNG (AUFLÖSUNG 0.25° LÄNGE UND 0.125° BREITE) IN DEUTSCHLAND FÜR DEN IST-ZUSTAND (E2000) UND DIE CLE-SZENARIEN 2010 UND 2020. JAHRESMITTELWERTE BASIEREND AUF DEN METEOROLOGISCHEN BEDINGUNGEN DES JAHRES 2000.	16