

Endbericht

## Verkehrsgutachten

# Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität im Land Brandenburg



für das

Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und  
Verbraucherschutz des Landes Brandenburg  
Heinrich-Mann-Allee 103  
14473 Potsdam

von

IVU Umwelt GmbH  
Emmy-Noether-Str. 2  
79110 Freiburg



unter Mitarbeit von  
Dr. Rainer Stern  
Berlin

und

Planungsbüro Dr.-Ing. D. Hunger  
Stadt - Verkehr - Umwelt, SVU  
Gottfried-Keller-Straße 24  
01157 Dresden

Endbericht

# Verkehrsgutachten

## Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität im Land Brandenburg

für das

Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und  
Verbraucherschutz des Landes Brandenburg  
Heinrich-Mann-Allee 103  
14473 Potsdam

Bearbeitet von:

Volker Diegmann  
Günter Gäßler  
Dr. Lina Neunhäuserer  
Heike Wursthorn

IVU Umwelt GmbH  
Emmy-Noether-Str. 2  
D-79110 Freiburg  
Tel: +49 (0) 761 / 88 85 12 - 0  
Fax: +49 (0) 761 / 88 85 12 - 12  
info@ivu-umwelt.de  
www.ivu-umwelt.de

unter Mitarbeit von

Dr. Rainer Stern

und

Tobias Schönefeld  
Dr.-Ing. D. Hunger  
Planungsbüro Dr.-Ing. Ditmar Hunger  
Stadt - Verkehr - Umwelt, SVU  
Gottfried-Keller-Straße 24  
01157 Dresden

Vorgelegt am 26.03.2012

## INHALTSVERZEICHNIS

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einführung</b>   | <b>11</b> |
| <b>2</b> | <b>Methodik</b>   | <b>13</b> |
| 2.1      | Allgemeines   | 13        |
| 2.2      | Berechnung der Emissionen des Kfz-Verkehrs  | 13        |
| 2.2.1    | Kennzeichenerfassung per Videodetektion   | 13        |
| 2.3      | Berechnung der Vorbelastung mit FLADIS auf Basis von Messdaten und Daten aus RCG-Modellierung | 14        |
| 2.4      | Berechnung Gesamtbelastung mit IMMIS <sup>luft</sup>  | 15        |
| 2.4.1    | Abschnittsbildung und Geometriedaten mit IMMIS <sup>build</sup>                               | 15        |
| 2.4.2    | Berechnung des NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerts   | 16        |
| 2.4.3    | Berechnung des Tagesgrenzwert PM10  | 16        |
| <b>3</b> | <b>Emissionen des Kfz-Verkehrs</b>  | <b>19</b> |
| 3.1      | Datenlage Kfz-Verkehr   | 19        |
| 3.2      | Attributierung der USDB 2009 nach HBEFA 3.1   | 24        |
| 3.2.1    | Verkehrsdaten   | 24        |
| 3.2.2    | Verkehrssituation   | 24        |
| 3.2.3    | Kaltstarttypisierung  | 27        |
| 3.2.4    | Attributierung der Level Of Service (LOS)   | 27        |
| 3.3      | Ergebnisse der landesweiten Kfz-Emissionsberechnung   | 30        |
| 3.4      | Aufbereitung für Vorbelastungsmodellierung  | 31        |
| <b>4</b> | <b>Bestimmung der landesweiten Vorbelastung</b>   | <b>33</b> |
| 4.1      | Einführung  | 33        |
| 4.2      | Modellierung mit RCG  | 33        |
| 4.2.1    | Das RCG-Modell  | 33        |
| 4.2.2    | Eingangsdaten   | 34        |
| 4.2.2.1  | Erstellung der meteorologischen Daten   | 34        |
| 4.2.2.2  | Erstellung der Emissionsdaten   | 34        |
| 4.2.3    | Ergebnisse  | 39        |
| 4.2.3.1  | RCG-Ergebnisse für das Basisjahr 2008   | 39        |
| 4.2.3.2  | Validierung   | 41        |
| 4.2.4    | Prognosen für 2010 und 2015   | 44        |
| 4.3      | Anwendung FLADIS  | 47        |
| 4.3.1    | Kombination Modell-Messung  | 47        |
| 4.3.2    | Interpolation   | 47        |
| 4.3.3    | Datenassimilation   | 48        |
| 4.3.4    | Prognose  | 49        |
| 4.4      | Messdaten aus dem Landesmessnetz und Airbase-Daten  | 49        |
| 4.5      | Ergebnisse  | 52        |
| 4.5.1    | Vorbelastung 2008   | 52        |

|          |  |            |
|----------|--|------------|
| 4.5.2    | Prognose   | 54         |
| 4.5.3    | Vorbelastung NO <sub>x</sub>                                     | 62         |
| <b>5</b> | <b>Landesweites Screening</b>                                    | <b>65</b>  |
| 5.1      | Methode  | 65         |
| 5.2      | Abschnittsbildung  | 65         |
| 5.2.1    | Geometrie des Ursprungsnetzes                                    | 67         |
| 5.2.2    | Lücken in den Bebauungsdaten                                     | 69         |
| 5.2.3    | Bestimmung der Längsneigung aus dem Höhenmodell DGM25            | 70         |
| 5.2.4    | Ergebnisse der Abschnittsbildung                                 | 73         |
| 5.3      | Aufbereitung von regionalisierten meteorologischen Eingangsdaten | 74         |
| 5.4      | Ergebnisse der landesweiten Screeningberechnungen                | 79         |
| 5.4.1    | Bezugsjahr 2008 - Übersicht                                      | 79         |
| 5.4.2    | Bezugsjahr 2008 - Hotspots                                       | 82         |
| 5.4.3    | Prognosen 2010 und 2015  | 83         |
| 5.4.3.1  | Prognose 2010  | 83         |
| 5.4.3.2  | Prognose 2015  | 87         |
| <b>6</b> | <b>Qualitätssicherung</b>  | <b>93</b>  |
| 6.1      | Überprüfung der Belastungssituation an Hotspots                  | 93         |
| 6.2      | Sensitivität Geometrie   | 98         |
| 6.3      | Sensitivität Meteorologie  | 99         |
| 6.4      | Sensitivität Level of Service (LOS)                              | 100        |
| 6.5      | Validierung  | 101        |
| 6.5.1    | Jahresmittelwert PM10  | 104        |
| 6.5.2    | Jahresmittelwert NO <sub>2</sub>                                 | 107        |
| <b>7</b> | <b>Zusammenfassung</b>   | <b>110</b> |
| <b>8</b> | <b>Literatur</b>   | <b>113</b> |
| <b>A</b> | <b>Kennzeichenerfassung Potsdam/Cottbus</b>                      | <b>117</b> |
| <b>B</b> | <b>Flottenzusammensetzungen</b>                                  | <b>121</b> |
| <b>C</b> | <b>Aktualisierung der Verkehrsdatenbasis</b>                     | <b>125</b> |
| C.1      | Einführung   | 125        |
| C.2      | Vergleiche   | 126        |
| <b>D</b> | <b>RCG-Ergebnisse 2008</b>                                       | <b>129</b> |
| <b>E</b> | <b>Ergebnisse der Interpolation 2008</b>                         | <b>133</b> |
| <b>F</b> | <b>Differenzen der Vorbelastung</b>                              | <b>137</b> |
| <b>G</b> | <b>Attributierung des Verkehrsnetzes</b>                         | <b>141</b> |



**H**

**Hotspots 2008**

**153**

**ABBILDUNGSVERZEICHNIS**

|                 |  |    |
|-----------------|--|----|
| Abbildung 2-1:  | Kopplung von Mess- und Modelldaten zur Ermittlung der landesweiten Vorbelastung mit FLADIS   | 14 |
| Abbildung 2-2:  | Statistischer Zusammenhang zwischen dem Jahresmittelwert von PM10 und der Anzahl Tage mit einem PM10-Tagesmittelwert über 50 µg/m <sup>3</sup>                 | 17 |
| Abbildung 3-1:  | Häufigkeit der Abschnitte je DTV-Klasse im verwendeten Gesamtnetz und im innerörtlichen Netz   | 20 |
| Abbildung 3-2:  | Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) der USDB 2009  | 21 |
| Abbildung 3-3:  | Erhebungsjahr der DTV-Werte der USDB 2009  | 22 |
| Abbildung 3-4:  | Definition der Verkehrssituation nach HBEFA 2.1 der USDB 2009  | 23 |
| Abbildung 3-5:  | Ganglinien des Verkehrs zur LOS-Bestimmung in IMMIS <sup>em</sup> 5  | 28 |
| Abbildung 3-6:  | Übertragung der für das HBEFA 2.1 ermittelten Störungsgrade nach LOS-Aufteilungen für das HBEFA 3.1  | 30 |
| Abbildung 3-7:  | NO <sub>x</sub> -Emissionsdaten für Industriequellen und Straßenverkehr  | 32 |
| Abbildung 4-1:  | RCG-Modellgebiet und für Brandenburg zur Verfügung stehende Emissionen: Verkehr und Industrie  | 37 |
| Abbildung 4-2:  | NO <sub>x</sub> -Emissionen für den Basislauf 2008   | 38 |
| Abbildung 4-3:  | PM10-Emissionen für den Basislauf 2008   | 39 |
| Abbildung 4-4:  | Berechnete NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte für 2008   | 40 |
| Abbildung 4-5:  | Berechnete PM10-Jahresmittelwerte für 2008   | 41 |
| Abbildung 4-6:  | Vergleich berechneter und beobachteter NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte  | 42 |
| Abbildung 4-7:  | Vergleich berechneter und beobachteter PM10-Jahresmittelwerte  | 43 |
| Abbildung 4-8:  | Berechnete Abnahme der NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte und PM10-Jahresmittelwerte von 2008 bis 2015   | 45 |
| Abbildung 4-9:  | Lage der verwendeten Messstationen am Beispiel für NO <sub>2</sub>   | 51 |
| Abbildung 4-10: | Vorbelastung 2008 für den NO <sub>2</sub> - und O <sub>3</sub> -Jahresmittelwert   | 53 |
| Abbildung 4-11: | Vorbelastung 2008 für den PM10- und PM2.5-Jahresmittelwert   | 54 |
| Abbildung 4-12: | NO <sub>2</sub> -Vorbelastung für 2010 und 2015 im worst case  | 57 |
| Abbildung 4-13: | Ozon-Vorbelastung für 2010 und 2015 im worst case  | 58 |
| Abbildung 4-14: | PM10-Vorbelastung für 2010 und 2015 im worst case  | 59 |
| Abbildung 4-15: | PM10-Vorbelastung für best case, Mittelwert aus best case und worst case sowie worst case im Prognosejahr 2010   | 60 |
| Abbildung 4-16: | PM10-Vorbelastung für best case, Mittelwert aus best case und worst case sowie worst case im Prognosejahr 2015   | 61 |
| Abbildung 4-17: | Zusammenhang zwischen gemessenen NO <sub>2</sub> - und NO <sub>x</sub> -Jahresmittelwerten 2008 an den Hintergrundstationen und entsprechenden Rombergansätzen | 63 |
| Abbildung 4-18: | Zusammenhang zwischen mit RCG modellierten Rasterimmissionen NO <sub>2</sub> - und NO <sub>x</sub> für 2008 und 2015 und Rombergansatz                         | 63 |
| Abbildung 5-1:  | Darstellung von Teilabschnitten als Ergebnis der IMMIS <sup>build</sup> -Teilabschnittserstellung  | 66 |
| Abbildung 5-2:  | Darstellung von zusammengefassten Teilabschnitten mit IMMIS <sup>build</sup> .   | 67 |
| Abbildung 5-3:  | Einfluss der Digitalisierung auf die Abschnittsbildung   | 68 |
| Abbildung 5-4:  | Lücken in den Bebauungsdaten am Beispiel Potsdam   | 69 |
| Abbildung 5-5:  | Höhenprofil der Abtastung und Längsneigungsbestimmung  | 70 |
| Abbildung 5-6:  | Übersicht der Längsneigungsklassen 0, 2, 4, und 6 % für Potsdam  | 71 |

|                 |  |     |
|-----------------|--|-----|
| Abbildung 5-7:  | Ergebnisse der Längsneigungsbestimmung in Unterführungen und bei Brücken   | 72  |
| Abbildung 5-8:  | Längsneigung einer dammparallelen Straße   | 72  |
| Abbildung 5-9:  | IMMIS <sup>luft</sup> -Abschnitte für die Screeningberechnung  | 74  |
| Abbildung 5-10: | Windrosen und Windgeschwindigkeitsverteilung der im Screening verwendeten Ausbreitungsklassenstatistiken                           | 76  |
| Abbildung 5-11: | Definition der Gebietszuordnung der Meteorologiedaten  | 77  |
| Abbildung 5-12: | Einstellungen in IMMIS <sup>luft</sup> für die Parametrisierung der Windgeschwindigkeit am Beispiel der Meteorologie von Neuruppin | 78  |
| Abbildung 5-13: | Ergebnis der Screeningberechnung für 2008 für NO <sub>2</sub> und PM10   | 80  |
| Abbildung 5-14: | Häufigkeitsverteilung der Straßenabschnittsanzahl und Abschnittslänge in Konzentrationsklassen für 2008                            | 81  |
| Abbildung 5-15: | Häufigkeitsverteilung der Straßenabschnittsanzahl und Abschnittslänge in Konzentrationsklassen für 2010 im worst case              | 85  |
| Abbildung 5-16: | Häufigkeitsverteilung der Straßenabschnittsanzahl und Abschnittslänge in Konzentrationsklassen für 2010 im best case               | 86  |
| Abbildung 5-17: | Häufigkeitsverteilung der Straßenabschnittsanzahl und Abschnittslänge in Konzentrationsklassen für 2015 im worst case              | 89  |
| Abbildung 5-18: | Häufigkeitsverteilung der Straßenabschnittsanzahl und Abschnittslänge in Konzentrationsklassen für 2015 im best case               | 90  |
| Abbildung 6-1:  | Hotspots 2008  | 97  |
| Abbildung 6-2:  | Ausgewählte Hotspots 2008 mit niedrigem DTV  | 98  |
| Abbildung 6-3:  | Sensitivität der Geometrie eines IMMIS <sup>luft</sup> -Abschnittes auf die modellierte Zusatzbelastung                            | 99  |
| Abbildung 6-4:  | Sensitivität der Zusatzbelastung in einer Straßenschlucht auf die Windgeschwindigkeit bezogen auf 2 m/s                            | 99  |
| Abbildung 6-5:  | Sensitivität der Zusatzbelastung in einer Straßenschlucht auf die verwendete Meteorologie  | 100 |
| Abbildung 6-6:  | Sensitivität der Emissionen bei Änderung des Verkehrszustandes (LOS)   | 101 |
| Abbildung 6-7:  | Luftgüte-Messstationen des Landes Brandenburg im Überblick   | 103 |
| Abbildung 6-8:  | Vergleich Mess- und Modellwerte für den PM10-Jahresmittelwert  | 105 |
| Abbildung 6-9:  | Scatterplot der Mess- und Modellwerte für den PM10-Jahresmittelwert 2008   | 105 |
| Abbildung 6-10: | Scatterplot der Mess- und Modellwerte für den PM10-Jahresmittelwert 2010   | 106 |
| Abbildung 6-11: | Mess- und Modellwerte für den NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert  | 108 |
| Abbildung 6-12: | Scatterplot der Mess- und Modellwerte für den NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert 2008   | 108 |
| Abbildung 6-13: | Scatterplot der Mess- und Modellwerte für den NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert 2010   | 109 |
| Abbildung B-1:  | Flottenzusammensetzung Pkw   | 121 |
| Abbildung B-2:  | Flottenzusammensetzung leichte Nutzfahrzeuge   | 121 |
| Abbildung B-3:  | Flottenzusammensetzung schwere Nutzfahrzeuge   | 122 |
| Abbildung B-4:  | Flottenzusammensetzung Linienbusse   | 122 |
| Abbildung B-5:  | Flottenzusammensetzung Reisebusse  | 123 |
| Abbildung C-1:  | Schema der Verknüpfungen der beiden USDB-Netze und des IMMIS <sup>em</sup> -Netzes   | 125 |
| Abbildung C-2:  | Änderungen der DTV-Werte und der Anzahl LNfz   | 127 |

|                 |   |     |
|-----------------|---|-----|
| Abbildung D-1:  | NO <sub>x</sub> -, NO <sub>2</sub> - und O <sub>3</sub> -Jahresmittelwert 2008 Modellergebnis RCG   | 130 |
| Abbildung D-2:  | PM10- und PM2.5-Jahresmittelwert 2008 Modellergebnis RCG  | 131 |
| Abbildung E-1:  | NO <sub>x</sub> -, NO <sub>2</sub> - und Ozon-Jahresmittelwert 2008 ermittelt durch Interpolation der stündlichen Messdaten                       | 134 |
| Abbildung E-2:  | PM10-Jahresmittelwert 2008 ermittelt durch Interpolation der stündlichen Messdaten von allen sowie von ländlichen und Vorort-Hintergrundstationen | 135 |
| Abbildung E-3:  | PM2.5-Jahresmittelwert 2008 ermittelt durch Interpolation der stündlichen Messdaten   | 136 |
| Abbildung F-1:  | Differenzen der NO <sub>2</sub> -Vorbelastung im worst case   | 138 |
| Abbildung F-2:  | Differenzen der Ozon-Vorbelastung im worst case   | 139 |
| Abbildung F-3:  | Differenzen der PM10-Vorbelastung im worst case   | 140 |
| Abbildung G-1:  | Straßentyp  | 142 |
| Abbildung G-2:  | Tempolimit  | 143 |
| Abbildung G-3:  | Typisierung der Lage für Kaltstartberechnung  | 144 |
| Abbildung G-4:  | Typisierung für die LOS-Schwellen   | 145 |
| Abbildung G-5:  | Typisierung der Verkehrsganglinie für die LOS-Berechnung  | 146 |
| Abbildung G-6:  | Anteil LOS Stop&Go  | 147 |
| Abbildung G-7:  | Anteil LOS Gesättigt  | 148 |
| Abbildung G-8:  | Anteil LOS Dicht  | 149 |
| Abbildung G-9:  | Anteil LOS Frei   | 150 |
| Abbildung G-10: | Mittlere Geschwindigkeiten für Pkw als Ergebnis der LOS-Berechnung  | 151 |
| Abbildung G-11: | Standanteile für Pkw als Ergebnis der LOS-Berechnung  | 152 |

## TABELLENVERZEICHNIS

|              |   |     |
|--------------|---|-----|
| Tabelle 3-1: | Fahrleistungsdaten im verwendeten Hauptstraßennetz  | 19  |
| Tabelle 3-2: | Zuordnungstabelle sortiert nach Verkehrssituation (VS) nach HBEFA 2.1   | 26  |
| Tabelle 3-3: | Kapazitäten zur LOS-Berechnung je Straßentyp aus IMMIS <sup>em</sup> 5  | 29  |
| Tabelle 3-4: | Schwellwerte der Kapazitätsauslastung für den Übergang ins höhere LOS aus IMMIS <sup>em</sup> 5                                 | 29  |
| Tabelle 3-5: | Emissionen 2008, Prognose 2010 und Prognose 2015  | 31  |
| Tabelle 4-1: | Emissionen der Flughäfen im Modellgebiet für das Jahr 2015  | 36  |
| Tabelle 4-2: | Bereiche der berechneten Minderungspotenziale für Brandenburg   | 46  |
| Tabelle 4-3: | Umrechnungsfaktoren für PM10 nach PM2.5 für verschiedene Stationstypen für das Bezugsjahr 2008                                  | 50  |
| Tabelle 4-4: | Kenngößen der FLADIS-Berechnungen für 2008  | 52  |
| Tabelle 4-5: | Kenngößen der FLADIS-Berechnungen für die Vorbelastung 2010   | 55  |
| Tabelle 4-6: | Verfahren und Eingangsdaten der Prognosevarianten   | 55  |
| Tabelle 5-1: | Anzahl Screening-Abschnitte in Brandenburg nach Kreisen   | 73  |
| Tabelle 5-2: | Mittelwerte der Windgeschwindigkeiten aus den AKS-Daten und skaliert für IMMIS <sup>luft</sup>                                  | 78  |
| Tabelle 5-3: | Liste der Hotspots 2008   | 83  |
| Tabelle 5-4: | Liste der Hotspots im Prognosefall worst case 2010, ergänzt um Werte des worst case 2015  | 87  |
| Tabelle 5-5: | Anzahl Abschnitte mit NO <sub>2</sub> - oder PM10-Grenzwertüberschreitungen 2008, 2010 und 2015 sowie summierte Abschnittslänge | 91  |
| Tabelle 6-1: | Liste ausgewählter Hotspots 2008 mit niedrigem DTV  | 97  |
| Tabelle 6-2: | Eingangsdaten für die Modellierung an den Hotspots mit Messstationen  | 102 |
| Tabelle 6-3: | Vergleich von PM10-Messungen und Modellwerten an Hotspots   | 104 |
| Tabelle 6-4: | Vergleich von Mess- und Modellwerten für den NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwert  | 107 |
| Tabelle C-1: | Vergleich der Kfz-Fahrleistungen nach Aktualisierung mit der USDB vom September 2011  | 126 |
| Tabelle H-1: | Liste der Hotspots 2008 – Eingangsdaten und Ergebnisse der Emissionsberechnung  | 153 |
| Tabelle H-2: | Liste der Hotspots 2008 – Eingangsdaten und Ergebnisse der Immissionsberechnung   | 154 |



# 1 Einführung

Um den Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität im Land Brandenburg zu untersuchen, wurde durch den landesweiten Einsatz eines Screeningprogramms die Immissionsbelastung verkehrsbezogener Luftschadstoffe in bebauten Straßenräumen berechnet.

Dazu wurde eine für Brandenburg spezifische Datengrundlage erarbeitet. Im Einzelnen gehören dazu die

- Ermittlung der landesspezifischen Fahrzeugflottenzusammensetzung und daraus abgeleitet entsprechende Emissionsfaktoren für den Kfz-Verkehr sowohl für den Ist-Fall wie auch in der Prognose bis 2015 (Kapitel 2.2),
- Berechnung der landesweiten großräumigen Vorbelastungssituation für eine Ist-Situation und die Prognosejahre 2010 und 2015 (Kapitel 4).
- Aufbereitung der für das Screening-Verfahren notwendigen Geometrieeingangsdaten der Bebauung aus vorliegenden GIS-Daten zur Straßenlage und Randbebauung (Kapitel 5.2),
- Aufbereitung von regionalisierten meteorologischen Eingangsdaten und räumlicher Zuordnung der Verwendung im Screening (Kapitel 5.3)

Als Ergebnis wurden für alle vom Straßenverkehr stark belasteten Innerortsstraßen mit vorhandener Randbebauung die Gesamtbelastungen für die Schadstoffe NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub> berechnet (Kapitel 5.4).

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurde in Kapitel 6

- die Sensitivität bezüglich der aus GIS-Daten abgeleiteten Bebauungsgeometrie im Vergleich zu konkreten Angaben betrachtet,
- der Einfluss regional differenzierter meteorologischer Eingangsdaten auf die Immissionsbelastung betrachtet sowie
- ein Vergleich von Modell und Messung gemäß der Richtlinie 2008/50/EG (EU, 2008) durchgeführt.
- Ergänzend wurden die Methoden zur Ermittlung der Geometrieeingangsdaten dem Auftraggeber übergeben.

## **Anmerkung:**

Im Text wird der Punkt als Dezimaltrennzeichen verwendet.



## 2 Methodik

### 2.1 Allgemeines

Für die Bearbeitung der Aufgabenstellung, die in der Einführung beschrieben wird, werden Methoden zur Berechnung von

- Kfz-Emissionen,
- Vorbelastung und
- Gesamtbelastung

benötigt, die in den folgenden Kapiteln 2.2 bis 2.4 beschrieben werden.

### 2.2 Berechnung der Emissionen des Kfz-Verkehrs

Zur Berechnung der Vorbelastung und auch beim Screening wurden die Emissionen des Straßenverkehrs in Brandenburg benötigt. Die Berechnung der Emissionen wurde mit dem Modell IMMIS<sup>em</sup> Version 5 (IVU Umwelt, 2011a) durchgeführt, welches auf der neuen Datenbasis und Systematik des Handbuchs Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs (HBEFA) 3.1 basiert (INFRAS, 2010).

Bei der Bestimmung des landesweiten Emissionskatasters, welches in der RCG-Berechnung für die Vorbelastung eingesetzt wurde, sind die PM10-Aufwirbelungs- und Abriebemissionen (AWAR) nach einer überschlägigen Abschätzung nach Friedrich (2010) und Diegmann (2010) sowie die PM2.5-AWAR-Emissionen als Anteil an den PM10-AWAR nach dem Handbuch IMMIS<sup>em/luft/lärm</sup> (IVU Umwelt, 2011a) angesetzt worden. Für die Berechnung der Zusatzbelastung bei der Bildung der Gesamtbelastung fanden die AWAR-Emissionen nach Düring & Schmidt (2011) Berücksichtigung. Zur Bestimmung der PM2.5 Emissionen inklusive Aufwirbelung und Abrieb kann der Anteil PM2.5 an den PM10 Nicht-Auspuff-Emissionen angegeben werden. Der verwendete Wert in Höhe von 54 % beruht auf einer Studie des Umweltbundesamtes (Jörß & Handke, 2007).

Grundlage der Berechnungen ist ein Auszug aus der Umwelt- und Verkehrsdatenbank (USDB) des Landesamtes für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) Brandenburg. Die darin aufgeführten bzw. daraus abgeleiteten Attribute wurden für die drei Bezugsjahre 2008, 2010 und 2015 unverändert beibehalten. Die Entwicklung der Kfz-Emissionen von 2008 nach 2010 und 2015 basiert allein auf einer Fortschreibung der Kfz-Flottenzusammensetzung.

#### 2.2.1 Kennzeichenerfassung per Videodetektion

Für die Zeppelinstraße in Potsdam und die Bahnhofstraße in Cottbus wurde die Zusammensetzung der Fahrzeugflotte mittels einer Kennzeichenerfassung für die Jahre 2009 und 2010 durch das Planungsbüro Dr.-Ing. Ditmar Hunger, Dresden ermittelt. Dazu wurden in den Jahren 2009 und 2010 in den Städten Potsdam und Cottbus Kennzeichendaten erhoben und diese anschließend mit den Daten des Kraftfahrtbundesamtes (KBA) abgeglichen. Im Rahmen der Erhebungen wurde pro Jahresscheibe eine repräsentative Stichprobe von ca. 6'000 bis 7'000 Kennzeichen mittels Videotechnik erfasst. Die Erfassung des Schwerverkehrs erfolgte dabei im Vergleich zum Anteil am Verkehrsaufkommen überrepräsentativ.

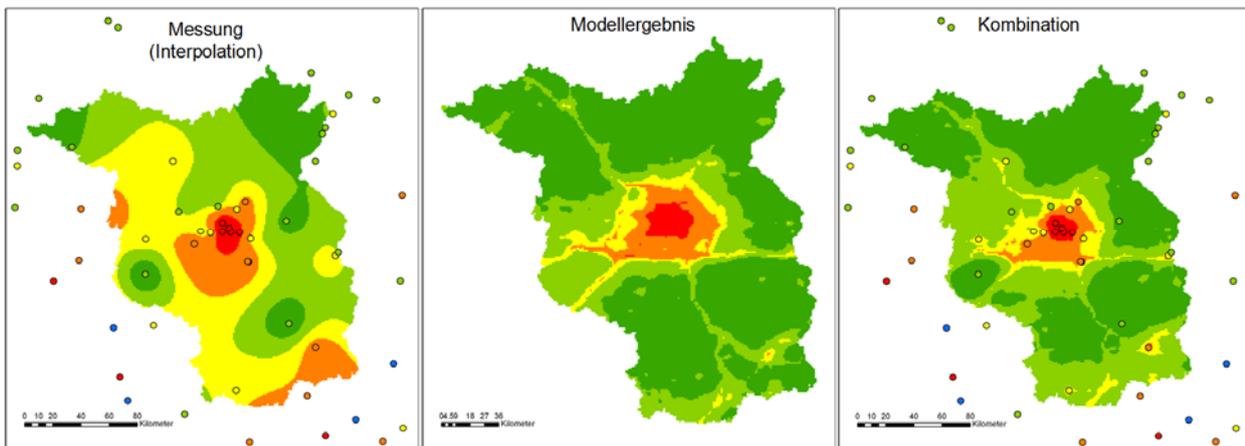
In Vorbereitung der Kennzeichenerfassung wurden die hinsichtlich des Datenschutzes zu berücksichtigenden Randbedingungen sowie weitere organisatorische Fragestellungen mit den zuständigen Behörden durch den AN abgestimmt. Nach der Erhebung wurden die Kennzeichendaten ausgewertet und für die Abfrage beim KBA vorbereitet. Die Rücklaufdaten aus dem zentralen Melderegister wurden anschließend für die weitere Bearbeitung aufbereitet. Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens findet sich in Anhang A. Die daraus abgeleiteten Flottenzusammensetzungen finden sich in Anhang B.

### 2.3 Berechnung der Vorbelastung mit FLADIS auf Basis von Messdaten und Daten aus RCG-Modellierung

Die Bestimmung der Vorbelastung für ein landesweites Screening der Luftschadstoffbelastung stellt eine komplexe Aufgabenstellung dar. Im Allgemeinen kann bei einer landesweiten Betrachtung nicht ein detailliertes Verfahren angewendet werden, bei dem für jeden Straßenabschnitt eine individuelle Vorbelastung ermittelt wird, wie es z. B. in den Berechnungen zum Luftreinhalteplan Potsdam (IVU Umwelt, 2011b) zur Anwendung gekommen ist.

Deshalb wurde ein Verfahren angewendet, wie es konzeptionell z. B. auch bei dem landesweiten Internetscreening in NRW zum Einsatz kommt (Neunhäuserer & Hartmann, 2007; IVU Umwelt, 2008). Dazu wurden interpolierte Messdaten des Messnetzes, ergänzt um Messdaten der umliegenden Bundesländer und Staaten, mit Modellergebnissen zu einer flächenhaften Darstellung kombiniert. Als System zur Verarbeitung und Kombination der Datensätze kommt FLADIS (IVU Umwelt, 2009a) zum Einsatz.

Ein Beispiel für die Kopplung von Mess- und Modelldaten ist in Abbildung 2-1 für den Jahresmittelwert von  $\text{NO}_2$  im Jahr 2008 für Brandenburg dargestellt.



**Abbildung 2-1: Kopplung von Mess- und Modelldaten zur Ermittlung der landesweiten Vorbelastung mit FLADIS**

Im Allgemeinen kann man davon ausgehen, dass in einem Gebiet der Größe des Bundeslandes Brandenburg sowohl bei  $\text{PM}_{10}$  als auch bei  $\text{NO}_2$  luftchemische Prozesse einen relevanten Einfluss haben und daher in der Modellierung berücksichtigt werden sollten. Außerdem können mit photochemischen Modellen die Eingangswerte  $\text{NO}$ -,  $\text{NO}_2$ - und Ozonkonzentrationen für derzeit eingesetzte  $\text{NO}_2$ -Konversionsmodelle zur Bestimmung der Gesamtbelastung bereitgestellt werden.

Für Brandenburg wurde die Modellierung mit dem dreidimensionalen chemischen Transportmodell REM/CALGRID (RCG) (Stern, 2003) durchgeführt. RCG wurde an der Freien Universität Berlin entwickelt und wird für deutschlandweite Immissionsprognosen im Auftrag des Umweltbundesamts eingesetzt. Die Anwendung des Modells erfolgt für drei Skalen:

- europäische Skala (Auflösung  $1/2^\circ$  Länge,  $1/4^\circ$  Breite, ca.  $32 \times 28 \text{ km}^2$ ),
- deutschlandweite Skala (Auflösung  $1/8^\circ$  Länge,  $1/16^\circ$  Breite, ca.  $8 \times 7 \text{ km}^2$ ) und
- regionale Skala Brandenburg (Auflösung  $1/32^\circ$  Länge,  $1/64^\circ$  Breite, ca.  $2 \times 2 \text{ km}^2$ ).

Dabei liefert die europaweite Rechnung die Hintergrundkonzentrationen für die deutschlandweite Skala und diese wiederum die Hintergrundkonzentration für die regionale Skala. Die Berechnungen mit RCG wurden vom Modellentwickler Dr. Rainer Stern, Berlin als Unterauftragnehmer durchgeführt.

Die Emissionsdaten für andere Quellen als Straßenverkehr und genehmigungsbedürftige Anlagen (im Folgenden als „weitere Quellgruppen“ bezeichnet) wurden aus dem UBA-Projekt „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“ (PAREST, 2010) übernommen, da so eine aktuelle, konsistente und national einheitliche Datenbasis verwendet werden konnte, für die prognostizierte Werte für 2010 und 2015 vorliegen.

Die Berechnungen der Vorbelastung in den geforderten Prognosejahren wurden auf der Basis von Ausbreitungsrechnungen für diese Jahre und der Anwendung der sogenannten Delta-Methode (Stern, 2006a) mit FLADIS durchgeführt.

## 2.4 Berechnung Gesamtbelastung mit IMMIS<sup>luft</sup>

Die Berechnungen der Zusatzbelastung im Straßenraum und zusammen mit der Vorbelastung die Ableitung der Gesamtbelastung wurden mit dem Screeningsystem IMMIS<sup>luft</sup> durchgeführt. Ab der Version 5 von IMMIS<sup>luft</sup> ist neben dem neuen HBEFA 3.1 auch ein vereinfachtes Photochemiemodell für NO<sub>2</sub> integriert, das im Kapitel 2.4.2 beschrieben wird.

Die Berechnung mit IMMIS<sup>luft</sup> setzt Informationen zur Bebauungsgeometrie der zu untersuchenden Abschnitte voraus, die im Kapitel 2.4.1 beschrieben werden.

### 2.4.1 Abschnittsbildung und Geometriedaten mit IMMIS<sup>build</sup>

Die Berechnungen der Gesamtbelastung wurden für Abschnitte des Hauptverkehrsstraßennetzes, die eine Randbebauung aufweisen, durchgeführt. Die für die Berechnung mit IMMIS<sup>luft</sup> notwendigen Geometriedaten wurden aus Daten zur Lage der Straßenmittelachsen und den Gebäudedaten abgeleitet.

Basierend auf diesen Eingangsdaten wurde das Straßennetz für die Berechnung in homogene IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitte eingeteilt und mit den folgenden Attributen versehen:

- Bebauungsabstand,
- Bebauungshöhe,
- Baulückenanteil (Porosität) und
- Längsneigung.

Zur Anwendung kam dabei das GIS-gestützte Verfahren IMMIS<sup>build</sup> (IVU Umwelt, 2007). Es bietet die Möglichkeit, IMMIS<sup>luft</sup>-Straßenabschnitte durch ein automatisiertes Ver-

fahren aus allgemein verfügbaren Datenquellen abzuleiten. Darüber hinaus stellt IMMIS<sup>build</sup> einen komfortablen und mächtigen Editor für die Bearbeitung der IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitte zur Verfügung.

Das (halb-)automatische Verfahren der Abschnittserkennung kann auf der Basis von

- Straßennetz (Linien),
- Gebäudemodell (Polygone) und
- Geländemodell (Höhenlinien)

homogene IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitte erzeugen und berechnet zu jedem gefundenen Abschnitt die notwendigen Parameter zur Beschreibung der Straßengeometrie. Die Bildung der IMMIS<sup>luft</sup>-Datenbasis konnte somit objektiv und effektiv durchgeführt werden. Eine detaillierte Beschreibung der Abschnittsbildung mit IMMIS<sup>build</sup> findet sich in Kapitel 5.2.

#### 2.4.2 Berechnung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerts

NO<sub>2</sub> ist ein chemisch aktiver Stoff, der in der Atmosphäre einer Reihe von Reaktionen mit unterschiedlichen Stoffen unterliegt. Die NO<sub>2</sub>-Konzentration in der Straßenschlucht setzt sich daher zusammen aus der NO<sub>2</sub>-Vorbelastung, dem Anteil, dem durch den Kfz-Verkehr direkt emittierten NO<sub>2</sub> und dem durch chemische Umwandlungen produzierten oder eliminierten NO<sub>2</sub>. Die chemischen Reaktionen, an denen NO<sub>2</sub> beteiligt ist, unterscheiden sich dabei in ihrer Geschwindigkeit und ihrer Komplexität.

In der vorliegenden Untersuchung wurde zur Berechnung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerts der Ansatz nach Düring & Bächlin (2009) verwendet. Er beruht auf dem Ansatz nach Hertel & Berkowicz (1989), arbeitet aber mit Jahresmittelwerten. Die Übertragbarkeit der Gleichungen aus Hertel & Berkowicz (1989) auf Jahresmittelwerte wurde dabei nicht theoretisch abgeleitet, sondern empirisch durch den Vergleich mit Messdaten überprüft. Die bei Hertel & Berkowicz (1989) zeitabhängigen Größen  $J$ ,  $k$  und  $\tau$  werden in Düring & Bächlin (2009) als konstante Parameter wie folgt festgelegt:

$$J = 0.0045 \text{ s}^{-1}$$

$$k = 0.00039 \text{ (ppb s)}^{-1}$$

$$\tau = 100 \text{ s}$$

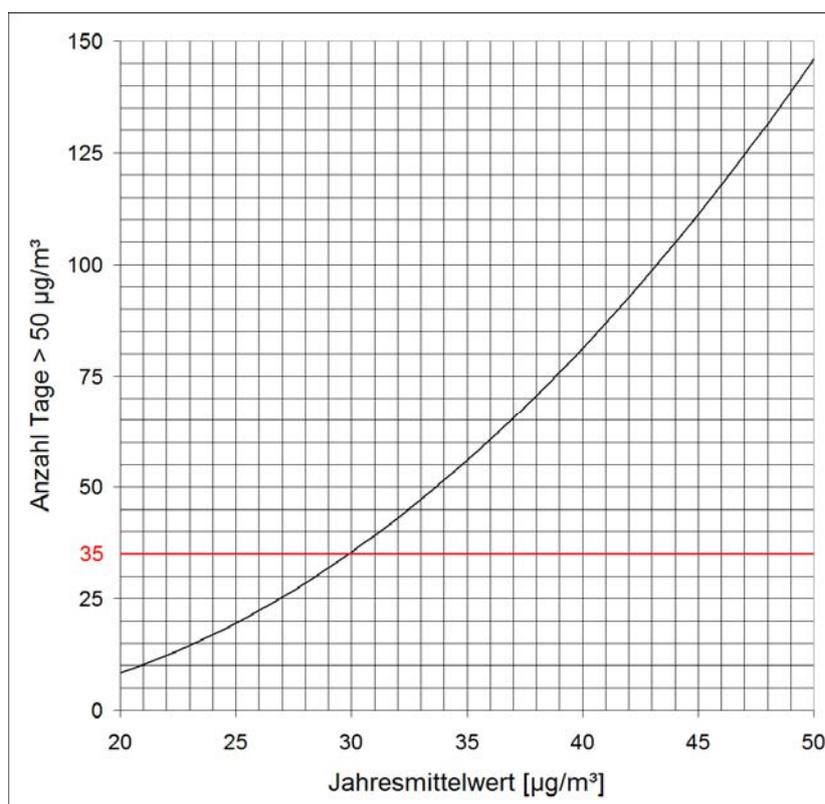
Als Eingangsdaten gehen die NO<sub>x</sub>-Gesamtbelastung in der Straßenschlucht, die Hintergrundkonzentrationen von NO, NO<sub>2</sub> und O<sub>3</sub> sowie der Anteil der primären NO<sub>2</sub>-Emissionen an den NO<sub>x</sub>-Emissionen als Jahresmittelwerte in die Berechnung ein. Als Ergebnis werden Jahresmittelwerte der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung berechnet.

#### 2.4.3 Berechnung des Tagesgrenzwert PM<sub>10</sub>

Zur Bestimmung der Anzahl an Tagen mit Überschreitungen des ab 2005 gültigen Tagesgrenzwerts von PM<sub>10</sub> wird in IVU Umwelt (2006a) ein Ansatz auf der Basis des Jahresmittelwerts von PM<sub>10</sub> aufgezeigt. Eine Darstellung dieser Funktion findet sich in Abbildung 2-2. Bei einem Jahresmittelwert von 30 µg/m<sup>3</sup> wird der Grenzwert von 35 Überschreitungen im Jahr erreicht. Eine Minderung des Jahresmittelwerts im Bereich von 30 µg/m<sup>3</sup> um 1 µg/m<sup>3</sup> führt zu einer Reduktion um 3 bis 4 Überschreitungstage. Eine Reduktion von 30 µg/m<sup>3</sup> auf 28 µg/m<sup>3</sup> führt zu einer Reduktion um ca. 7 Überschreitungstage.

Eine analoge statistische Auswertung von Messzeitreihen findet sich in Düring et al. (2005). Darin wird Folgendes angegeben:

- "Bei PM10-Jahresmittelwerten zwischen 28 und 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  liegt der Anteil mit Überschreitungen des 24h-Grenzwertes beim vorliegenden Datenkollektiv bei ca. 25 %. Es ist also eher eine Unterschreitung festzustellen als eine Überschreitung.
- Bei PM10-Jahresmittelwerten zwischen 30 und 32  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  liegt der Anteil mit Überschreitungen des 24h-Grenzwertes beim vorliegenden Datenkollektiv bei ca. 60 %. Die Wahrscheinlichkeit ist somit höher, dass eine Überschreitung des 24h-Wertes auftritt als eine Unterschreitung."



**Abbildung 2-2: Statistischer Zusammenhang zwischen dem Jahresmittelwert von PM10 und der Anzahl Tage mit einem PM10-Tagesmittelwert über 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (IVU Umwelt, 2006a)**



## 3 Emissionen des Kfz-Verkehrs

### 3.1 Datenlage Kfz-Verkehr

Vom Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) Brandenburg wurde ein attribuiertes Hauptstraßennetz mit 65'241 Abschnitten übergeben. Diese im SHAPE-Format vorliegende Datenbank stellt einen Auszug aus der Umwelt- und Verkehrsdatenbank (USDB) mit Stand November 2009 (USDB 2009) dar.

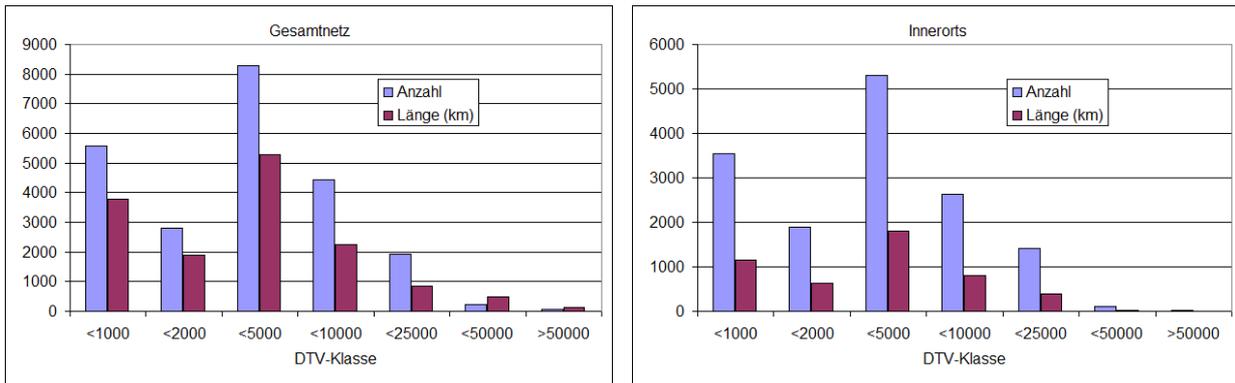
In Tabelle 3-1 sind die Länge des verwendeten Straßennetzes und die Fahrleistungsdaten für verschiedene Kfz-Typen, getrennt nach Innerorts, Außerorts und Autobahnen sowie als Summe, aufgeführt. Abbildung 3-1 zeigt die Häufigkeitsverteilung der durchschnittlichen Verkehrsstärken (DTV), gebildet jeweils aus der Anzahl und der Länge der Abschnitte.

Abbildung 3-2 zeigt die netzweiten Werte der durchschnittlichen tägliche Verkehrsstärke (DTV) der USDB 2009. Deutlich sind die Autobahnen und die Umgebung von Berlin in dieser Karte zu erkennen. In Abbildung 3-3 ist das Erhebungsjahr für den DTV-Wert der USDB 2009 dargestellt.

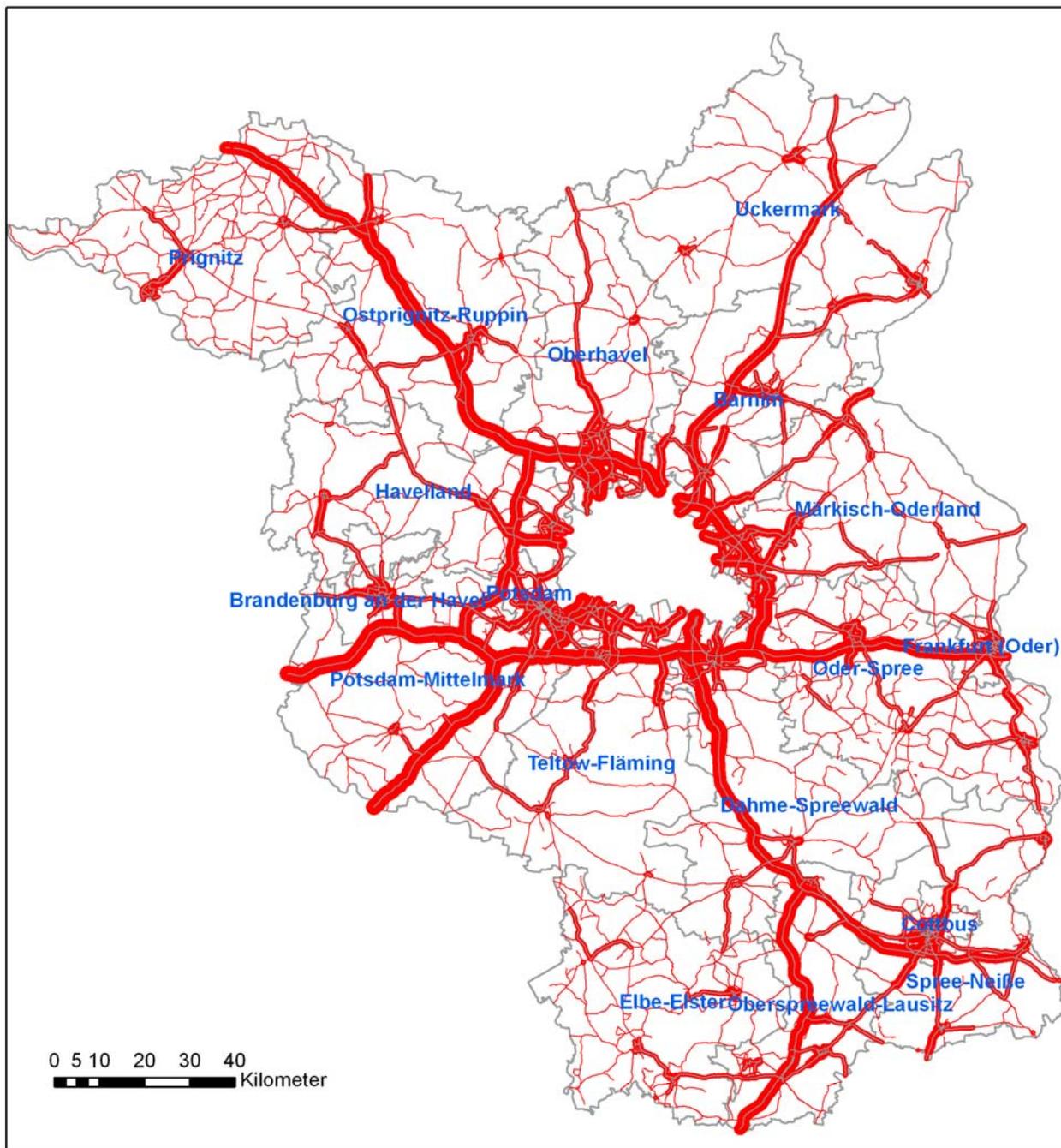
In der USDB 2009 sind für 62'149 Straßenabschnitte die Attributwerte für die Verkehrssituationen gemäß des HBEFA 2.1 vorhanden. Die räumliche Verteilung der Verkehrssituationen nach HBEFA 2.1 ist in Abbildung 3-4 dargestellt. Im folgenden Kapitel 3.2 wird beschrieben, wie die Attributierung in das neue Schema zur Verkehrssituation des HBEFA 3.1 überführt wurde.

**Tabelle 3-1: Fahrleistungsdaten im verwendeten Hauptstraßennetz**

|                                  | <b>Gesamt</b> | <b>Innerorts</b> | <b>Außerorts</b> | <b>Autobahn</b> |
|----------------------------------|---------------|------------------|------------------|-----------------|
| Länge Straßennetz (km)           | 14636.7       | 4814.1           | 9029.1           | 793.5           |
| Fahrleistung KFZ (Mio. km/Jahr)  | 27395.4       | 7147.1           | 10009.6          | 10238.8         |
| Fahrleistung PKW (Mio. km/Jahr)  | 22845.1       | 6274.7           | 8529.2           | 8041.3          |
| Fahrleistung LLKW (Mio. km/Jahr) | 1500.8        | 368.8            | 507.1            | 624.9           |
| Fahrleistung SLKW (Mio. km/Jahr) | 2664.7        | 414.8            | 762.1            | 1487.8          |
| Fahrleistung BUS (Mio. km/Jahr)  | 115.4         | 20.8             | 46.3             | 48.3            |
| Fahrleistung KRAD (Mio. km/Jahr) | 269.4         | 67.9             | 164.8            | 36.6            |
| <b>Anteile an Gesamt</b>         | <b>Gesamt</b> | <b>Innerorts</b> | <b>Außerorts</b> | <b>Autobahn</b> |
| Länge Straßennetz                | 100.0%        | 32.9%            | 61.7%            | 5.4%            |
| Fahrleistung KFZ                 | 100.0%        | 26.1%            | 36.5%            | 37.4%           |
| Fahrleistung PKW                 | 83.4%         | 22.9%            | 31.1%            | 29.4%           |
| Fahrleistung LLKW                | 5.5%          | 1.3%             | 1.9%             | 2.3%            |
| Fahrleistung SLKW                | 9.7%          | 1.5%             | 2.8%             | 5.4%            |
| Fahrleistung BUS                 | 0.4%          | 0.1%             | 0.2%             | 0.2%            |
| Fahrleistung KRAD                | 1.0%          | 0.2%             | 0.6%             | 0.1%            |



**Abbildung 3-1: Häufigkeit der Abschnitte je DTV-Klasse im verwendeten Gesamtnetz (links) und im innerörtlichen Netz (rechts)**



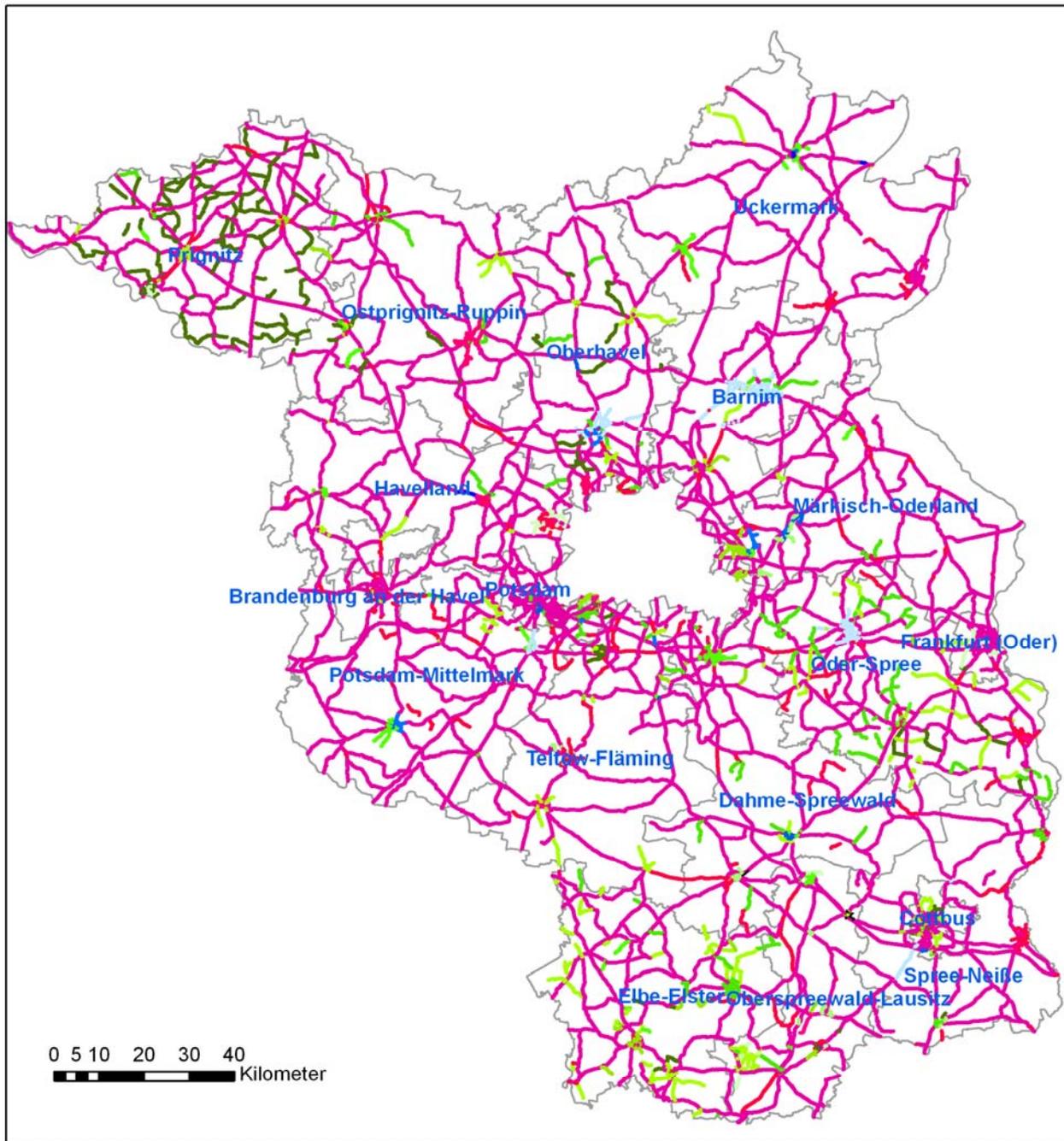
**Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung  
auf die Luftqualität im Land Brandenburg  
DTV**

- 2 - 5000
- 5001 - 10000
- 10001 - 20000
- 20001 - 40000
- 40001 - 89407

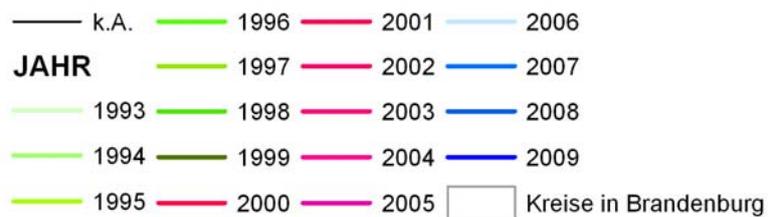
Kreise in Brandenburg

IVU Umwelt, Jan. 2010

**Abbildung 3-2: Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke (DTV) der USDB 2009**



**Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität im Land Brandenburg**



IVU Umwelt, Jan. 2010

Abbildung 3-3: Erhebungsjahr der DTV-Werte der USDB 2009

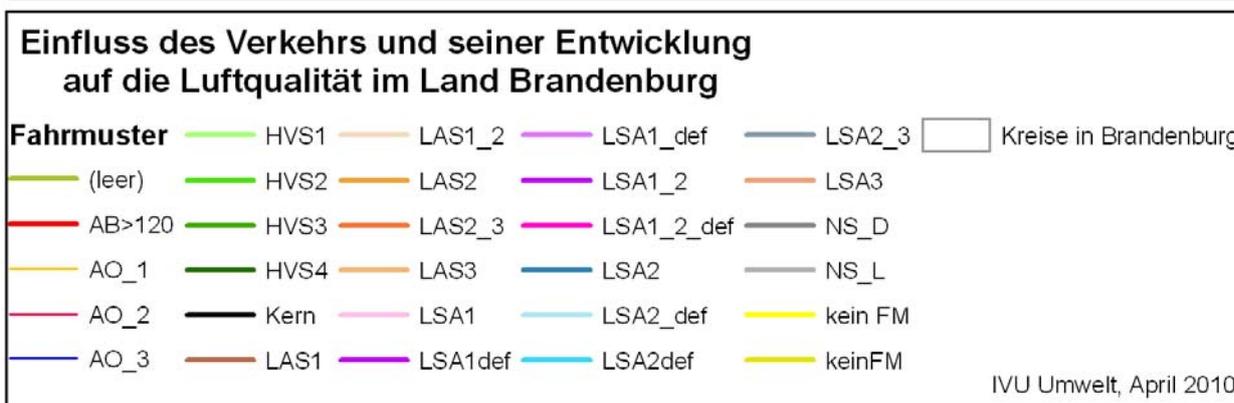
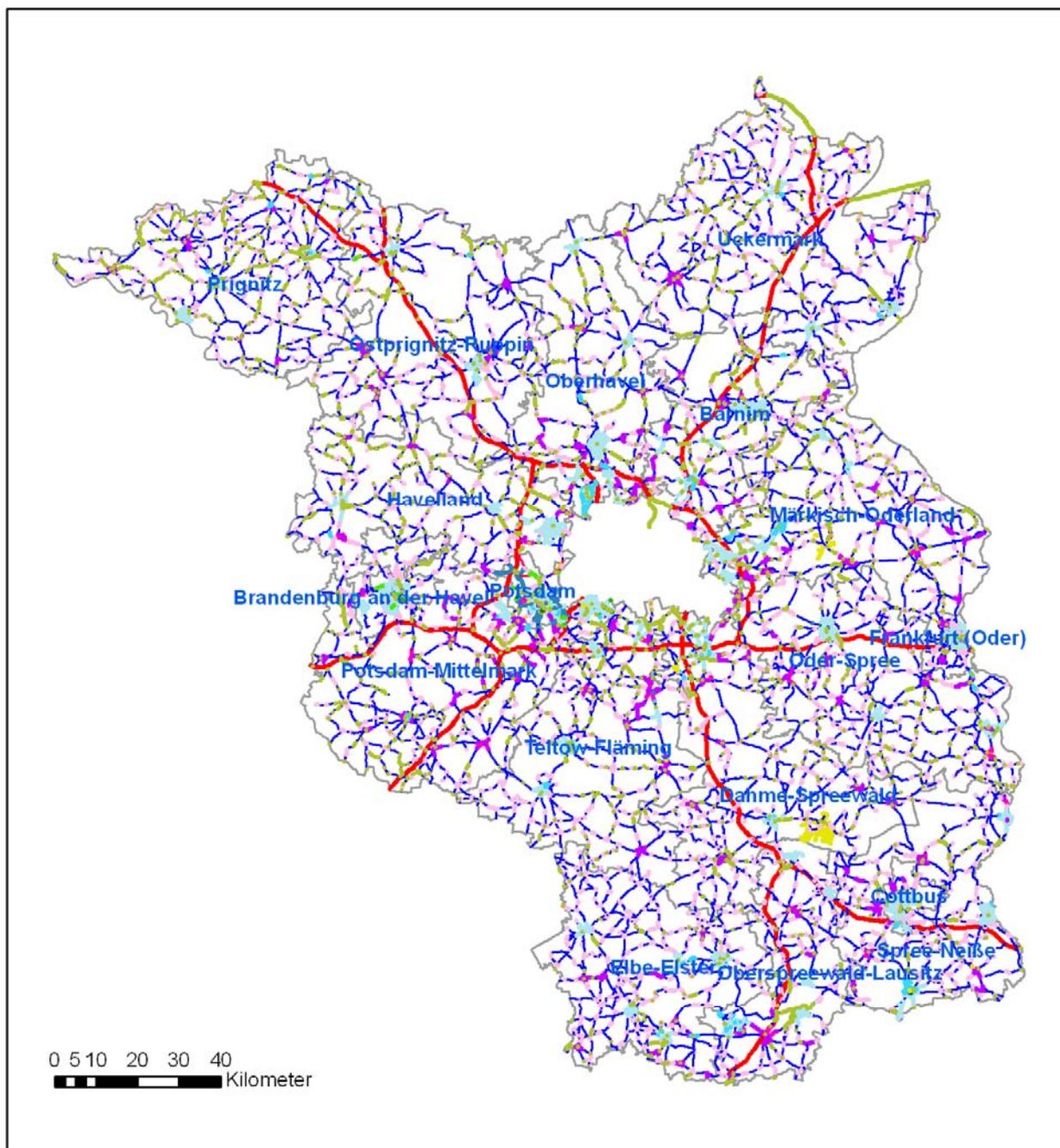


Abbildung 3-4: Definition der Verkehrssituation nach HBEFA 2.1 der USDB 2009

### 3.2 Attributierung der USDB 2009 nach HBEFA 3.1

#### 3.2.1 Verkehrsdaten

Die USDB 2009 wurde um die für IMMIS<sup>em</sup> Version 5 erforderlichen Felder erweitert. Dabei wurden folgende Felder zugeordnet (links IMMIS<sup>em</sup> – rechts USDB 2009):

- [NAME] = [ID]&" " &[STRASSENNA]
- [DTV] = [DTV\_KFZ]
- [BUS] = [AN\_BUS] \* 100
- [SLKW] = [AN\_SNFZ\_OB] \* 100 wenn [AN\_BUS] > 0  
sonst = [AN\_SNFZ] \* 100
- [LLKW] = [AN\_LNFZ] \* 100
- [KRAD] = [AN\_KRAD] \* 100
- [SPUREN] = [STREIFEN] wenn [STREIFEN] > 0

Im der USDB 2009 sind eine Vielzahl von Abschnitten mit einem Anteil LNfz = 0 ausgewiesen, was sich in der Fahrleistung in Tabelle 3-1 in einem niedrigen Fahrleistungsanteil von 2.5 % niederschlägt. Für diese Abschnitte wurde pauschal der Anteil LNfz auf 5 % gesetzt.

#### 3.2.2 Verkehrssituation

Die Attributierung der Verkehrssituation nach HBEFA 3.1 erfolgte nach einem mit dem Auftraggeber abgestimmten Verfahren auf Basis der vorliegenden Daten. In Anhang G ist die Attributierung des Straßentyps in Abbildung G-1 und des Tempolimits in Abbildung G-2 dargestellt.

Die Zuordnung folgt im ersten Schritt einer Übertragung der „alten“ Verkehrssituation nach HBEFA 2.1 zu der neuen Klassifizierung. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

1. Zuordnung Verkehrssituation nach HBEFA 2.1 zu den Attributen Straßentyp (TS\_RT) und Geschwindigkeit (TS\_SL) sowie zum Kaltstarttyp (TYP\_LAGE) nach Tabelle 3-2.
2. Unterscheidung bei HVS3 zu Straßentyp "Trunk-City" und LSA1 zu Straßentyp "Distributor".
3. Individuelle Ergänzungen für fehlende Zuordnungen.
4. Die Unterscheidung in die LOS-Klassen nach HBEFA 3.1 wird durch situationsabhängige Vorgaben für die fahrspurbezogenen Kapazitäten und Ganglinien des Verkehrs vorgenommen. Eine Variation in der LOS-Verteilung geschieht durch eine Zuordnung verschiedener Ganglinien.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> In der Berechnung des landesweiten Kfz-Emissionskatasters für die RCG-Modellierung wurden Kapazitäten für Gebiets- und Straßentypen standardisiert festgelegt. Für die Berechnung der Zusatzbelastung in der Bildung der Gesamtbelastung wurde ein vom Auftraggeber vorgeschlagenes Verfahren zur Festsetzung von LOS-Anteilen nach Angabe des Störungsgrad gemäß des HBEFA 2.1 angewendet, das damit mehr Bezug zu individuell ermittelten Verkehrssituationen hat.

5. Für die Straßen ohne Attributierung der Verkehrssituation nach HBEFA 2.1 bzw. mit einer Zuordnung mit Zusatz DEF wurde folgende Vorgehensweise gewählt:
  - a) Zuordnung des Gebietstyps (TS\_AREA) nach HBEFA 3.1 mit dem Attribut "rural" für die Kennung „ao“ der USDB 2009 und dem Attribut "Agglomeration" für die Kennung „io“ der USDB 2009.
  - b) Generelles Tempolimit innerorts auf 50 km/h, soweit nicht in der USDB 2009 angegeben.
  - c) Bei Lücken wurde eine individuelle Attributierung durch Vergleich mit umliegenden bereits definierten Straßen vorgenommen.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Ursprünglich sollte die Auswahl des Straßentyps nach DTV-Belastung und Ortsgröße erfolgen, wobei Straßen in kleineren Orten eher der Typ Distributor/ Hauptverkehrsstraße und in größeren Orten eher der Typ Local/Sammelstr. zugeordnet werden sollten. In der Bearbeitung wurde aber festgestellt, dass Abschnitte ohne „alte“ Zuordnung nur als Lücken zu definierten Zuordnungen auftraten, so dass sich eine räumliche Übertragung der Attribute als zielführender herausstellte.

**Tabelle 3-2: Zuordnungstabelle sortiert nach Verkehrssituation (VS) nach HBEFA 2.1**

| HBEFA 2.1         | Anzahl VS | HBEFA 3.1     |       | IMMIS 5     |
|-------------------|-----------|---------------|-------|-------------|
| Verkehrssituation |           | TS_RT         | TS_SL | TYP_LAGE    |
| leer              | 3092      |               |       |             |
| kein FM           | 1         |               |       |             |
| keinFM            | 450       |               |       |             |
| AB>120            | 2955      | Motorway-Nat  | 140   | none        |
| AO_1              | 36        | Trunk-Nat.    | 100   | none        |
| AO_2              | 19        | Trunk-Nat.    | 90    | none        |
| AO_3              | 18434     | Trunk-Nat.    | 80    | none        |
| HVS1              | 134       | Motorway-City | 60    | radial      |
| HVS2              | 652       | Distributor   | 50    | radial      |
| HVS3              | 174       | Trunk-City    | 50    | radial      |
| HVS4              | 104       | Distributor   | 50    | radial      |
| Kern              | 19        | Local         | 50    | commercial  |
| LAS1              | 6         | Distributor   | 50    | radial      |
| LAS1_2            | 1         | Distributor   | 50    | radial      |
| LAS2              | 13        | Local         | 50    | radial      |
| LAS2_3            | 1         | Local         | 50    | radial      |
| LAS3              | 5         | Local         | 50    | radial      |
| LSA1              | 16582     | Distributor   | 50    | radial      |
| LSA1_2            | 4361      | Distributor   | 50    | radial      |
| LSA1_2_def        | 879       | Distributor   | 50    | radial      |
| LSA1_def          | 8         | Distributor   | 50    | radial      |
| LSA1def           | 1         | Distributor   | 50    | radial      |
| LSA2              | 846       | Local         | 50    | radial      |
| LSA2_3            | 52        | Local         | 50    | radial      |
| LSA2_def          | 14810     | Local         | 50    | radial      |
| LSA2def           | 1024      | Local         | 50    | radial      |
| LSA3              | 73        | Local         | 50    | radial      |
| NS_D              | 240       | Access        | 30    | residential |
| NS_L              | 269       | Access        | 30    | residential |

Weitere Attributierungen und Korrekturen an den Attributen wurden nur an Straßen mit einem DTV > 0 durchgeführt.

Aus den Zuordnungen in Tabelle 3-2 ergeben sich einige Kombinationen von Verkehrssituationen, die nicht mit dem Schema des HBEFA 3.1 vereinbar sind. Es wurden dazu folgende Anpassungen vorgenommen:

- Für Abschnitte aus der USDB 2009 mit FAHRMU=HVS1 und GEB\_TYP=AO wurde abweichend zu oben TS\_AREA nach HBEFA 3.1 auf urban gesetzt.
- Abschnitte aus der USDB 2009 mit GEB\_TYP=AO und bereits zugeordnetem TS\_RT=TRUNK-City wurden auf HVS geändert.
- Nicht zulässige VS-Kombinationen wurden wie folgt angepasst:
  - Kombination TS\_AREA=RURAL, TS\_RT=HVS, TS\_SL=140 zu TS\_SL=130.
  - Kombination TS\_AREA=RURAL; TS\_RT=TRUNK-City, TS\_SL=80 zu TS\_RT=TRUNK-Nat.
  - Kombination TS\_AREA=RURAL; TS\_RT=TRUNK-Nat., TS\_SL=50) zu TS\_SL=60.

Die Ergebnisse sind in Abbildung G-1 und Abbildung G-2 in Anhang G zu finden.

### 3.2.3 Kaltstarttypisierung

Die Kaltstartzuschläge werden in der Standardversion von IMMIS<sup>em</sup> 5 für vier verschiedenen Typen ermittelt:

- kein Kaltstart,
- Wohnstraße (residential),
- Einfallstraße (radial) und
- Geschäftsstraße (commercial).

Die Zuordnung erfolgte nach den Fahrmustern gemäß Tabelle 3-2. Das Ergebnis der Attributierung ist in Abbildung G-3 in Anhang G dargestellt.

### 3.2.4 Attributierung der Level Of Service (LOS)

Die Verkehrsqualität wird in HBEFA 3.1 durch einen vierstufigen Level Of Service (LOS) klassifiziert:

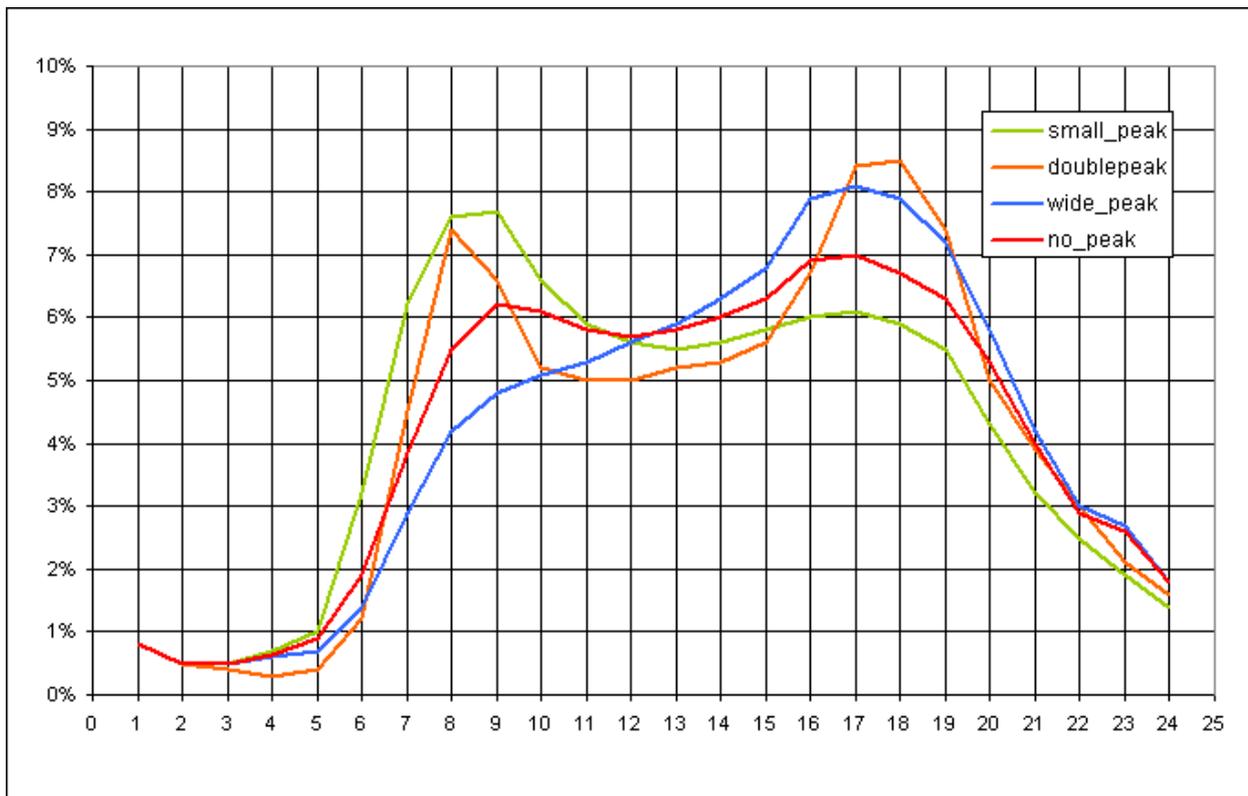
- freier Verkehr (LOS1),
- dichter Verkehr (LOS2),
- gesättigter Verkehr (LOS3) und
- Stop&Go (LOS4).

Bezogen auf einen DTV können diese vier Qualitätsstufen in einer unterschiedlichen Aufteilung auftreten. So ist davon auszugehen, dass bei relativ geringen Verkehrsstärken in der Nacht der Verkehr in der Qualitätsstufe „frei“ ist. Bei höheren Verkehrsstärken hängt es vom jeweiligen Auslastungsgrad ab, in welchem Zustand sich der Verkehr befindet.

In IMMIS<sup>em</sup> Version 5 wird die Bestimmung der LOS-Aufteilung durch drei Parameter definiert:

- mittlere Verkehrsganglinie (siehe Abbildung 3-5),
- Kapazitätsangaben (siehe Tabelle 3-3) und
- Schwellwerte, ab denen der Zustand von einem LOS zum anderen wechselt (siehe Tabelle 3-4).

Das Verfahren wurde in Mahlau (2010) beschrieben und im Handbuch zu IMMIS<sup>em/luft</sup> (IVU Umwelt, 2011a) dokumentiert.



**Abbildung 3-5: Ganglinien des Verkehrs zur LOS-Bestimmung in IMMIS<sup>em</sup> 5**

Bei der Anwendung der Verkehrsganglinien ist zu beachten, dass in IMMIS<sup>em</sup> in der angewendeten Methodik Querschnittswerte für einen Straßenabschnitt betrachtet werden. Wenn man eine Straße mit einer ausgeprägten Morgenspitze stadteinwärts und einer ausgeprägten Abendspitze stadtauswärts betrachten will, muss man eine Ganglinie mit nur einem Peak wählen, da bezogen auf den Querschnitt nur einmal am Tag ein Peak auftritt. Der Ganglinientyp „doublepeak“ kann nur zugeordnet werden, wenn in beiden Fahrrichtungen zweimal am Tag eine Verkehrsspitze auftritt.

**Tabelle 3-3: Kapazitäten zur LOS-Berechnung je Straßentyp aus IMMIS<sup>em</sup> 5**

| Gebiet        | Straßentyp                        | Kapazitäten |
|---------------|-----------------------------------|-------------|
| Ländlich      | Autobahn                          | 1800        |
| Ländlich      | Semi-Autobahn                     | 1100        |
| Ländlich      | Fern-, Bundesstraße               | 1200        |
| Ländlich      | Hauptverkehrsstraße kurvig        | 1000        |
| Ländlich      | Hauptverkehrsstraße               | 1200        |
| Ländlich      | Sammelstraße, kurvig              | 650         |
| Ländlich      | Sammelstraße                      | 700         |
| Ländlich      | Erschließungsstraße               | 600         |
| Agglomeration | Autobahn                          | 1900        |
| Agglomeration | Stadtautobahn                     | 1600        |
| Agglomeration | Fern-, Bundesstraße               | 1200        |
| Agglomeration | Städtische Magistrale/ Ringstraße | 800         |
| Agglomeration | Hauptverkehrsstraße               | 800         |
| Agglomeration | Sammelstraße                      | 700         |
| Agglomeration | Erschließungsstraße               | 600         |

**Tabelle 3-4: Schwellwerte der Kapazitätsauslastung für den Übergang ins höhere LOS aus IMMIS<sup>em</sup> 5**

| Variante | LOS2 | LOS3 | LOS4 |
|----------|------|------|------|
| AB       | 0.55 | 0.9  | 1.   |
| IO       | 0.15 | 0.8  | 1.   |
| AO       | 0.4  | 0.8  | 1.   |

Folgende Zuordnungen wurden für die Attributierung der Schwellwerte der Kapazitätsauslastung für den Übergang ins höhere LOS vorgenommen:

- wenn Straßentyp (TS\_RT) = "AB>120" dann Schwellwert Variante "AB"
- sonst
  - wenn [GEB\_TYP] = IO dann Schwellwert Variante „IO“
  - sonst Schwellwert Variante „AO“.

Die Ergebnisse sind in Abbildung G-4 in Anhang G zu finden.

Der Ganglinientyp wurde auf der Basis des Schwellwerttyps für AB und AO-Straßen und für Innerortsstraßen auf Basis des Lagetyps festgelegt:

- wenn Schwellwerttyp = „AB“ oder „AO“ dann Ganglinientyp = "no\_peak"
- sonst
  - wenn Lagetyp = "radial" dann Ganglinientyp = "small\_peak"
  - wenn Lagetyp = "residential" dann Ganglinientyp = "wide\_peak"
  - wenn Lagetyp = "comercial" dann Ganglinientyp = "doublepeak"

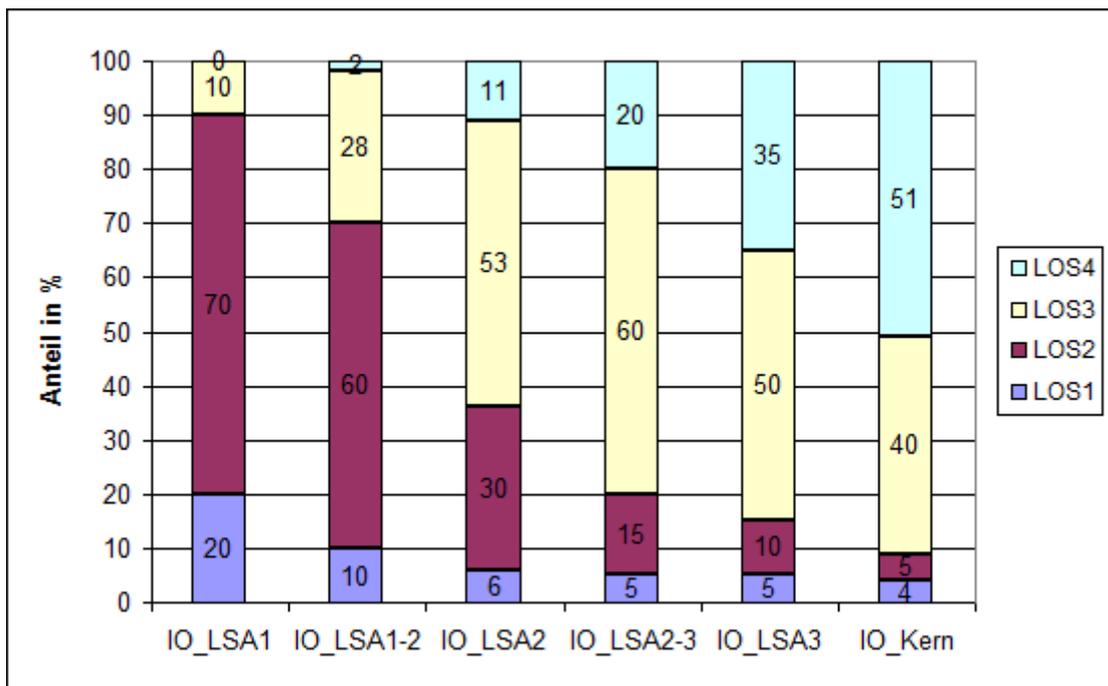
Nach Prüfung der errechneten LOS-Aufteilung wurden Abschnitte mit auffällig hohen LOS3-Anteilen individuell angepasst. Für Abschnitte mit Anteil LOS Stop&Go > 40 %

wurde die Kapazität auf festen Wert gesetzt und iterativ in 10 %-Schritten erhöht, bis Anteil LOS Stop&Go < 40 % lag.

Die Ergebnisse der LOS-Berechnungen sind in Abbildung G-6 bis Abbildung G-9 in Anhang G dargestellt. In Anhang G finden sich zudem die mittlere Geschwindigkeit für Pkw (Abbildung G-10) und die Standanteile für Pkw (Abbildung G-11). Bei den Standanteilen ist ein Vergleich mit den Angaben zur Verkehrssituation des HBEFA 2.1 nicht möglich, da im HBEFA 3.1 Standanteile nur im Stop&Go bis 31 % angegeben sind und in den drei anderen LOS-Klassen maximale Standanteile bis 17.5 % angegeben sind, während im alten HBEFA 2.1 bereits für die Verkehrssituation IO\_KERN ein Standanteil von 32.5 % angegeben wurde.

In der Berechnung des landesweiten Kfz-Emissionskatasters für die RCG-Modellierung wurden Kapazitäten für Gebiets- und Straßentypen, wie in diesem Kapitel beschrieben, standardisiert festgelegt.

Für die Berechnung der Zusatzbelastung in der Bildung der Gesamtbelastung wurde ein vom Auftraggeber vorgeschlagenes Verfahren zur Festsetzung von LOS-Anteilen nach Angabe des Störungsgrad gemäß des HBEFA 2.1 angewendet, das damit mehr Bezug zu individuell ermittelten Verkehrssituationen hat (siehe Abbildung 3-6).



**Abbildung 3-6: Übertragung der für das HBEFA 2.1 ermittelten Störungsgrade nach LOS-Aufteilungen für das HBEFA 3.1**

### 3.3 Ergebnisse der landesweiten Kfz-Emissionsberechnung

Auf Basis der oben beschriebenen Attributierung wurden mit IMMIS<sup>em</sup> 5 die abschnittsbezogenen Emissionen berechnet. Dabei wurde für das Bezugsjahr 2008 als innerörtlichen Flotte die aus der Kennzeichenerfassung für Potsdam für 2008 bestimmte Flotte verwendet. In Tabelle 3-5 sind die Emissionsberechnungen für 2008 zusammengestellt, ergänzt um die Prognosewerte für die Jahre 2010 und 2015.

**Tabelle 3-5: Emissionen 2008, Prognose 2010 und Prognose 2015**

| Emissionen<br>in t/a | 2008    |               | Prognose 2010 |               | Prognose 2015 |               |
|----------------------|---------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
|                      | Gesamt  | davon<br>AWAR | Gesamt        | davon<br>AWAR | Gesamt        | davon<br>AWAR |
| CO                   | 52248.9 |               | 44645.5       |               | 30911.2       |               |
| NH <sub>3</sub>      | 916.3   |               | 1003.0        |               | 765.1         |               |
| NM_HC                | 3374.8  |               | 2729.6        |               | 1826.6        |               |
| NO <sub>x</sub>      | 28345.3 |               | 21262.6       |               | 14994.1       |               |
| NO <sub>2</sub>      | 3431.8  |               | 3874.5        |               | 3404.1        |               |
| PM10                 | 2075.1  | 1089.8        | 1830.1        | 1200.0        | 1541.5        | 1223.0        |
| PM2.5                | 1573.8  | 588.5         | 1278.1        | 648.0         | 979.0         | 660.4         |
| SO <sub>2</sub>      | 29.9    |               | 31.7          |               | 30.6          |               |

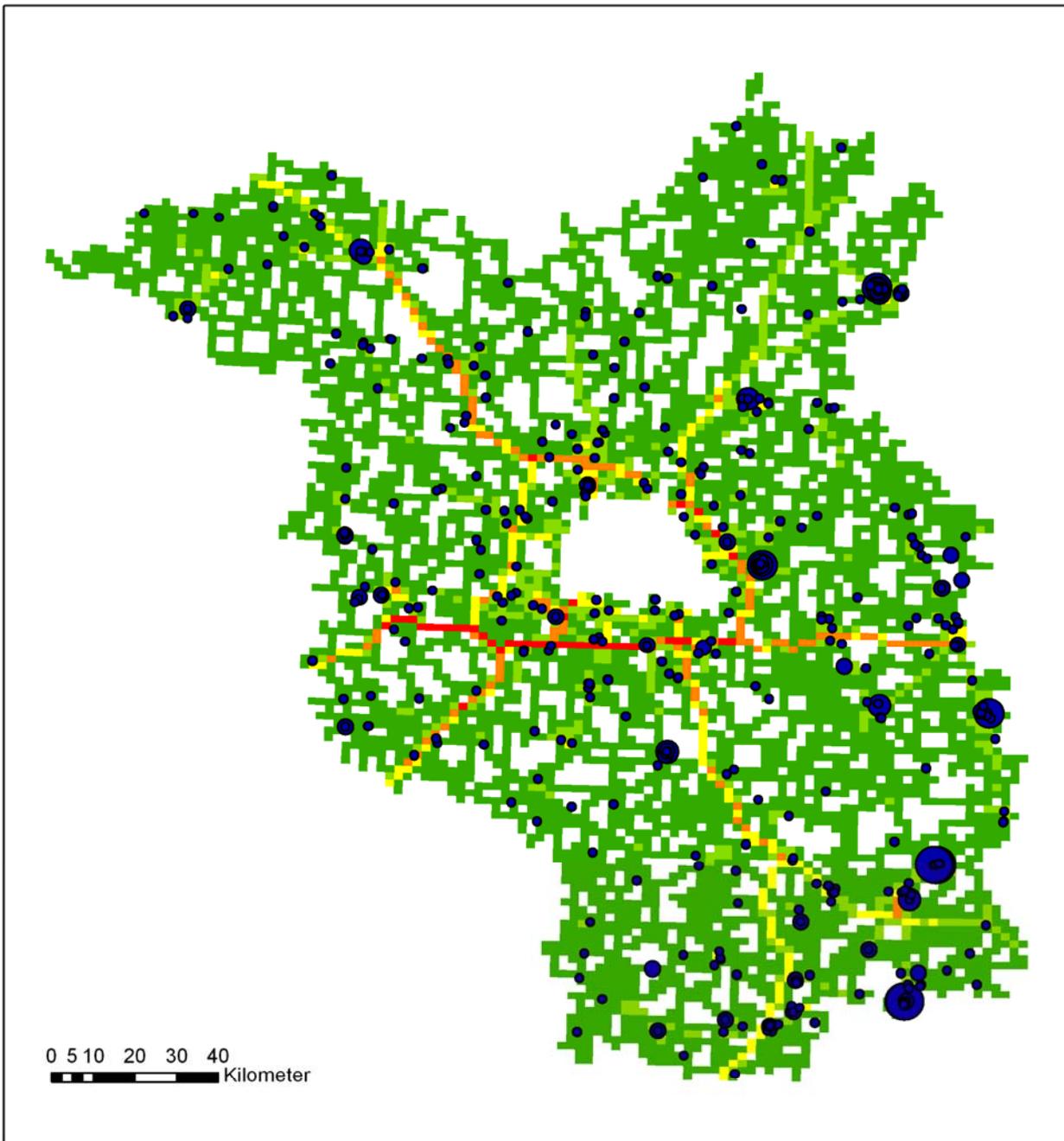
AWAR: nicht-motorbedingte Partikelemission durch Aufwirbelung und Abrieb

### 3.4 Aufbereitung für Vorbelastungsmodellierung

Für die Ausbreitungsrechnungen mit RCG (Kapitel 4.2) mussten die als Linien vorliegenden Kfz-Emissionsdaten auf ein regelmäßiges Raster in geographischen Koordinaten übertragen werden.

Zusätzlich wurden die vom Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) Brandenburg zur Verfügung gestellten Angaben zu den genehmigungsbedürftiger Anlagen in Brandenburg für das Bezugsjahr 2008 aufbereitet.

Abbildung 3-7 zeigt die für die Modellierung der landesweiten Vorbelastung mit RCG aufbereiteten NO<sub>x</sub>-Emissionsdaten für Industriequellen und Straßenverkehr für das Bezugsjahr 2008. Für das Bezugsjahr 2010 und 2015 wurden die Emissionen der Industriequellen unverändert belassen. Die Kfz-Emissionen wurden für die jeweiligen Bezugsjahre getrennt aufbereitet.



**Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung  
auf die Luftqualität im Land Brandenburg**

**Industriequellen**

**NO<sub>x</sub> in kg/Jahr**

- 0 - 36530
- 36531 - 154179
- 154180 - 443325
- 443326 - 1014591
- 1014592 - 3663992

**Kfz-Emissionen**

**NO<sub>x</sub> in kg/Jahr**

- 0 - 5072
- 5073 - 16799
- 16800 - 33271
- 33272 - 56359
- 56360 - 121514

IVU Umwelt, November 2010

**Abbildung 3-7: NO<sub>x</sub>-Emissionsdaten für Industriequellen und Straßenverkehr**

## 4 Bestimmung der landesweiten Vorbelastung

### 4.1 Einführung

Die flächendeckenden Hintergrundkonzentrationen in Brandenburg für die Referenzjahre 2008, 2010 und 2015 wurde, wie in Kapitel 2.3 beschrieben, durch eine Kombination von Messungen und Modellergebnissen erstellt. Im Kapitel 4.2 wird die Methodik und Anwendung der RCG-Modellierung beschrieben, in Kapitel 4.3 die Kombination von Messung und Modellergebnissen mit FLADIS.

### 4.2 Modellierung mit RCG

#### 4.2.1 Das RCG-Modell

Das verwendete chemische Transportmodell ist das REM-CALGRID-Modell (RCG), das an der Freien Universität Berlin entwickelt wurde (Stern 2003, 2006a, Stern et al., 2008). Das RCG-Modell wurde inzwischen schon vielfach auf Bundes- und Länderebene im Rahmen der Erstellung von Luftreinhalteplänen, z. B. in der Rhein-Main-Region (IVU Umwelt, 2009b, 2011c), der Berechnung von Hintergrundkonzentrationen (IVU Umwelt, 2004, 2006a, 2006b) oder zur Analyse grenzüberschreitender Schadstofftransporte (Stern, 2006b) eingesetzt. RCG ist zudem das Ausbreitungsmodell im vom Umweltbundesamt beauftragten PAREST-Projekt zur Entwicklung von Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung (PAREST, 2010).

Das RCG-Modell berechnet die Konzentration von Schadstoffen an einem oder mehreren Orten in Abhängigkeit von der Emission, von physikalischen und chemischen Prozessen während des Transportvorgangs in der Atmosphäre, sowie von meteorologischen und topographischen Einflüssen. Dazu wird der relevante Ausbreitungsraum, der ganz Europa oder auch nur eine Stadt oder ein Emittentengebiet umfassen kann, mit einem dreidimensionalen Gitter überspannt, in dessen Gitterzellen die Berechnung der Konzentrationen erfolgt. Das RCG-Modell betrachtet alle in den EU-Richtlinien für Luftqualität festgelegten Schadstoffe wie z. B. Feinstaub, Stickstoffoxide oder Ozon. Die Berechnung der Konzentrationen erfolgt auf Stundenbasis für das ganze Jahr. Mit den RCG-Simulationsrechnungen lassen sich die Ursachen für Luftbelastungen analysieren und die Beiträge von unterschiedlichen Emittenten zur Luftqualität bestimmen. Die Anwendung des Modells in so genannten genesteten Modellgebieten erlaubt es, je nach Fragestellung und Gebietsgröße unterschiedlich hohe räumliche Auflösung abzubilden.

Die Anwendung des Modells zur Ermittlung der Hintergrundbelastung in Brandenburg erfolgte in den Skalen:

- die europäische Skala (Nest 0),
- die überregionale Skala (Deutschland, Nest 1) und
- die regionale Skala Brandenburg (Nest 2).

Die europaweite Rechnung in der Auflösung von  $1/25^\circ$  Länge und  $1/4^\circ$  Breite liefert die Hintergrundkonzentrationen für die überregionale Skala „Deutschland“. Diese Skala wurde in der Auflösung  $1/8^\circ$  Länge und  $1/16^\circ$  Breite gerechnet. Die überregionale Rechnung liefert die Hintergrundkonzentrationen für die regionale Skala „Brandenburg“.

Die Berechnungen für Brandenburg (Nest 2) erfolgten in einer Auflösung von  $1/32^\circ$  Länge,  $1/64^\circ$  Breite (circa  $2 \times 2 \text{ km}^2$ ). Die unterste Gitterzelle hat eine vertikale Ausdehnung von 25 m. Die für diese unterste Gitterzelle berechneten Konzentrationen wurden als Hintergrundkonzentrationen interpretiert. Die Verwendung eines geographischen Koordinatensystems ist Voraussetzung für die genestete RCG-Anwendung, da die großräumigen Datenbasen und damit alle großräumigen Rechnungen in solch einem System vorliegen.

Die Berechnungen für Nest 0 und Nest 1 erfolgten für das meteorologische Referenzjahr mit den im Rahmen von PAREST (2010) erstellten meteorologischen und emissionsseitigen Datenbasen. Für das regionale Gebiet Brandenburg lagen die Daten nicht in der benötigten Auflösung vor. Daher mussten zur Anwendung des RCG-Modells erstellt werden:

- Meteorologische Daten für 2008 in einer Auflösung von  $1/32^\circ$  Länge,  $1/64^\circ$  Breite und
- Emissionsdaten in einer Auflösung von  $1/32^\circ$  Länge,  $1/64^\circ$  Breite.

## 4.2.2 Eingangsdaten

### 4.2.2.1 Erstellung der meteorologischen Daten

Das RCG-Modell benötigt für das Modellgebiet in der gewählten Maschenweite folgende meteorologische Größen in stündlicher Auflösung:

Dreidimensionale Felder bis zu einer Höhe von 3 km:

- u,v-Komponenten des Windes,
- Temperatur,
- Feuchte und
- Dichte.

Zweidimensionale Felder:

- Bodentemperatur,
- Bodenwindgeschwindigkeit,
- Monin-Obukhov-Länge,
- Schubspannungsgeschwindigkeit und
- Mischungsschichthöhe.

Der meteorologische Antrieb des Modells wurde aus meteorologischen Beobachtungen mit dem am Institut für Meteorologie betriebenen Programmsystem TRAMPER (Tropospheric Realtime Applied Meteorological Procedures for Environmental Research) (Reimer und Scherer (1992), Kerschbaumer und Reimer (2003)) erstellt. Das meteorologische Referenzjahr ist 2008.

### 4.2.2.2 Erstellung der Emissionsdaten

Emissionen der Stoffgruppen  $\text{SO}_x$ ,  $\text{NO}_x$ , CO,  $\text{NH}_3$ , Benzol, PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> und NMHC (Nicht-Methan-Kohlenwasserstoffe) müssen dem RCG-Modell in Form von Punkt- oder Flächenquellen vorgegeben werden. Für die Punktquellen wird aus den Kenndaten der Quelle und lokalen meteorologischen Größen eine effektive Schornsteinhöhe bestimmt.

Die Übergabe der Emissionen erfolgt dann in die dazugehörige Modellschicht. Flächen- und Punktquellen werden im Modell als Volumenquellen behandelt, d.h. die Emissionen verteilen sich unmittelbar in der betreffenden Gitterzelle.

Das Modell verlangt jahresspezifische Emissionsdaten für alle in den verschiedenen chemischen Mechanismen benötigten Spezies, getrennt nach Punkt- und Flächenquellen und unterteilt nach Verursachergruppen. Für die Verursachergruppen werden im Modell, ausgehend von den Jahreswerten, stündliche Emissionen abgeleitet. Die dazu verwendeten Monats-, Tages- und Stundenfaktoren berücksichtigen die Zeit- und Temperaturabhängigkeit der Emissionen der einzelnen Verursachergruppen.

Biogene Kohlenwasserstoff- und  $\text{NO}_x$ -Emissionen, Seesalzemissionen sowie die Aufwirbelung von Staub aus naturbelassenen Böden werden stündlich modellintern mit Hilfe von Landnutzungsdaten und entsprechenden Emissionsfaktoren berechnet.

Zur Erstellung der Emissionsdaten für das Modellgebiet Brandenburg wurden folgende Datensätze verwendet:

- Emissionsdaten des Landes Brandenburg für die Jahre 2008, 2010 und 2015 sowie
- Emissionsdaten aus PAREST für die Jahre 2005, 2010 und 2015.

Die Emissionsdaten des Landes Brandenburg liegen für die verkehrsbedingten Emissionen in einer Auflösung von  $1 \times 1 \text{ km}^2$  und punktscharf für die industriellen Quellen vor. Der PAREST-Emissionsdatensatz löst Deutschland in circa  $2 \times 2 \text{ km}^2$  und das benachbarte Ausland (hier Polen) in  $8 \times 7 \text{ km}^2$  auf.

Abbildung 4-1 zeigt das RCG-Modellgebiet und die Verteilung der vom Land Brandenburg zur Verfügung gestellten Emissionen für Verkehr und Industrie. Zur Komplettierung der Emissionsdaten in Brandenburg wurden die Emissionen fehlender Verursachergruppen wie Hausbrand und Kleinverbraucher, Lösemittelverbrauch, Sonstiger Verkehr und landwirtschaftliche Emissionen aus dem PAREST-Datensatz übernommen. Außerhalb von Brandenburg wurden die emissionsseitigen Eingangsdaten für das RCG-Modell komplett aus dem PAREST-Datensatz erstellt. Abbildung 4-2 und Abbildung 4-3 zeigen für das Jahr 2008 die so erstellten  $\text{NO}_x$ - und  $\text{PM}_{10}$ -Emissionen für das Modellgebiet.

Für das Jahr 2015 konnten die PAREST-Emissionsdaten nicht komplett übernommen werden. Die Flughafenemissionen in PAREST umfassen die Bodenemissionen und die Lande- und Startemissionen (Landing and Take Off, LTO) der nationalen und internationalen Flüge bis zu einer Höhe von 3'000 Fuß. Diese nationalen Daten wurden in PAREST für 2005 mit Hilfe eines Umlegungsschlüssels auf die deutschen Flughäfen verteilt. Der Schlüssel gibt an, wie viel Prozent der LTO-bedingten Emissionen welchem Flughafen zuzuordnen sind. Der Umlegungsschlüssel für 2005 wurde in PAREST konstant für alle Projektionsjahre benutzt. Ein Abschalten von Tegel und ein massives Wachstum von Schönefeld bis z. B. 2015 oder 2020 sind also in den PAREST-Daten nicht enthalten. Aus diesem Grunde wurden für die Berechnungen 2015 die Emissionen der Flughäfen Tegel und Tempelhof aus dem Datensatz entfernt und die Emissionen des Flughafens Schönefeld durch die von der Flughafen Berlin-Schönefeld GmbH für 2015 auf der Basis von 288'000 Flugbewegungen abgeschätzten Emissionen<sup>3</sup> ersetzt.

---

<sup>3</sup> Die Emissionsdaten wurden freundlicherweise von Dr. Kai Johannsen, Beauftragter für Lärmschutz und Luftreinhaltung, Stabsstelle Umwelt der Flughafen Berlin-Schönefeld GmbH, zur Verfügung gestellt.

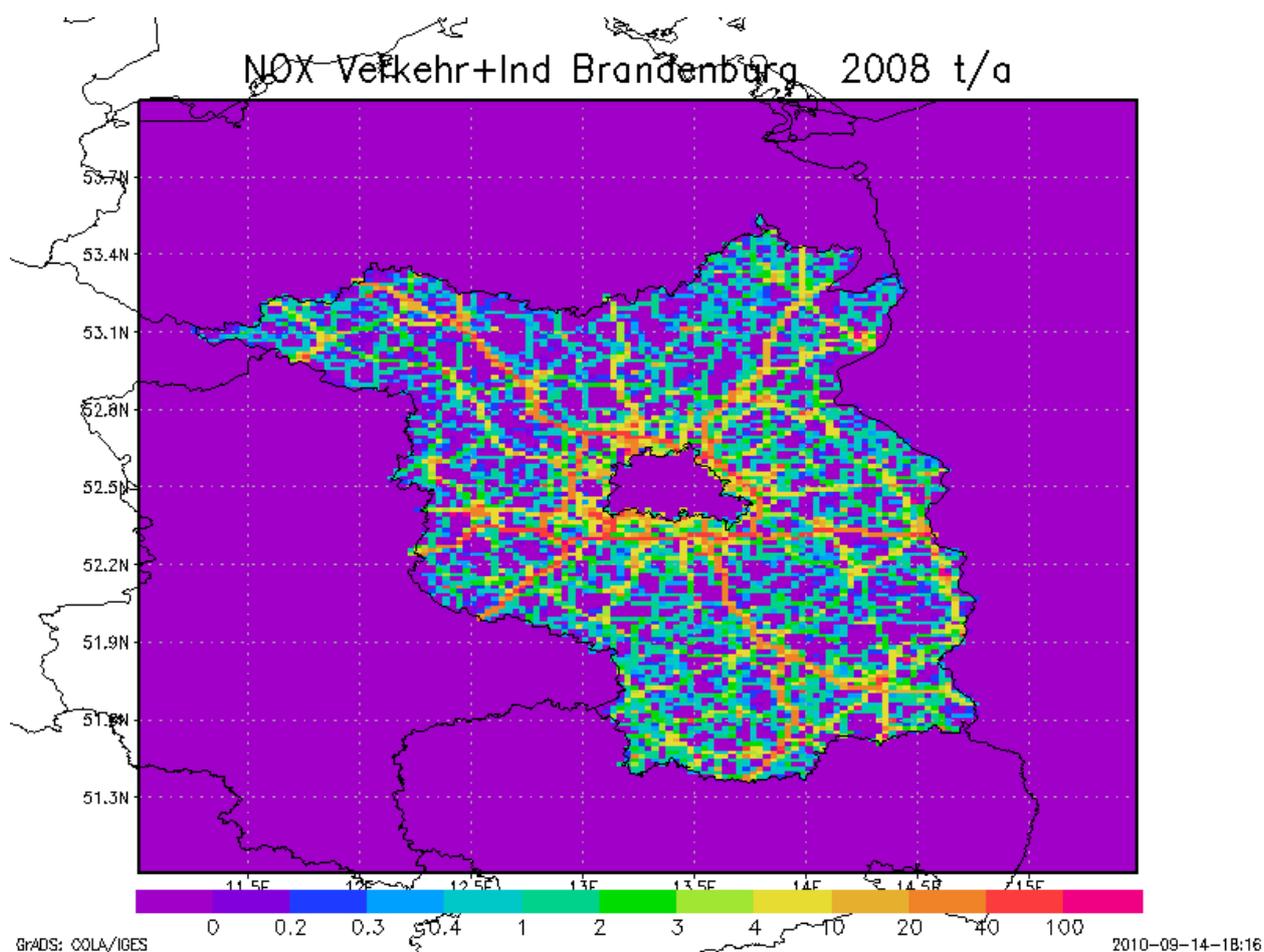
Diese Emissionen umfassen wie die PAREST-Daten die flugbedingten Emissionen bis zu 1'000 m Höhe. Die Verteilung der neuen Emissionen für Schönefeld erfolgte entsprechend der horizontalen Verteilung der PAREST-Emissionen für den alten Flughafen Schönefeld. Dies ist für die hier durchgeführten Hintergrundberechnungen kein Problem, da alle Emissionen nur in einer Auflösung von circa  $2 \times 2 \text{ km}^2$  verwendet werden. In der Vertikalen wurden die Emissionen drei Schichten zugeordnet:

- Emissionen bis 50 m Höhe,
- Emissionen von 50 bis 400 m Höhe und
- Emissionen von 400 bis 1000 m Höhe.

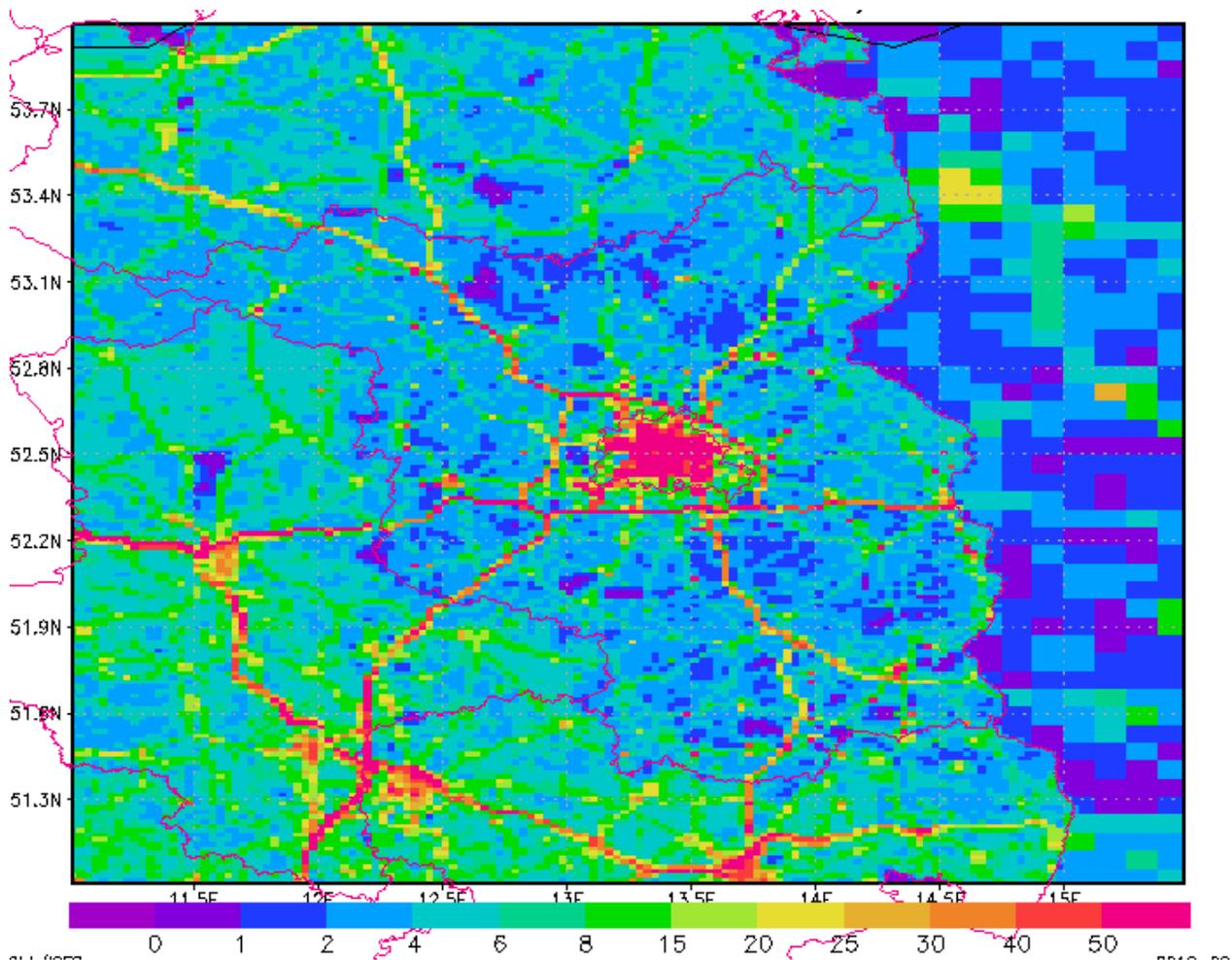
Tabelle 4-1 zeigt für die wichtigsten Schadstoffe die aus dem PAREST-Datensatz entfernten Emissionen für die Flughäfen Tempelhof, Tegel und Schönefeld und die für die Ausbreitungsrechnungen nach den Angaben der Flughafen Berlin-Schönefeld GmbH verwendeten Emissionen (Schönefeld-BBI). Bezogen auf die PAREST-Emissionsdaten, die die Erweiterung des Flughafens Schönefeld nicht enthalten, führt der Ausbau ungefähr zu einer Verdoppelung der  $\text{NO}_x$ -Emissionen und einer Vervierfachung der PM10-Emissionen. Die Straßenverkehrsdaten für 2015 beinhalten die durch die Erweiterung von Schönefeld bedingten Erhöhungen des Verkehrsaufkommens, allerdings nur auf dem Gebiet von Brandenburg. Die entsprechenden Daten für das Land Berlin standen nicht zur Verfügung. Hier wurden deshalb die Verkehrsemissionen aus PAREST für 2015 unverändert übernommen.

**Tabelle 4-1: Emissionen der Flughäfen im Modellgebiet für das Jahr 2015. Die in der Tabelle aufgelisteten PAREST-Emissionen der Flughäfen Tempelhof, Tegel und Schönefeld sind hier nur zu Vergleichszwecken angeführt. In die Ausbreitungsrechnung für 2015 gehen diese Emissionen nicht ein. Es wurden lediglich die in mit Schönefeld-BBI gekennzeichneten Emissionen verwendet. Weitere Erläuterungen im Text. Alle Angaben gerundet.**

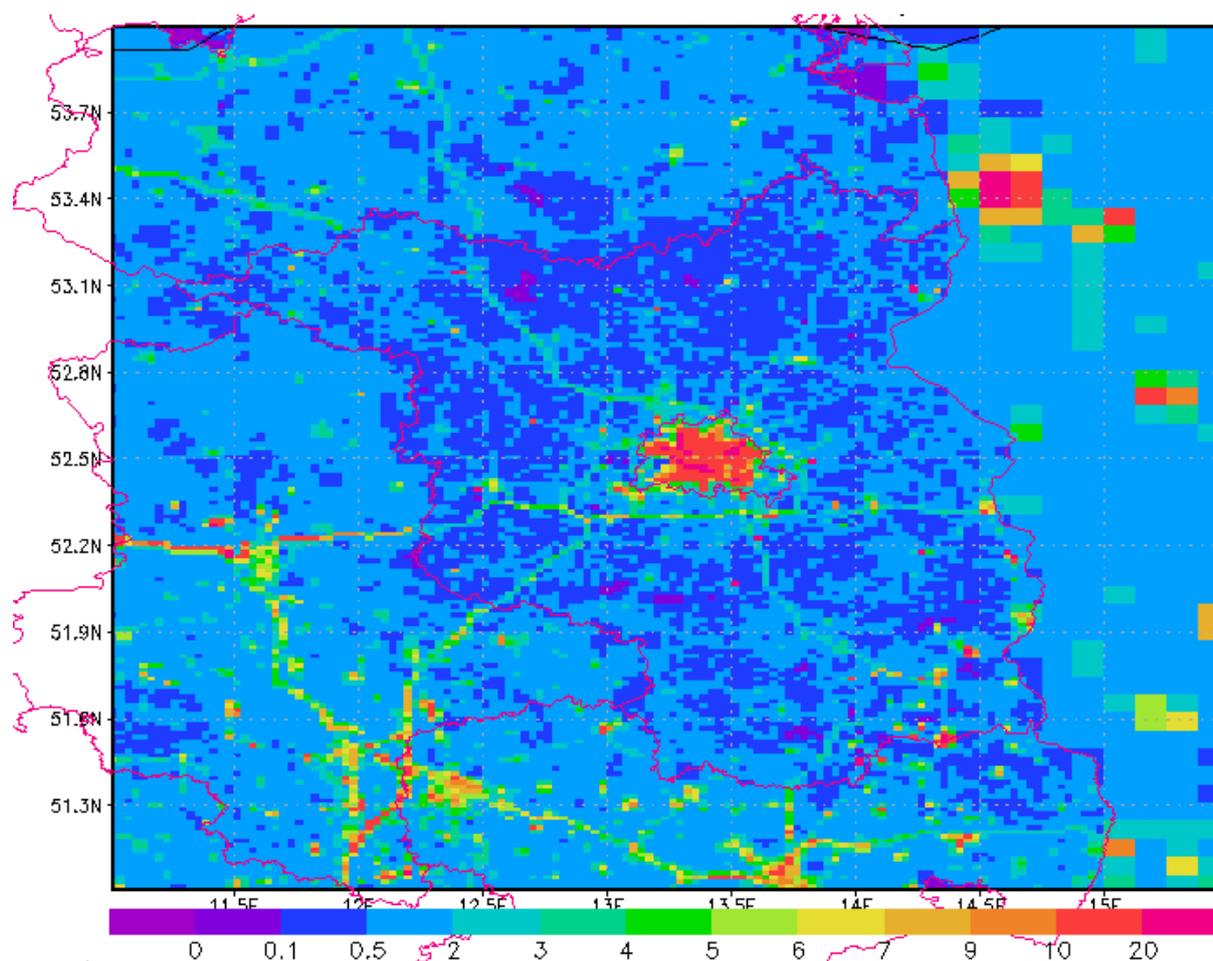
| Emissionen 2015 in t/J | $\text{NO}_x$ | VOC | PM10 |
|------------------------|---------------|-----|------|
| Tegel-PAREST           | 1664          | 257 | 17   |
| Tempelhof-PAREST       | 270           | 46  | 3    |
| Schönefeld-PAREST      | 610           | 98  | 6    |
| Schönefeld-BBI         | 1170          | 255 | 25   |



**Abbildung 4-1: RCG-Modellgebiet und für Brandenburg zur Verfügung stehende Emissionen: Verkehr und Industrie**



**Abbildung 4-2:** NO<sub>x</sub>-Emissionen für den Basislauf 2008. Datenaufösung: 1x1 km<sup>2</sup> Brandenburg (nur Verkehr), 2 x 2 km<sup>2</sup> für alle anderen Bundesländer und die fehlenden Verursacherguppen in Brandenburg, 8x7 km<sup>2</sup> Polen. PAREST-Daten Referenzjahr 2005



**Abbildung 4-3: PM10-Emissionen für den Basislauf 2008. Datenauflösung: 1x1 km<sup>2</sup> Brandenburg (nur Verkehr), 2 x 2 km<sup>2</sup> für alle anderen Bundesländer und die fehlenden Verursachergruppen in Brandenburg, 8x7 km<sup>2</sup> Polen. PAREST-Daten Referenzjahr 2005**

## 4.2.3 Ergebnisse

### 4.2.3.1 RCG-Ergebnisse für das Basisjahr 2008

Das RCG-Modell wurde unter Verwendung der in Kapitel 4.2.2.2 beschriebenen Emissionen für das Referenzjahr 2008 auf das Modellgebiet Brandenburg angewendet. Die Berechnungen der Schadstoffverteilungen erfolgt stündlich. Abbildung 4-4 und Abbildung 4-5 zeigen die berechneten NO<sub>2</sub>- und PM10-Jahresmittelwerte. Die höchsten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte von circa 30 µg/m<sup>3</sup> werden im Stadtgebiet von Berlin berechnet. In Brandenburg liegen die maximalen berechneten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte im Bereich von 18 bis 24 µg/m<sup>3</sup>. In den emissionsarmen Gebieten Brandenburgs liegen die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte unter 10 µg/m<sup>3</sup>. Die berechneten PM10-Jahresmittelwerte liegen in Brandenburg größtenteils zwischen 12 und 20 µg/m<sup>3</sup>. Höhere Werte werden im Umfeld einiger Punktquellen im Süden Brandenburgs berechnet.

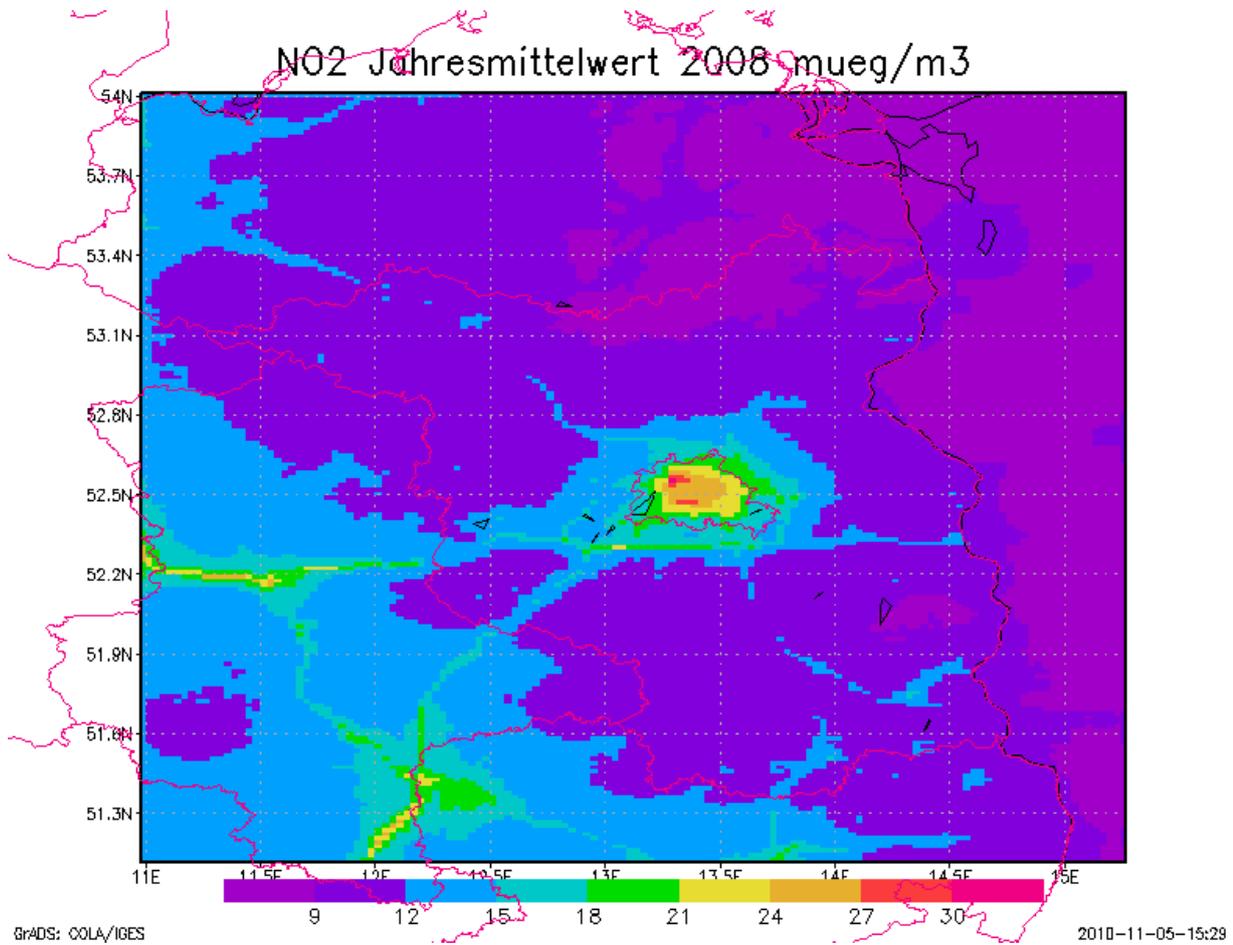
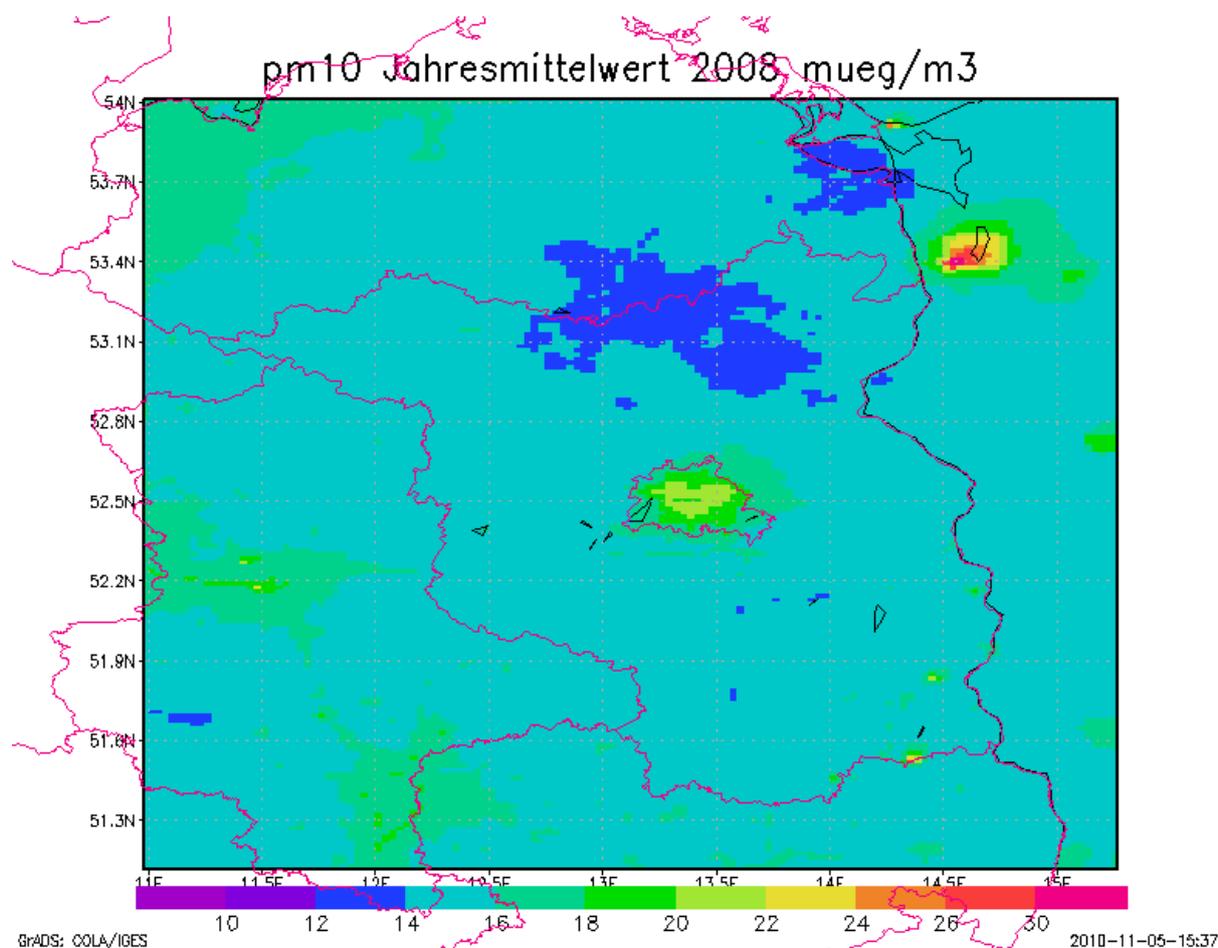


Abbildung 4-4: Berechnete NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte für 2008 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

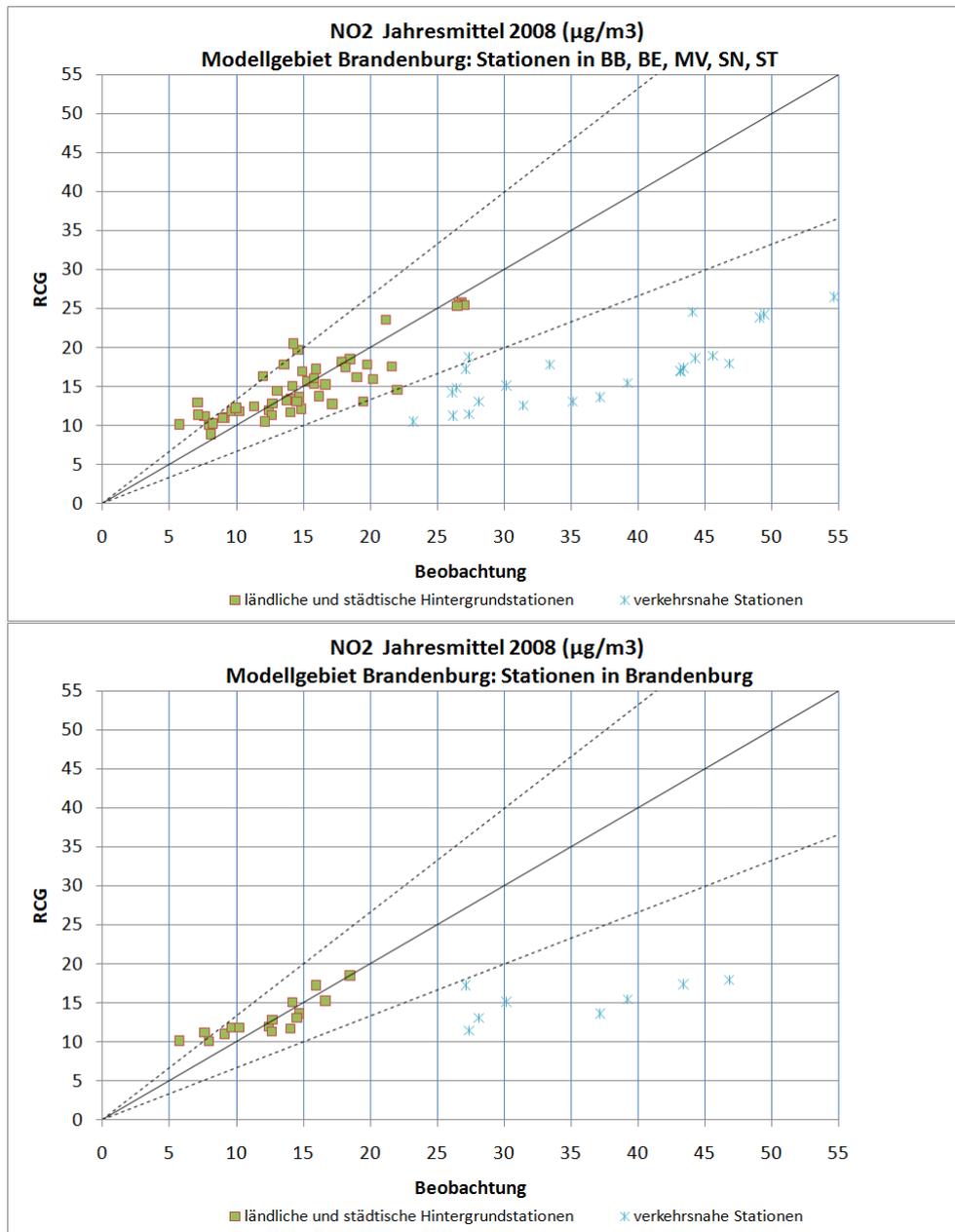


**Abbildung 4-5: Berechnete PM10-Jahresmittelwerte für 2008 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$**

Ein weitere kartographische Darstellung der RCG-Ergebnisse, beschnitten auf das Landesgebiet von Brandenburg, findet sich in Anhang A.

#### 4.2.3.2 Validierung

Zur Validierung der  $\text{NO}_2$ -Modellierung wurde ein Vergleich von berechneten und beobachteten  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwerte erstellt. Die entsprechenden Daten sind in Abbildung 4-6 dargestellt. Zum einen ist der Vergleich für alle Stationen im Modellgebiet und zum anderen nur für die Stationen in Brandenburg ausgewertet worden. Die Stationen sind unterteilt in ländliche und städtische Hintergrundstationen sowie verkehrsnahen Stationen. Die gestrichelten Linien kennzeichnen den Abweichungsbereich von  $\pm 30\%$  um den Messwert, was der Genauigkeitsvorgabe für Ausbreitungsrechnungen nach der Richtlinie 2008/50/EG (EU, 2008) entspricht.

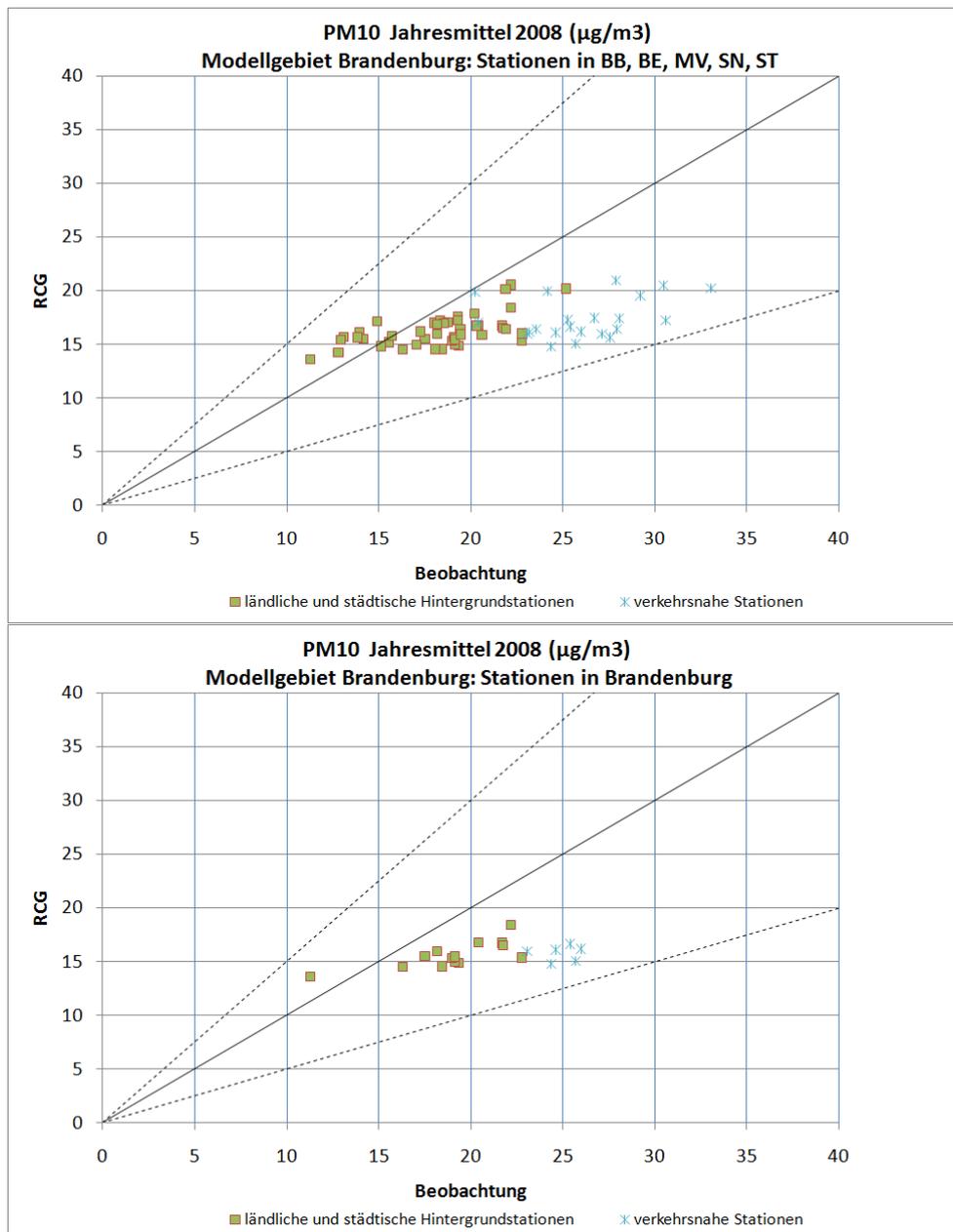


**Abbildung 4-6: Vergleich berechneter und beobachteter NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte (oben: Alle Stationen im Modellgebiet, unten: Stationen in Brandenburg)**

Die meisten der an städtischen und ländlichen Hintergrundstationen berechneten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte liegen innerhalb des von der Richtlinie 2008/50/EG (EU, 2008) vorgegebenen Genauigkeitsbereich von +/-30% um den beobachteten Wert. Lediglich im niedrigen Konzentrationsbereich zeigt das RCG-Modell eine Tendenz zur Überschätzung. Verkehrsnahe Stationen werden generell unterschätzt, da solche Stationen in der hier verwendeten Auflösung von circa 2 x 2 km<sup>2</sup> nicht adäquat dargestellt werden können.

Zur Validierung der PM<sub>10</sub>-Modellierung wurde ein Vergleich von berechneten und beobachteten PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte erstellt. Die entsprechenden Daten sind in Abbildung 4-7 dargestellt. Analog zum Vorgehen bei NO<sub>2</sub> ist der Vergleich für alle Stati-

onen im Modellgebiet und nur für die Stationen in Brandenburg ausgewertet worden. Die Darstellung ist wiederum getrennt in ländliche und städtische Hintergrundstationen sowie verkehrsnahen Stationen. Die gestrichelten Linien kennzeichnen den Abweichungsbereich von  $\pm 50\%$  um den Messwert, was der Genauigkeitsvorgabe für Ausbreitungsrechnungen für den Jahresmittelwert von PM<sub>10</sub> nach der Richtlinie 2008/50/EG (EU, 2008) entspricht.



**Abbildung 4-7: Vergleich berechneter und beobachteter PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte (oben: Alle Stationen im Modellgebiet, unten: Stationen in Brandenburg)**

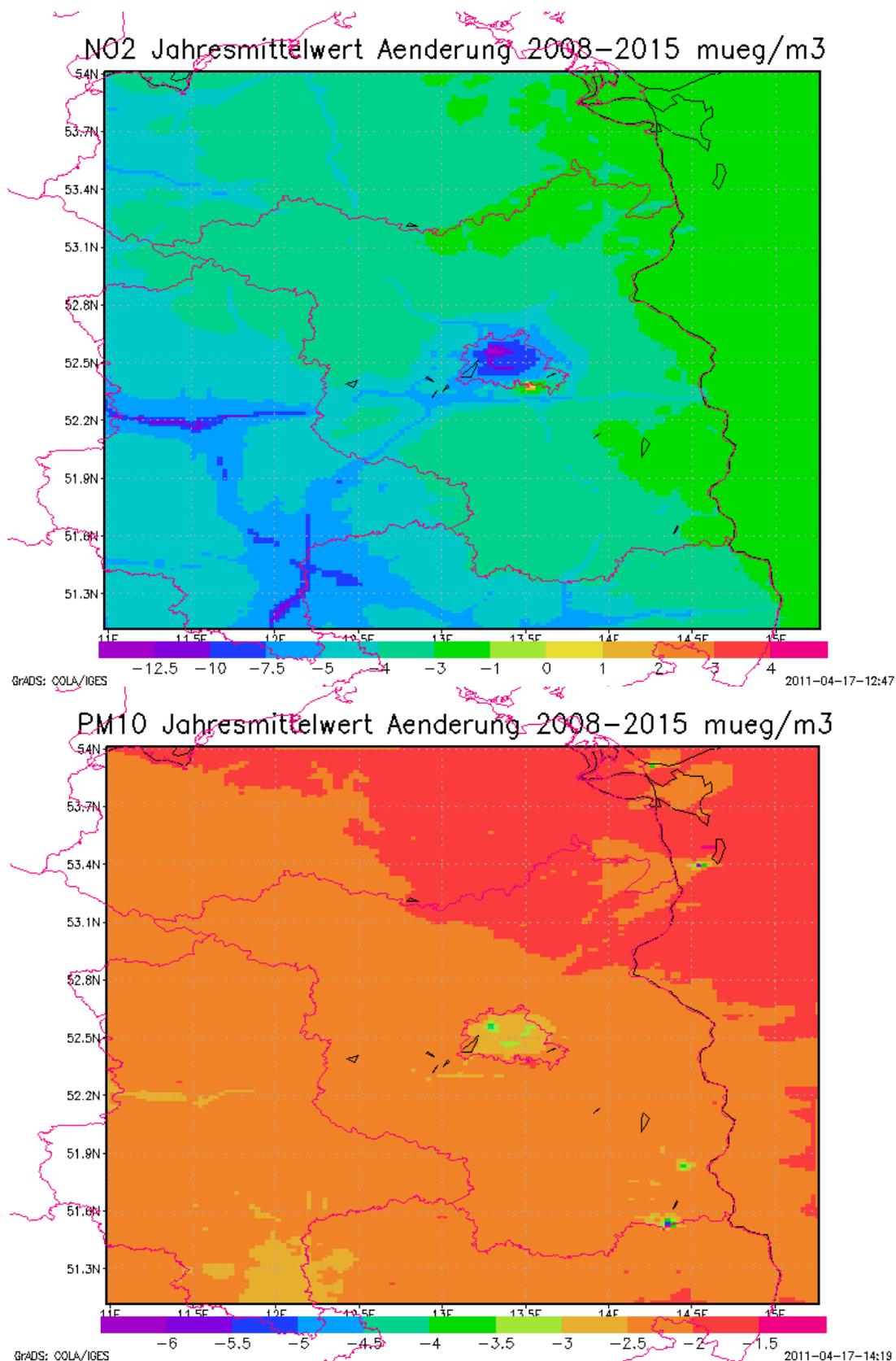
Die beobachteten PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte werden mit zunehmender Konzentrationshöhe zunehmend unterschätzt. Diese systematische Unterschätzung ist ein übliches Phänomen bei der Modellierung der PM<sub>10</sub>-Vorbelastung (Stern et al., 2008; Sartellet et al., 2007; Vautard et al., 2007; Whyatt et al., 2007). Das ist hauptsächlich darin

begründet, dass nicht alle PM10-Quellen mit ihren Emissionen bekannt sind, und auch die Qualität der verfügbaren anthropogenen Partikel-Emissionsdaten geringer ist als diejenige der klassischen Schadstoffe wie z. B. NO<sub>x</sub> und SO<sub>2</sub>. Partikelemissionen aus landwirtschaftlichen Aktivitäten, windbedingte Staubaufwirbelung von naturbelassenen Böden oder in Stadtgebieten (z. B. aus Baustellentätigkeit oder Wiederaufwirbelung durch den Kfz-Verkehr) sowie biogene Aerosole sind unvollständig oder gar nicht erfasst, da diese Emissionen zum Teil stark von den meteorologischen Bedingungen und der Beschaffenheit des Untergrundes abhängen. Auch die gasförmigen Primäremissionen, die zu den organischen und anorganischen Sekundäraerosolen führen, stehen nur zum Teil zur Verfügung (z. B. biogen emittierte Isoprene und Terpene, aber auch anthropogen verursachte NH<sub>3</sub>-Emissionen). Trotz der Unterschätzung liegen die berechneten PM10-Jahresmittelwerte noch innerhalb des von der Richtlinie 2008/50/EG (EU, 2008) vorgegebenen Genauigkeitsbereich von +/-50% um den beobachteten Wert. Verkehrsnahe Stationen werden generell stärker unterschätzt als städtischen Hintergrundstationen, da solche Stationen in der hier verwendeten Auflösung von circa 2 x 2 km<sup>2</sup> nicht adäquat dargestellt werden können.

#### 4.2.4 Prognosen für 2010 und 2015

Das RCG-Modell wurde unter Verwendung der meteorologischen Daten 2008 auch auf die Emissionsreferenzjahre 2010 und 2015 angewandt. Für beide Jahre liegen sowohl Brandenburger Daten für Verkehr und Industrie als auch Daten aus dem PAREST-Emissionsdatensatz vor. Die RCG-Emissionseingangsdaten wurden in der im Kapitel 4.2.2.2 beschriebenen Weise erstellt. Das Emissionsreferenzjahr 2015 wurde nicht linear zwischen 2010 und 2020 interpoliert, sondern ist ein eigenständiger Datensatz, der auf den im PAREST-Projekt angenommenen Emissionsprojektionen beruht.

Abbildung 4-8 zeigt die berechnete Änderungen der NO<sub>2</sub>- und PM10-Jahresmittelwerte aufgrund der Emissionsentwicklung bis 2015. In Brandenburg werden Abnahmen der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte von 2008 bis 2015 zwischen 2 und 7 µg/m<sup>3</sup> berechnet, mit maximalen Abnahmen im Einflussbereich des südlichen Berliner Rings. Zu Zunahmen der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte bis zu circa 3 µg/m<sup>3</sup> kommt es auf dem Gelände und im Umfeld des neuen Flughafens BBI.



**Abbildung 4-8: Berechnete Abnahme der NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte (oben) und PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwerte (unten) in µg/m<sup>3</sup> von 2008 bis 2015 aufgrund der Emissionsentwicklung bis 2015**

Auffällig sind die stärkeren Abnahmen in den verkehrsreichen Regionen außerhalb von Brandenburg. Hier gilt es zu berücksichtigen, dass die dort für das Basisjahr 2008 verwendeten Verkehrsemissionen von PAREST den Stand von 2005 beschreiben, womit die Abnahme der Verkehrsemissionen bis 2015 stärker ausfällt als in Brandenburg, wo die Verkehrsemissionen den Stand von 2008 beschreiben. Ein weiterer Grund für diese stärkeren Abnahmen liegt im PAREST-Referenzszenario 2010-2020, in das die Maßnahmen „Einführung der Grenzwertstufen Euro 5 und 6 für Pkw und leichte Nutzfahrzeuge“, „Einführung einer Grenzwertstufe Euro VI für schwere Nutzfahrzeuge“ und „Bestehende Lkw-Maut inkl. Förderung der Anschaffung emissionsärmerer SNF“ integriert sind (Jörß et al., 2010, Jörß & Degel, 2010; PAREST, 2010). Nach heutigem Stand des Wissens sind die für diese Maßnahmen angesetzten Minderungspotenziale nicht mehr aktuell, da inzwischen von deutlich späteren Zeitpunkten für die Durchsetzung der Flotten mit Fahrzeugen der EURO-Stufen 5 und 6 auszugehen ist. Auch bezüglich der Erweiterung der Lkw-Maut ist ein deutlich geringeres Minderungspotenzial Realität geworden, als bei der Entwicklung der PAREST-Referenzen angenommen wurde (PAREST, 2010). Im Stadtgebiet von Berlin werden die NO<sub>2</sub>-Abnahmen durch den Wegfall der Flughafenemissionen Tegel und Tempelhof noch verstärkt. Für das Gebiet von Brandenburg spielt die in den PAREST-Emissionsdaten zu hoch angesetzte Minderung der NO<sub>x</sub>-Verkehrsemissionen aber keine Rolle, da dort die Verkehrsemissionen des Landes Brandenburg verwendet wurden.

Die Abnahmen der PM10-Jahresmittelwerte von 2008 bis 2015 liegen in Brandenburg größtenteils zwischen 1 und 3 µg/m<sup>3</sup>. Im Vergleich zur Umgebung geringere Abnahmen werden im Bereich des Flughafens BBI berechnet, da es dort von 2008 bis 2015 wegen des Ausbaus lokal zu Erhöhungen der PM10-Emissionen kommt. Diese Emissionserhöhungen kompensieren zum Teil die durch die regionale Abnahme der PM10-Direktemissionen und der PM10-Vorläuferemissionen verursachte PM10-Immissionsminderung.

Höhere Abnahmen (größer 3 µg/m<sup>3</sup>) werden punktuell nur im Süden Brandenburgs bzw. an der Landesgrenze zu Sachsen berechnet. Da die Industrieemissionen Brandenburgs bis 2015 als unverändert angenommen wurden, müssen diese Abnahmen Emissionen betreffen, die aus der PAREST-Emissionsdatenbasis übernommen wurden (Hausbrand/Kleinverbraucher, Sonstiger Verkehr, Landwirtschaft) oder schon in Sachsen liegen. Die Minderungspotenziale betreffen damit wieder den Zeitraum 2005 bis 2015 und nicht 2008 bis 2015.

Tabelle 4-2 fasst die in Brandenburg berechneten Änderungspotenziale für die beiden Zieljahre 2010 und 2015 zusammen.

**Tabelle 4-2: Bereiche der berechneten Minderungspotenziale für Brandenburg. Bei PM10 beziehen sich die in Klammer gesetzten Minderungspotenziale auf Emissionen aus der PAREST-Emissionsdatenbasis, die von dem Basisjahr 2005 ausgeht. Weitere Erläuterungen im Text.**

| Abnahmen der Jahresmittelwerte | NO <sub>2</sub>         | PM10  |
|--------------------------------|-------------------------|---|
| 2008-2010                      | 1 - 3 µg/m <sup>3</sup> | 0.5 - 2 µg/m <sup>3</sup> (0.5 - 3 <sub>2005-2010</sub> ) |
| 2008-2015                      | 2 - 7 µg/m <sup>3</sup> | 2 - 3 µg/m <sup>3</sup> (2 - 5 <sub>2005-2015</sub> )     |

## 4.3 Anwendung FLADIS

### 4.3.1 Kombination Modell-Messung

Die Berechnung der landesweite Vorbelastung wurde, wie in Kapitel 2.3 beschrieben, mit dem System FLADIS durchgeführt. FLADIS bietet die Möglichkeit, die Flächeninformation entweder durch reine Interpolation aus den Punktmessungen abzuleiten oder durch Kopplung der Interpolationsergebnisse mit den Modellergebnissen, z. B. einer Ausbreitungsrechnung. Durch die Kombination von Interpolations- und Modellergebnissen werden insbesondere in Gebieten mit geringer Messdichte zusätzliche Informationen (z. B. Orographie, Meteorologie, Emissionsstruktur) für die Flächendarstellung genutzt. Ein Beispiel für die Kopplung von Mess- und Modelldaten ist in Abbildung 2-1 für den Jahresmittelwert von NO<sub>2</sub> im Jahr 2008 für Brandenburg dargestellt.

Die Kopplung von Interpolationsergebnissen  $E_I$  und Modellergebnissen  $E_M$  erfolgt für jeden betrachteten Zeitschritt über eine lineare Wichtungsfunktion:

$$E_{Kopp} = (1 - a) * E_I + a * E_M$$

Zur Bestimmung des Wichtungsfaktors  $a$  wird in FLADIS der Korrelationskoeffizient zwischen den gemessenen Konzentrationen und den Modellwerten an den Messstationen verwendet. Der Korrelationskoeffizient sagt jedoch allein noch nichts darüber aus, ob der Zusammenhang zwischen den Modellwerten und den Messungen signifikant ist. Daher wird zusätzlich als Signifikanztest ein Student-Test durchgeführt. Nur wenn dieser Test eine Signifikanz zeigt, wird der berechnete Korrelationskoeffizient als Wichtungsfaktor benutzt. Die Korrelation ist definiert als signifikant bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5%.

### 4.3.2 Interpolation

Als Interpolationsverfahren für die räumliche Verteilung der Messwerte bietet FLADIS verschiedene Verfahren an, für die vorliegenden Berechnungen wurde das Verfahren nach Hardy (Hardy, 1990) angewendet. Ein weiteres in FLADIS implementiertes Verfahren ist das der Optimalen Interpolation (Gandin, 1965; Cressie, 1993; Flemming, 2003), das hier beschrieben wird, da sie für die Datenassimilation verwendet wurde (siehe Kapitel 4.3.3)

Die Optimale Interpolation (OI) ist kein Interpolationsverfahren im eigentlichen Sinne, d. h., es zielt nicht auf die Wiedergabe stützstellentreuer Werte, sondern auf die Beschreibung der mittleren Feldstrukturen der darzustellenden Größe in der Skala des Interpolationsrasters. Die Wiedergabe stützstellentreuer Werte ist gegebenenfalls möglich, jedoch im Allgemeinen weder zu erwarten noch vom Verfahren zu gewährleisten. Die OI kommt aus dem Bereich der Geostatistik und wird häufig, z. B. in der Meteorologie, verwendet, um Beobachtungswerte in Modellrechnungen einfließen zu lassen, sie liefert daher nur sinnvolle Ergebnisse in Kombination mit einem Modellhintergrund.

Die Optimale Interpolation beruht auf der Theorie der Prognose stochastischer Prozesse und erlaubt es, die räumlichen Beziehungen der Messwerte untereinander zu quantifizieren. Gleichzeitig kann ein möglicher Beobachtungsfehler an den Stationen berücksichtigt werden. Während bei einer Kombination von Interpolations- und Modellergebnissen, wie in der oben beschriebenen Wichtungsfunktion, die Wichtung einheitlich für das gesamte Feld durchgeführt wird, korrigiert die OI die Modellwerte räumlich differenziert in Abhängigkeit von Struktur und Einflussbereich der Messdaten.

Die räumliche Interpolation findet bei der in FLADIS implementierten OI auf der Grundlage eines empirisch geschätzten Kovarianzmodells statt. Für die Bestimmung der empirischen Kovarianzwerte stehen die klassische Momentenmethode und eine gegenüber Ausreißern und Abweichungen von der Normalverteilung robustere Schätzung nach Cressie zur Verfügung. Die die Schätzwerte approximierende Kovarianzfunktion kann exponentiell, Gauß'schen oder sphärischen Typs sein.

Die Optimale Interpolation, wie sie in der numerischen Wettervorhersage verwendet wird, beruht meist auf der Annahme homogener statistischer Eigenschaften der Modellfelder und Beobachtungen. Diese Annahme ist für bodennahe Immissionsfelder häufig nicht gerechtfertigt. Die in FLADIS verwendete OI beruht daher auf der Arbeit von Flemming (2003), die die Besonderheiten von Immissionsdaten berücksichtigt. Flemming erfasst unter anderem die Repräsentativität der Messungen, indem er die Stationen auf der Grundlage eines hierarchischen Clusterverfahrens klassifiziert [Fle2005] und ihnen einen Einflussradius zuweist. Auf diese Weise wird der Einfluss derjenigen Messstationen reguliert, die gehäuft in belasteten Gebieten liegen und dazu dienen, kleinräumige Spitzenkonzentrationen zu erfassen. Messwerte von „Verkehrsstationen“ fließen nicht in die OI-Berechnung ein, da solche Messungen in der Regel aus dem Immissionsniveau der Umgebung herausfallen.

Das Verfahren der Optimalen Interpolation verlangt Biasfreiheit zwischen Messung und Modell an den Stationspunkten. Diese Forderung ist im Allgemeinen nicht zu erfüllen, es muss daher eine Biaskorrektur durchgeführt werden. In FLADIS wird ein für das gesamte Interpolationsgebiet homogener Bias angesetzt, der wahlweise aus dem Mittelwert der Beobachtungsincremente aller Stationen, aller Land- und Vorstadtstationen oder nur aller Landstationen bestimmt werden kann. Beobachtungsincremente sind dabei die Differenzen zwischen Messung und Modell an den Stationsorten.

### 4.3.3 Datenassimilation

Um bei der Kombination von Modell und Messung gemäß Kapitel 4.3.1 einen möglichst hohen Anteil der Modellwerte zu erhalten, bietet sich eine Kalibrierung der Modell-Daten mit den Messdaten an, die die auftretenden Differenzen zwischen Messungen und Modell deutlich reduziert.

Die Frage der Kalibrierung von Modelldaten mit Messdaten ist ein klassisches Einsatzgebiet der Datenassimilation, die hierfür z. B. in der Meteorologie routinemäßig eingesetzt wird. Die in FLADIS implementierte und in Kapitel 4.3.2 beschriebene Optimale Interpolation (OI) gehört zu den Assimilationsverfahren, die zu diesem Zweck verwendet werden.

FLADIS wurde daher um die Funktionalität der Datenassimilation auf Basis der Optimalen Interpolation erweitert und die interne FLADIS-Datenstruktur entsprechend angepasst. Dabei werden im ersten Schritt die Modelldaten durch einen OI-Lauf an die Messdaten herangezogen. Die auf diese Weise kalibrierten Modell-Daten dienen dann als Modellfeld für die eigentliche Interpolation mit Modellhintergrund zur flächenhaften Darstellung der Messwerte in FLADIS. Zur anschließenden Interpolation kann wiederum unter allen in FLADIS implementierten Verfahren frei gewählt werden. Die Parameter der Optimalen Interpolation lassen sich für den Schritt der Datenassimilation und für den Schritt der Interpolation getrennt festlegen.

#### 4.3.4 Prognose

Die Darstellung der zukünftigen landesweiten Vorbelastung wird auf der Basis der RCG-Prognoserechnungen (Kapitel 4.2.4) durchgeführt. Um die zu erwartenden Messwerte an den Stationen des Messnetzes und den Zusatzstationen konsistent zu den Modelldaten abschätzen zu können, wurde die in Stern (2006a) vorgestellte Delta-Methode in FLADIS implementiert und eingesetzt.

Die Abschätzung zukünftiger Messwerte an Stationsorten durch Modellprognosen beruht auf der Überlegung, dass eine direkte Übertragung der Prognoserechnungen auf diskrete Orte zwar schwierig ist, weil die berechneten zeitlichen und räumlichen Konzentrationsverteilungen nicht immer mit gemessenen Werten übereinstimmen, dass aber davon auszugehen ist, dass die wesentlichen ablaufenden physikalischen und chemischen Prozesse vom Modell hinreichend genau erfasst werden und daher die berechnete Immissionsänderung, die sich zwischen den Modellrechnungen für ein Basisjahr und ein Prognosejahr ergibt, zur Prognose der mittleren Änderung der Messwerte an den Stationsorten und darauf aufbauend zur Bewertung von Maßnahmen verwendet werden kann.

Dazu wird zunächst aus den Stundenwerten der Konzentrationen des Basislaufs eine klassifizierte Häufigkeitsverteilung gebildet. Anschließend wird jeder Klasse des Basislaufs eine klassenspezifische mittlere Änderung zugeordnet, die sich berechnet als Mittelwert aller Änderungen, die die dieser Klasse zugeordneten Stundenwerte des Basislaufs in der Prognoserechnung erfahren. Auf diese Weise wird der Zeit- und Ortsbezug der einzelnen Stundenwerte aufgegeben. Die zu erwartenden Messwerte können nun abgeschätzt werden, indem zu jedem einzelnen Messwert des Basisjahrs die berechnete klassenspezifische Änderung für diesen Wert addiert wird. Beobachtete Konzentrationen, die höher als der höchste berechnete Wert sind, werden nur um die der höchsten Klasse zugeordneten Änderung modifiziert. Die prognostizierte Zeitreihe behält damit die zeitliche Struktur der Basismessreihe, das Konzentrationsniveau jeder einzelnen Messung ist aber um den Betrag verändert, der durch die Prognoserechnung vorgegeben wird.

#### 4.4 Messdaten aus dem Landesmessnetz und Airbase-Daten

Als Messdaten wurden Datenlieferungen des Landesumweltamtes und des Umweltbundessamtes sowie Recherchen in den Airbase-Daten (EEA, 2011) verwendet. Die verwendeten Messstationen sind in Abbildung 4-9 dargestellt. Je nach Kenngröße lagen nur Messdaten für eine Teilmenge der dargestellten Stationen vor.

Da die Stationsdichte für stündliche PM<sub>2.5</sub>-Messungen noch recht gering ist, wurden für die vorliegenden Auswertungen die vorhandenen stündlichen PM<sub>10</sub>-Messungen mit einem stationstypischen Umrechnungsfaktor auf stündliche PM<sub>2.5</sub>-Messwerte umgerechnet. Die Umrechnungsfaktoren wurden vom Landesumweltamt anhand von Messwerten abgeleitet und sind in Tabelle 4-3 aufgeführt.

Die Station Nauen (DEBB067) weist bei bestimmten Windrichtungen hohe PM<sub>10</sub>-Konzentrationen auf, die lokal beeinflusst sind. Um diese als Hintergrundstation klassifizierte Messung trotzdem in FLADIS verwenden zu können, wurde die Zeitreihe auf der Basis räumlicher Betrachtungen bei den ausgewählten Windrichtungen modifiziert.

**Tabelle 4-3: Umrechnungsfaktoren für PM10 nach PM2.5 für verschiedene Stationstypen für das Bezugsjahr 2008**

| Stationstyp | Umrechnungsfaktor PM10 zu PM2.5 |
|-------------|---------------------------------|
| Verkehr     | 0.69                            |
| Stadt       | 0.77                            |
| Hintergrund | 0.83                            |

In Abbildung E-1 bis Abbildung E--3 im Anhang E finden sich zur Information Darstellungen der reinen Hardy-Interpolation der Messwerte.

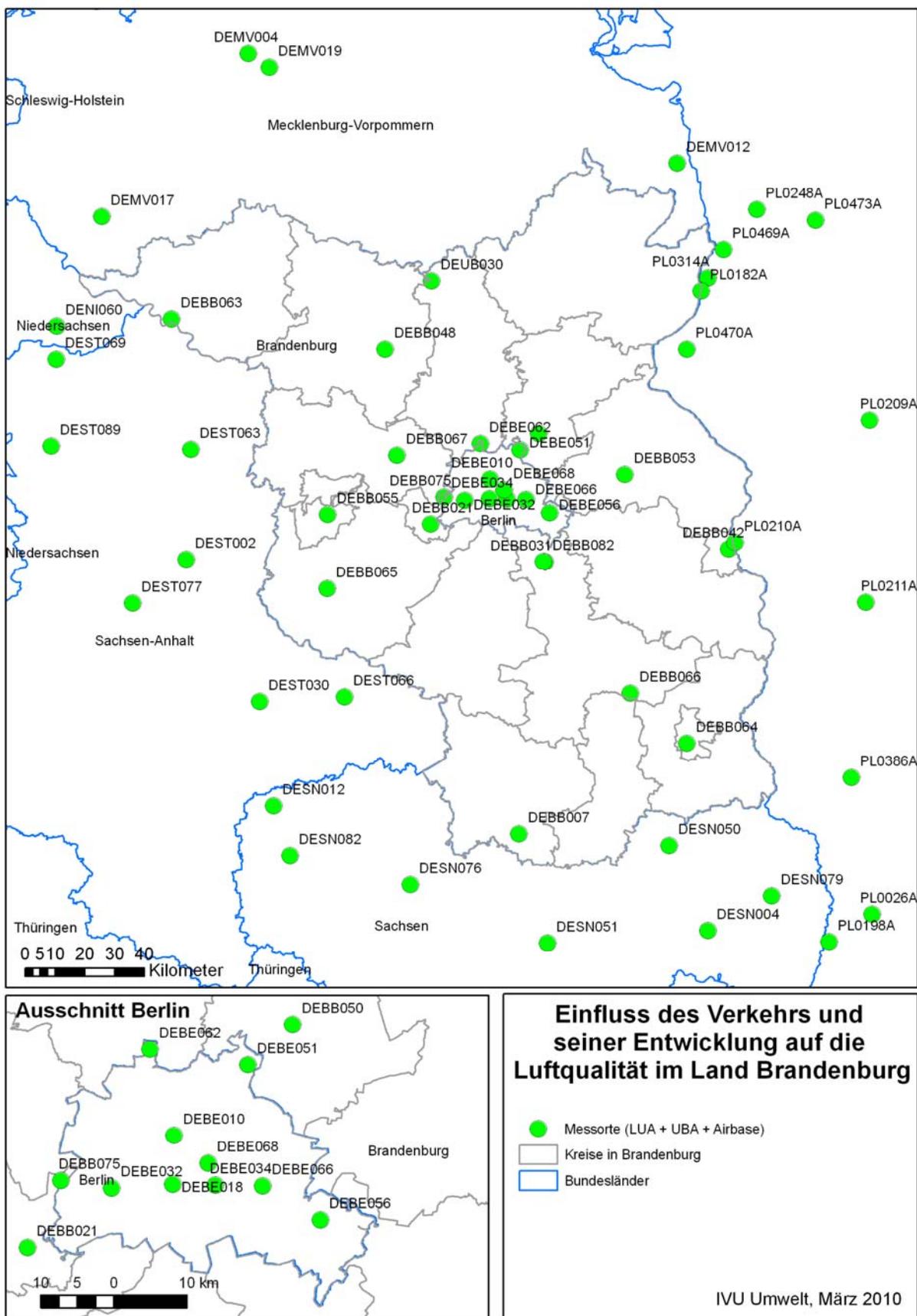


Abbildung 4-9: Lage der verwendeten Messstationen am Beispiel für NO<sub>2</sub>

## 4.5 Ergebnisse

Bei der Bestimmung der Vorbelastung mit FLADIS wurden verschiedene Parameter, wie z. B. die Auswahl der berücksichtigten Messstationen, variiert bzw. Datengrundlagen erweitert bzw. angepasst, wie z. B. die meteorologieabhängige Korrektur von Messzeitreihen einzelner Station. Die mit FLADIS berechneten flächenhaften Ergebnisse wurden gemäß der VDI-Richtlinie 4280 Blatt 5 (KRdL, 2009) mit einer Kreuzvalidierung bewertet und in Absprache mit dem Auftraggeber die optimale Einstellung gewählt.

### 4.5.1 Vorbelastung 2008

In Abbildung 4-10 ist links die Vorbelastung für den Jahresmittelwert von NO<sub>2</sub> und rechts für Ozon dargestellt. Bei NO<sub>2</sub> werden außerhalb der Städte und entfernt von Autobahnen Vorbelastungen unter 13 µg/m<sup>3</sup> ermittelt. Die Maximalwerte mit gut 27 µg/m<sup>3</sup> werden vor allem in und um Berlin erreicht. Deutlich sind die Hauptverkehrswege zu erkennen.

Beim Jahresmittelwert von Ozon ist das Bild komplementär zur NO<sub>2</sub>-Vorbelastung. Darin spiegelt sich die Tatsache wider, dass sich bei hohen NO-Konzentrationen das chemische Gleichgewicht unter Abbau von Ozon zu NO<sub>2</sub> und Sauerstoff verschiebt. Während bei NO<sub>2</sub> aber zwischen Minimum und Maximum fast ein Faktor sechs auftritt, beträgt bei Ozon der Faktor nur 1.5.

In Abbildung 4-11 sind die Jahresmittelwerte der Vorbelastung in 2008 für PM10 (links) und für PM2.5 (rechts) dargestellt. Wie zu erwarten, sind die Strukturen sehr ähnlich. Im Grenzbereich nach Nordosten treten größere Unterschiede auf, was daran liegt, dass außerhalb von Brandenburg PM10-Messungen nicht in PM2.5-Messungen umgerechnet wurden. Der Wertebereich der flächenhaften PM10-Darstellung umfasst den Bereich von 12.7 µg/m<sup>3</sup> bis 24.8 µg/m<sup>3</sup>. Die Maxima treten in Berlin, südlich von Berlin und im Bereich Frankfurt/Oder auf. Bei PM2.5 liegen die Werte zwischen 10.2 µg/m<sup>3</sup> und 18.4 µg/m<sup>3</sup>.

In Tabelle 4-4 ist für die vier Kenngrößen der jeweilige Modellanteil gemäß Kapitel 4.3.1 sowie die Qualitätsdaten der Kreuzvalidierung nach VDI-Richtlinie 4280 Blatt 5 angegeben. Bei NO<sub>2</sub> ist das Modell mit annähernd ¾ an der Darstellung beteiligt. Bei den anderen Kenngrößen liegt der Modellanteil gut über der Hälfte. Der mittlere relative Fehler (MRA) ist bei Ozon am kleinsten, was auch eine Folge der geringen Messdichte ist.

**Tabelle 4-4: Kenngrößen der FLADIS-Berechnungen für 2008**

| Größe                                 | Modellanteil | Kreuzvalidierung nach VDI-Richtlinie 4280 Blatt 5 (KRdL, 2009) |        |
|---------------------------------------|--------------|--|--------|
|                                       |              | RMSQ   | MRA    |
| NO <sub>2</sub>                       | 73.5 %       | 2.03 µg/m <sup>3</sup>   | 13.6 % |
| O <sub>3</sub>                        | 56.0 %       | 1.86 µg/m <sup>3</sup>   | 3.1 %  |
| PM10                                  | 53.8 %       | 2.38 µg/m <sup>3</sup>   | 8.7 %  |
| PM2.5 (mit umgerechneten PM10-Werten) | 54.2 %       | 1.20 µg/m <sup>3</sup>   | 6.7 %  |

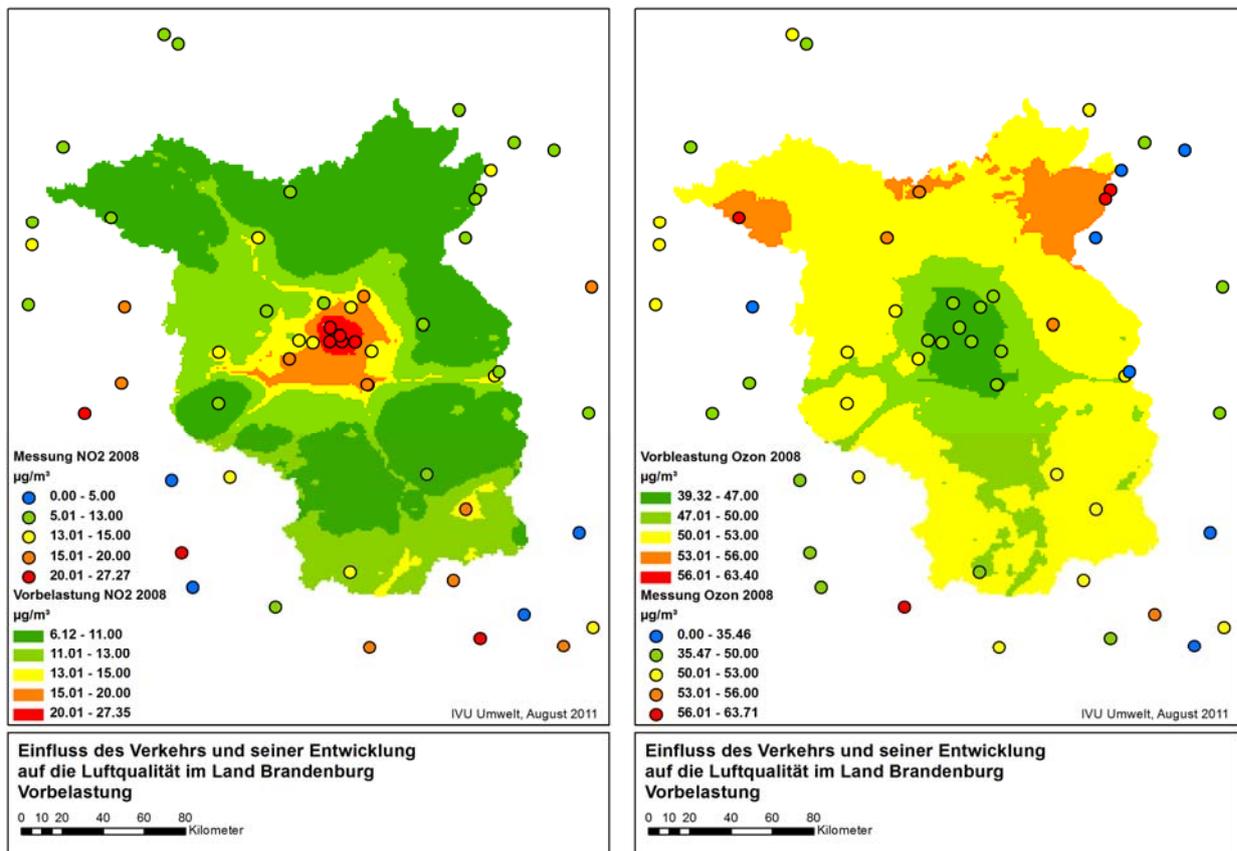


Abbildung 4-10: Vorbelastung 2008 für den NO<sub>2</sub>- (links) und O<sub>3</sub>-Jahresmittelwert (rechts)

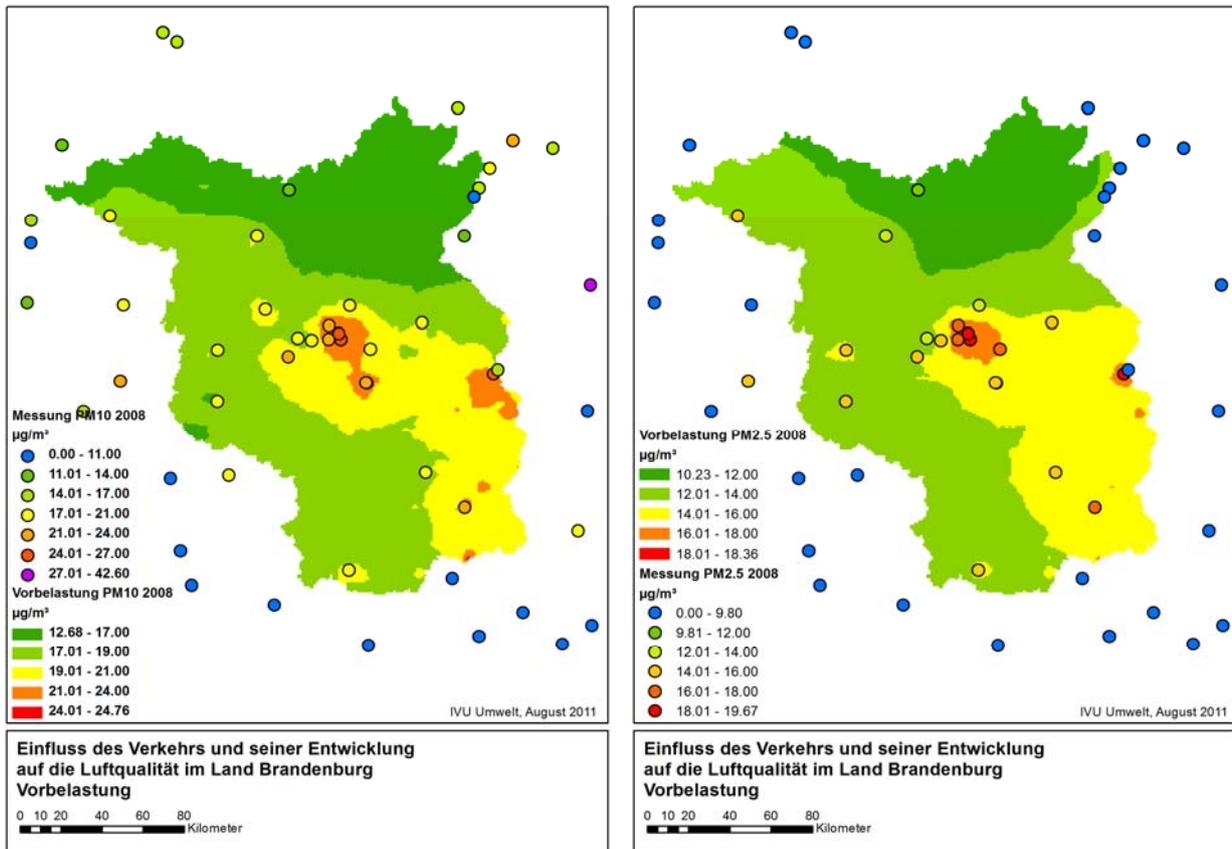


Abbildung 4-11: Vorbelastung 2008 für den PM10- (links) und PM2.5-Jahresmittelwert (rechts)

#### 4.5.2 Prognose

Prognosen der Vorbelastung wurden gemäß Kapitel 4.3.4 bestimmt. Dabei wurden in einer ersten Berechnung die Messdaten aus dem Jahr 2008 verwendet, mit Hilfe der Delta-Methode auf die Jahre 2010 und 2015 fortgeschrieben und mit den RCG-Ergebnissen für das jeweilige Prognosejahr zur Prognose der Vorbelastung kombiniert.

Die aktuell vorliegenden Messungen für 2010 zeigen aber, dass sich die meteorologische Situation 2010 deutlich ungünstiger darstellt als die im Jahr 2008, so dass vor allem die PM10-Konzentrationswerte 2010 höher liegen, als es die Prognosen erwarten ließen. Es wird angenommen, dass 2008 eher einen best case und 2010 einen worst case im Sinne der Luftqualität darstellt.

Die Ergebnisse der ersten Berechnung werden deshalb im Folgenden als best case bezeichnet. Mit einer weiteren Berechnung wurde die Vorbelastung für die Prognosejahre 2010 und 2015 unter Berücksichtigung der Messdaten 2010 ermittelt und als sogenannter worst case dargestellt. Dabei wurden die Messreihen mit Bezugsjahr 2008 mit Hilfe der Jahresmittelwerte der Messungen 2010 auf das Bezugsjahr 2010 skaliert. Das Ergebnis wird im Folgenden als „Skalierte Messung 2010“ bezeichnet. Für die Prognose 2010 wurden die skalierten Messungen 2010 in FLADIS mit den RCG-Modellergebnissen 2010 zur Vorbelastung 2010 im worst case kombiniert. Dabei wurden nur diejenigen Messstationen berücksichtigt, für die sowohl 2008 als auch 2010 Messdaten vorlagen.

In Tabelle 4-5 ist für drei Kenngrößen der jeweilige Modellanteil gemäß Kapitel 4.3.1 sowie die Qualitätsdaten der Kreuzvalidierung nach VDI-Richtlinie 4280 Blatt 5 (KRdL, 2009) für die Prognose 2010 im worst case angegeben. Im Vergleich zur Tabelle 4-4 liegt für NO<sub>2</sub> und O<sub>3</sub> der Modellanteil niedriger und die Fehlermaße entsprechend höher. Die Verschlechterungen sind aber dabei relativ gering. Für PM10 liegt der Modellanteil etwas höher, die Fehlermaße liegen etwas niedriger als in Tabelle 4-4.

**Tabelle 4-5: Kenngrößen der FLADIS-Berechnungen für die Vorbelastung 2010 (Basis Messdaten 2008, skaliert auf 2010)**

| Größe           | Modellanteil | Kreuzvalidierung nach VDI-Richtlinie 4280 Blatt 5 (KRdL, 2009) |        |
|-----------------|--------------|--|--------|
|                 |              | RMSQ   | MRA    |
| NO <sub>2</sub> | 69.3 %       | 2.59 µg/m <sup>3</sup>   | 16.7 % |
| O <sub>3</sub>  | 53.3 %       | 2.34 µg/m <sup>3</sup>   | 3.5 %  |
| PM10            | 54.4 %       | 1.48 µg/m <sup>3</sup>   | 5.0 %  |

Für die Prognose 2015 im worst case wurden die skalierten Messungen 2010 verwendet und mit Hilfe der Delta-Methode für 2015 fortgeschrieben. Für die Delta-Methode wurden dabei die Differenzen der RCG-Modellergebnisse 2015 und 2010 verwendet. Die auf 2015 fortgeschriebenen skalierten Messungen 2010 werden in den folgenden Abbildungen als „Virtuelle Messung 2015“ bezeichnet. Darauf und auf den RCG-Modellergebnissen 2015 basieren die Vorbelastungen 2015 im worst case. Tabelle 4-6 gibt eine Übersicht über die beiden Prognosevarianten best case und worst case und die jeweils verwendeten Verfahren bzw. Eingangsdaten.

**Tabelle 4-6: Verfahren und Eingangsdaten der Prognosevarianten**

|      | best case   | worst case   |
|------|---|--|
| 2010 | Delta-Methode:<br>- Messdaten 2008<br>- RCG-Ergebnisse Basisjahr 2008<br>- RCG-Ergebnisse Prognosejahr 2010<br><br>FLADIS-Kopplung:<br>- Ergebnis der Delta-Methode<br>- RCG-Ergebnisse Prognosejahr 2010 | FLADIS-Kopplung:<br>- Messdaten 2008, skaliert auf 2010 mit Hilfe der gemessenen JMW 2010<br>- RCG-Ergebnisse Prognosejahr 2010  |
| 2015 | Delta-Methode:<br>- Messdaten 2008<br>- RCG-Ergebnisse Basisjahr 2008<br>- RCG-Ergebnisse Prognosejahr 2015<br><br>FLADIS-Kopplung:<br>- Ergebnis der Delta-Methode<br>- RCG-Ergebnisse Prognosejahr 2015 | Delta-Methode:<br>- Messdaten 2008, skaliert auf 2010 mit Hilfe der gemessenen JMW 2010<br>- RCG-Ergebnisse Basisjahr 2010<br>- RCG-Ergebnisse Prognosejahr 2015<br><br>FLADIS-Kopplung:<br>- Ergebnis der Delta-Methode<br>- RCG-Ergebnisse Prognosejahr 2015 |

In Abbildung 4-12 bis Abbildung 4-14 werden die Ergebnisse der Bestimmung der Vorbelastung im worst case für die Prognosejahre 2010 und 2015 zusammen mit den skalierten bzw. virtuellen Messungen für NO<sub>2</sub>, Ozon und PM10 dargestellt. In Anhang F finden sich die Differenzen der prognostizierten Vorbelastungen 2010 und 2015 zur Vorbelastungssituation 2008 bzw. zwischen den prognostizierten Vorbelastungen 2010 und 2015 für den worst case.

Für PM10 wurde zusätzlich beispielhaft eine mittlere Situation aus best case und worst case ausgewertet. Abbildung 4-15 und Abbildung 4-16 zeigen den best case, den Mit-

telwert aus best case und worst case sowie den worst case nebeneinander, jeweils für die Jahre 2010 und 2015. Der abgebildete Mittelwert entspricht dem arithmetischen Mittel aus best case und worst case, sowohl für die Vorbelastung als auch für die virtuellen bzw. skalierten Messungen.

Ein Vergleich der Messwerte von ländlichen und vorstädtischen Stationen in Brandenburg der Jahre 2008 und 2010 zeigt für PM<sub>10</sub> im Jahr 2010 im Mittel ca. 4 µg/m<sup>3</sup> höhere Werte als 2008. In der Spitze beträgt der Unterschied 8 µg/m<sup>3</sup> an der Station Elsterwerda. Bei NO<sub>2</sub> treten vereinzelte Minderungen von bis zu 1 µg/m<sup>3</sup> auf und die Zunahmen reichen bis 3 µg/m<sup>3</sup>. Im Mittel bleibt das Niveau gleich mit einer knappen Erhöhung von 0.3 µg/m<sup>3</sup>. Die Bandbreite dieser Unterschiede in den Messungen findet sich auch in den Minimal- und Maximalwerten des worst case und des best case der modellierten Vorbelastung für 2010 wieder.

Die Ergebnisse der FLADIS-Rechnungen dienen als Vorbelastungswerte für die Prognosen der landesweiten Screeningberechnungen für NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub> in Kapitel 5.4.3. Die Screeningberechnungen wurden sowohl für den best case als auch für den worst case der Vorbelastung durchgeführt. Für PM<sub>10</sub> wurde zusätzlich der mittlere Fall der Vorbelastung berücksichtigt.

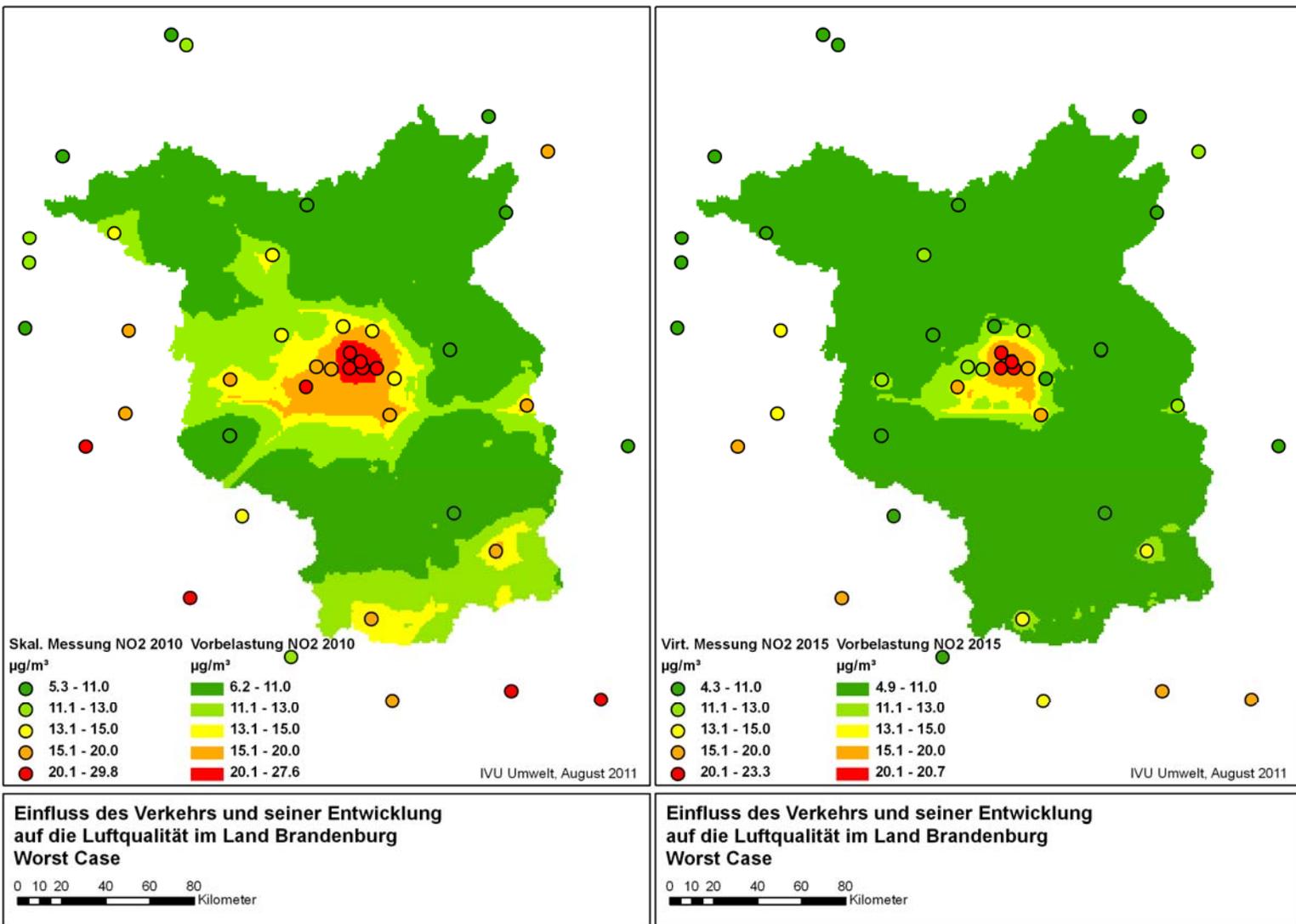
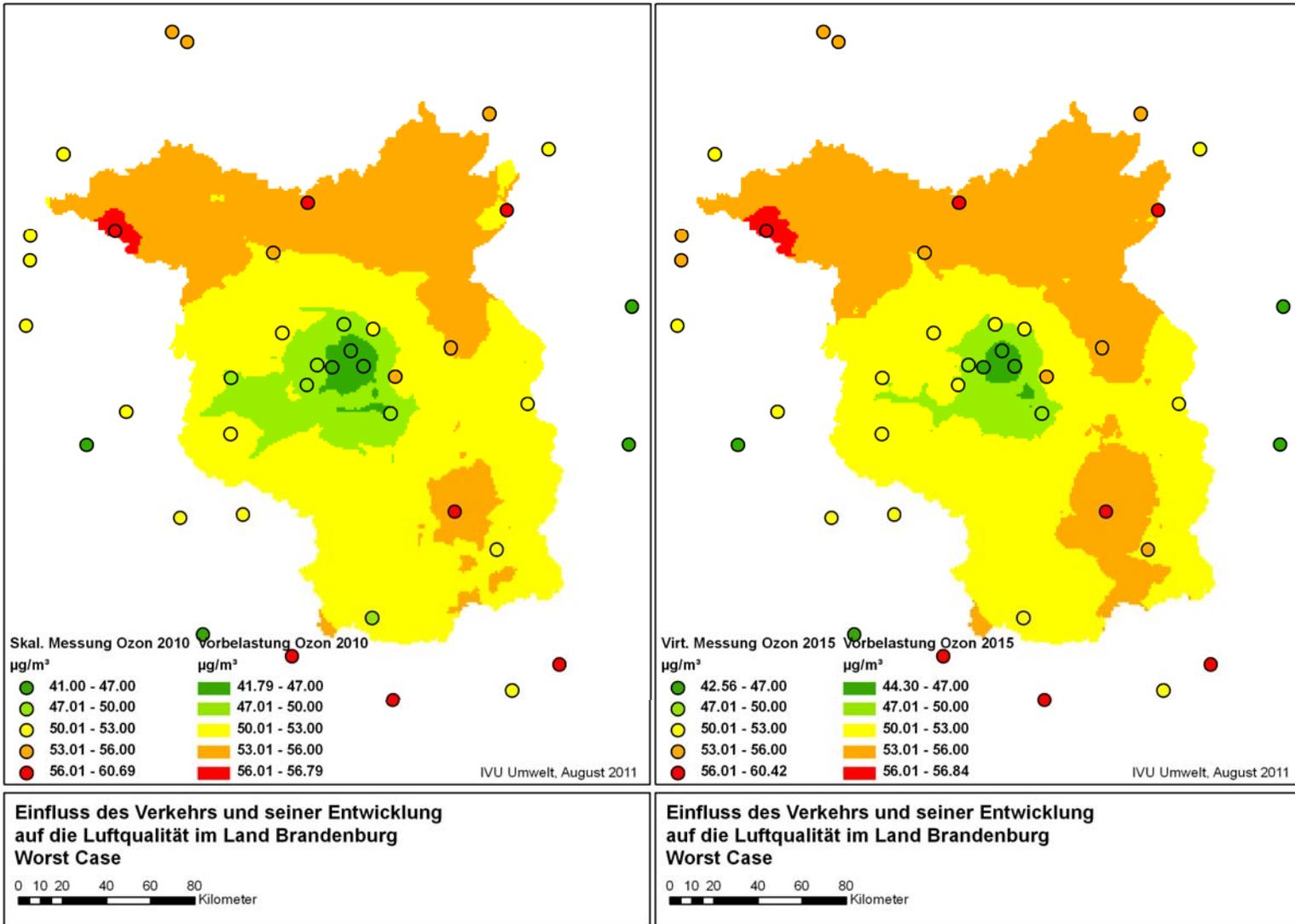


Abbildung 4-12: NO<sub>2</sub>-Vorbelastung für 2010 (oben) und 2015 (unten) im worst case. Links: Differenz der Vorbelastung zur Vorbelastungssituation 2008. Rechts: skalierte bzw. virtuelle Messungen.



**Abbildung 4-13: Ozon-Vorbelastung für 2010 (oben) und 2015 (unten) im worst case. Links: Differenz der Vorbelastung zur Vorbelastungssituation 2008. Rechts: skalierte bzw. virtuelle Messungen.**

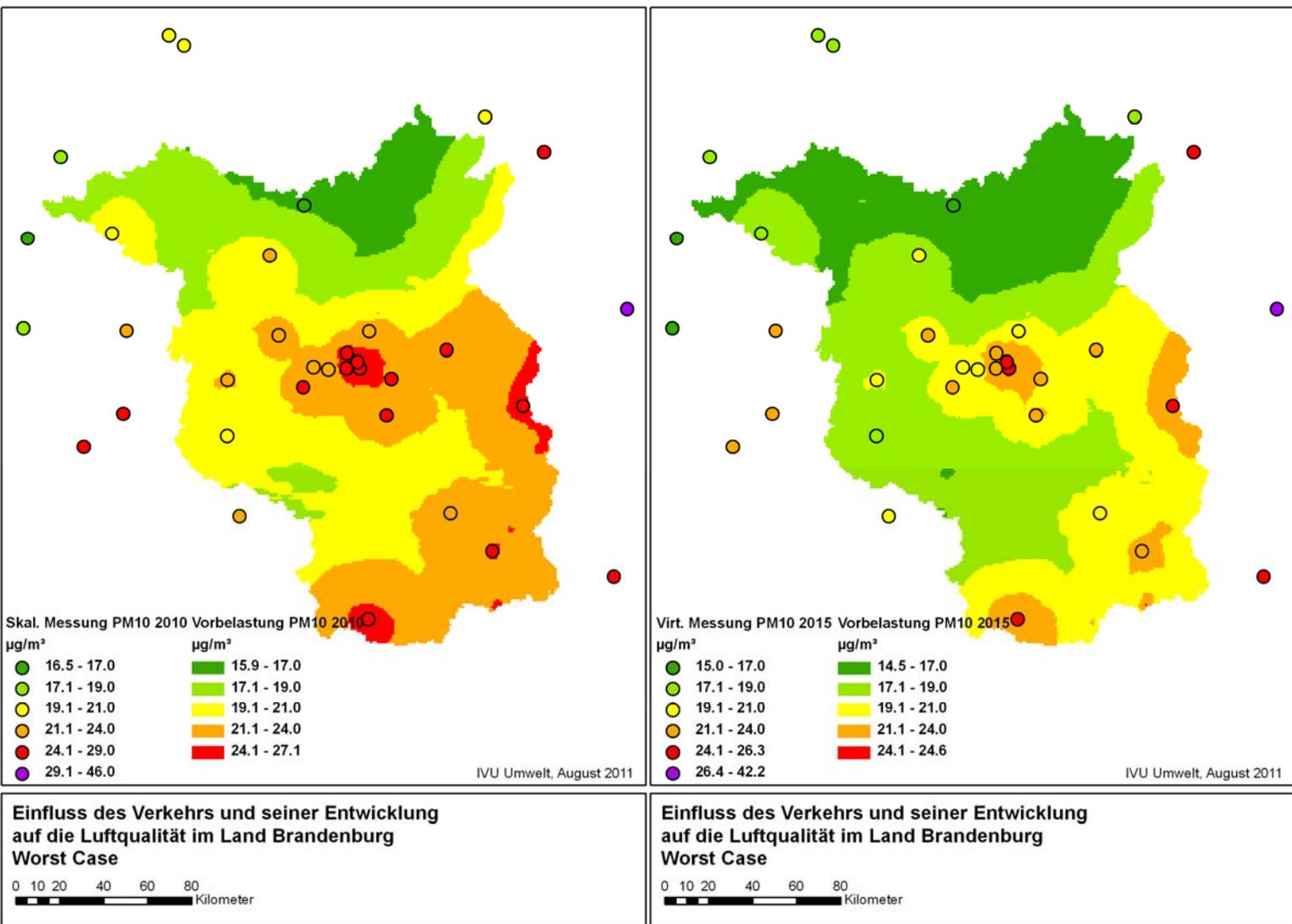
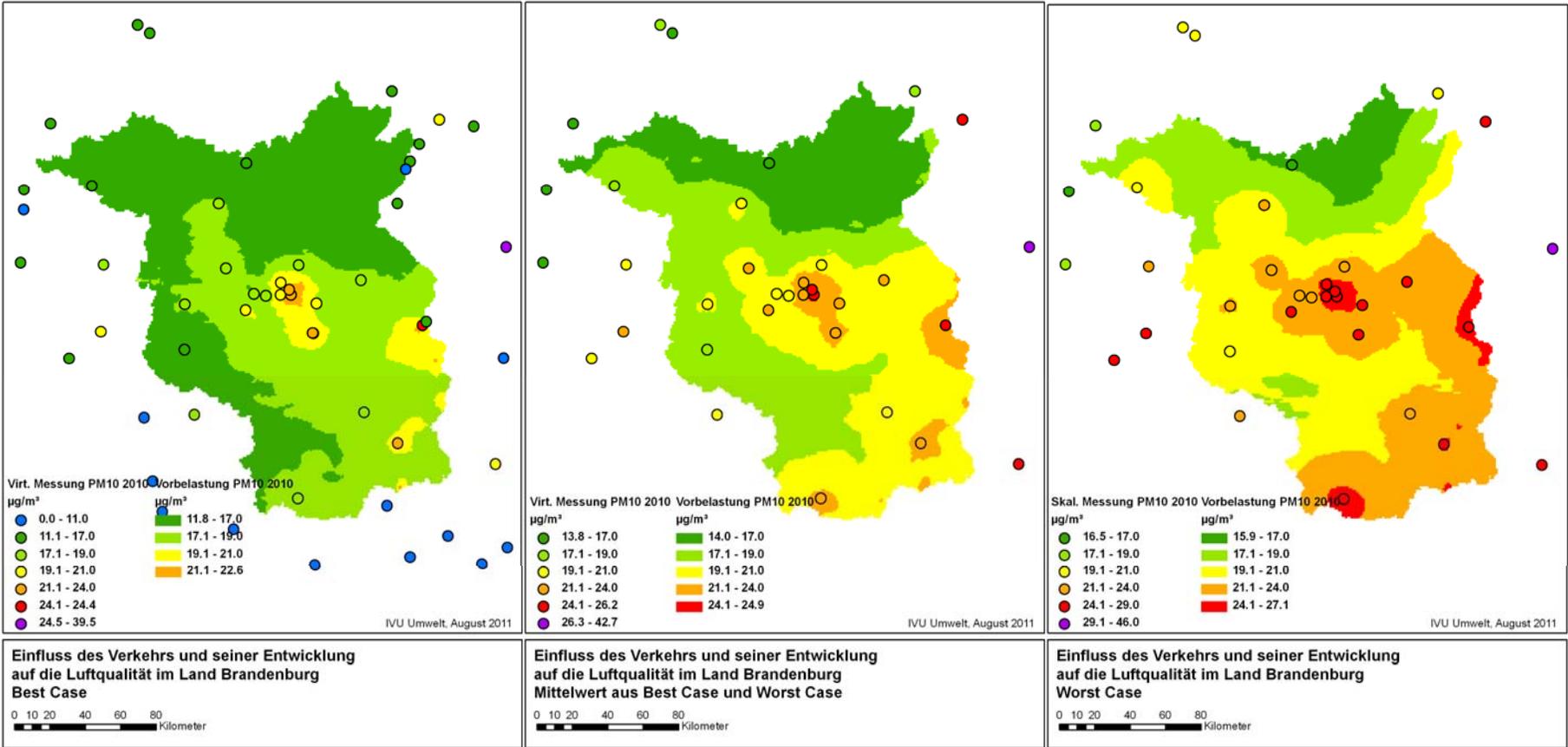


Abbildung 4-14: PM10-Vorbelastung für 2010 (oben) und 2015 (unten) im worst case. Links: Differenz der Vorbelastung zur Vorbelastungssituation 2008. Rechts: skalierte bzw. virtuelle Messungen.



**Abbildung 4-15: PM10-Vorbelastung für best case, Mittelwert aus best case und worst case sowie worst case im Prognosejahr 2010**

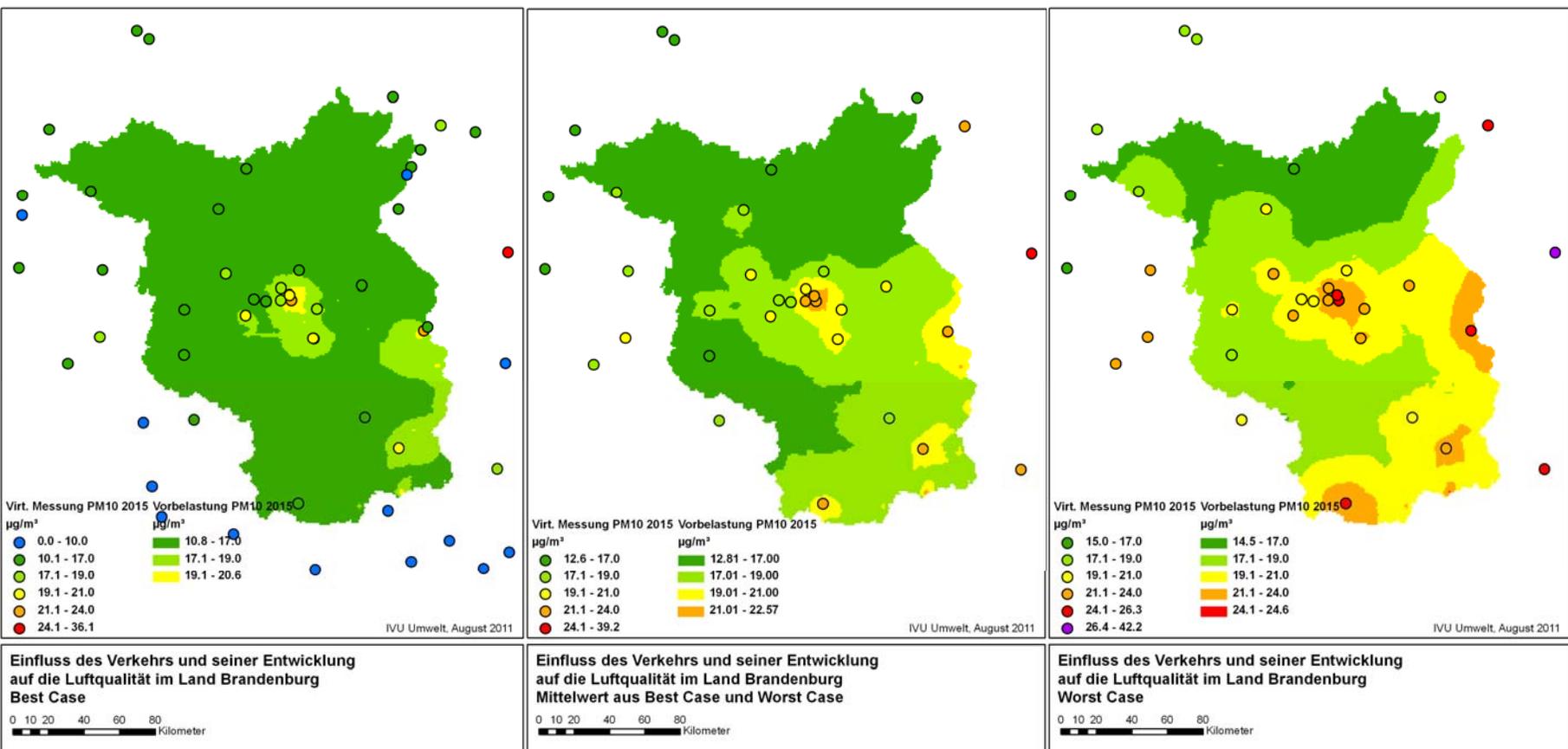


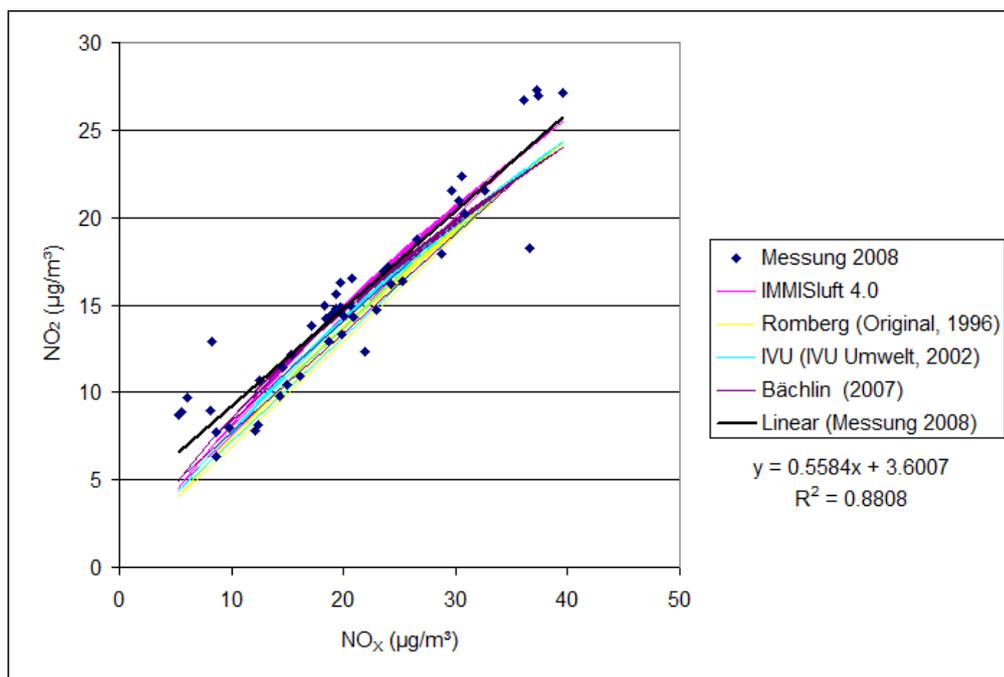
Abbildung 4-16: PM10-Vorbelastung für best case, Mittelwert aus best case und worst case sowie worst case im Prognosejahr 2015

### 4.5.3 Vorbelastung NO<sub>x</sub>

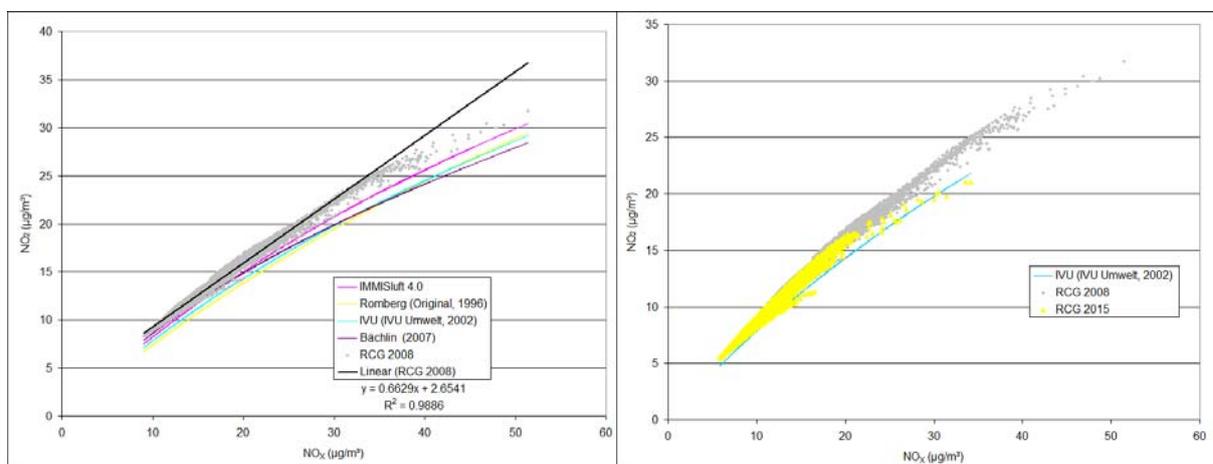
Für die Berechnung der NO<sub>2</sub>-Gesamtbelastung im Screening gemäß Kapitel 2.4.2 ist neben der Angabe der NO<sub>2</sub>-Vorbelastung auch die Informationen der NO<sub>x</sub>-Vorbelastung erforderlich. Für die ergänzten Methode der Prognose mit Berücksichtigung der Messwerte aus 2010 lagen für diesen Zeitraum nicht alle NO<sub>x</sub>-Messdaten vor. Deshalb wurde aus Gründen der Konformität die NO<sub>x</sub>-Vorbelastungswerte aus den berechneten NO<sub>2</sub>-Vorbelastungen ermittelt.

Das dieses Verfahren zu plausiblen Ergebnissen führt, wird aus den folgenden Auswertungen deutlich. Abbildung 4-17 zeigt den Zusammenhang zwischen gemessenen NO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwerten an den Hintergrundstationen im Jahr 2008. Zusätzlich sind die verschiedene Parametrisierungen des Romberg-Ansatzes eingezeichnet. Es wird deutlich, dass im vorliegenden Konzentrationsbereich alle Rombergansätze sehr ähnlich sind und sich die Messdaten gut durch die dargestellten Rombergansätze repräsentieren lassen. Selbst eine lineare Regression, die in der Abbildung eingezeichnet ist, hat einen Erklärungswert R<sup>2</sup> von 88 %.

In Abbildung 4-15 ist links eine zur Abbildung 4-17 analoge Darstellung für die RCG Modellwerte für NO<sub>2</sub> und NO<sub>x</sub> für das Bezugsjahr 2008 dargestellt. Für dieses Jahr lagen die NO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Messwerte vollständig vor. Auch hier werden die NO<sub>2</sub>-Werte gut durch die Rombergansätze repräsentiert. Die Ableitung der NO<sub>x</sub>-Vorbelastung aus den NO<sub>2</sub>-Vorbelastungswerten mittels eines Romberg-Ansatzes ist entsprechend dieser Auswertungen konservativ, da tendenziell höhere NO<sub>x</sub>-Vorbelastungswerte errechnet werden, als es das Modell RCG ausgibt. In Abbildung 4-15 ist auf der rechten Seite eine Gegenüberstellung der rasterbezogenen Konzentrationspaare für NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub> der Modellrechnungen für 2008 und für 2010 dargestellt. Es wird deutlich, dass sich das NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis dabei nur geringfügig verschiebt. Die NO<sub>x</sub>-Vorbelastung wurde im Folgenden nach dem Romberg-Ansatz in der Parametrisierung nach IVU (2002) berechnet.



**Abbildung 4-17: Zusammenhang zwischen gemessenen NO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub>-Jahresmittelwerten 2008 an den Hintergrundstationen und entsprechenden Rombergansätzen**



**Abbildung 4-18: Zusammenhang zwischen mit RCG modellierten Rasterimmissionen NO<sub>2</sub>- und NO<sub>x</sub> für 2008 (links) und 2015 (rechts) und Rombergansatz nach IVU (2002)**



## 5 Landesweites Screening

### 5.1 Methode

Die Berechnung der Gesamtbelastung für das bebaute Hauptstraßennetz wurde, wie in Kapitel 2.4 beschrieben, mit dem Programm IMMIS<sup>luft</sup> durchgeführt.

Der Ablauf der Modellierung gliedert sich in

- die Bildung von Straßenabschnitten mit einer Aufbereitung der Attribute zur Straßenraumgeometrie, für die Berechnungen durchgeführt werden (Kapitel 5.2),
- die Aufbereitung und räumlichen Zuordnung von meteorologischen Eingangsdaten (Kapitel 5.3) und
- der Durchführung und Auswertung der Screeningberechnungen (Kapitel 5.4).

### 5.2 Abschnittsbildung

Zur Berechnung der Zusatzbelastung im besiedelten Straßenraum mit dem Screening-Modell IMMIS<sup>luft</sup> müssen als Eingangsdaten bebauungs- und verkehrshomogene, gerade Abschnitte vorliegen, die zusätzlich zu den Emissionsangaben die folgenden Attribute aufweisen müssen:

- Höhe der Randbebauung,
- Breite des Straßenraums (Abstand zwischen linker und rechter Randbebauung bzw. doppelter Bebauungsabstand bei einseitiger Bebauung) und
- Baulückenanteil (Porosität).

Zusätzlich müssen die Abschnitte für die Modellierung mindestens doppelt so lang wie breit sein (Längen-Breiten-Kriterium).

Die für die Datenaufbereitung der oben genannten Geometrieparameter notwendige Datengrundlage wurde vom Auftraggeber als Geodatenätze zur Verfügung gestellt und umfasst.

- das Straßennetz (USDB 2009),
- das 3D-Gebäudemodell (LOD1) sowie
- das Höhenmodell (DGM25).

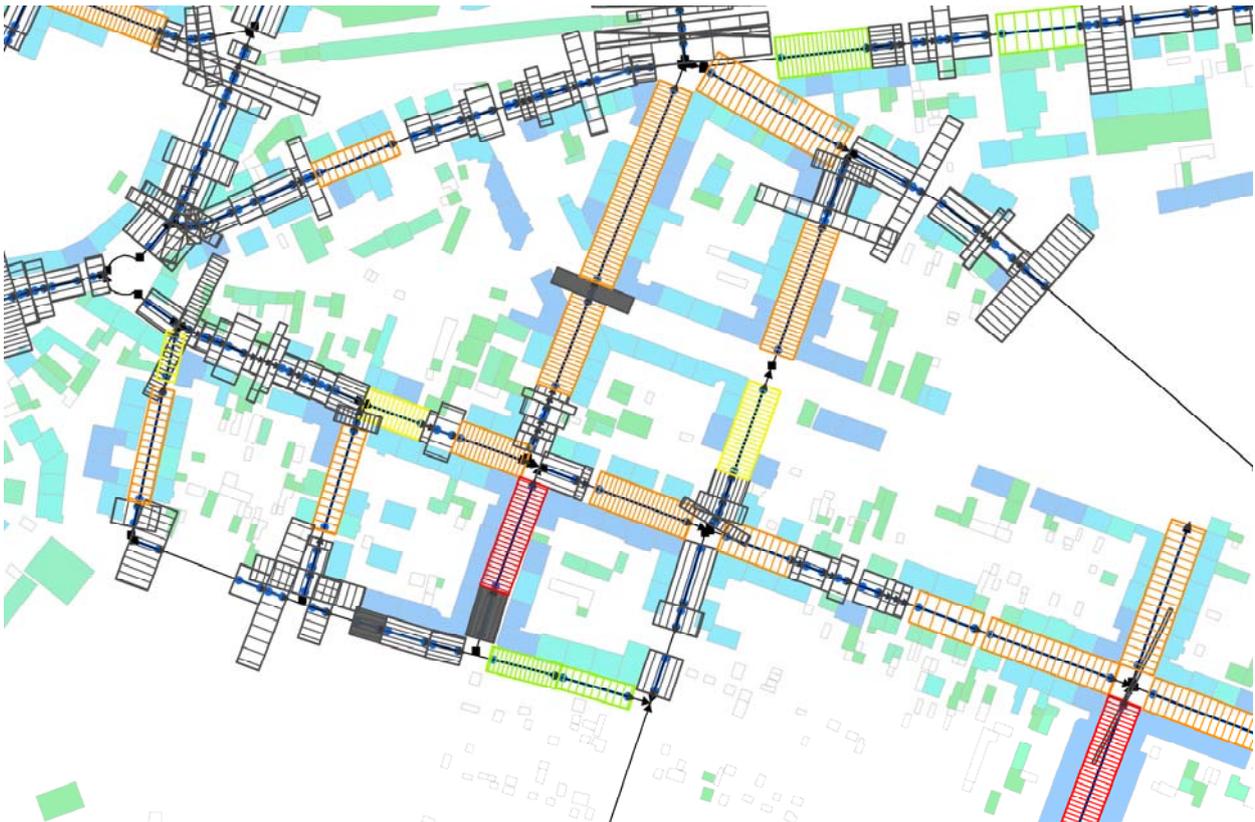
Anhand des Höhenmodells lassen sich die für das verwendete Verfahren der Emissionsberechnung notwendigen Steigungen der Straßenabschnitte ableiten.

Zur Bildung von IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitten wurde das Programmwerkzeug IMMIS<sup>build</sup> (IVU Umwelt, 2007) eingesetzt, das ein halbautomatisches GIS-gestütztes Verfahren beinhaltet. In einem ersten Schritt werden Bebauungsdaten (Höhe, Breite und bebaute Länge) für Strassenteilabschnitte bestimmt (Teilabschnittserstellung).

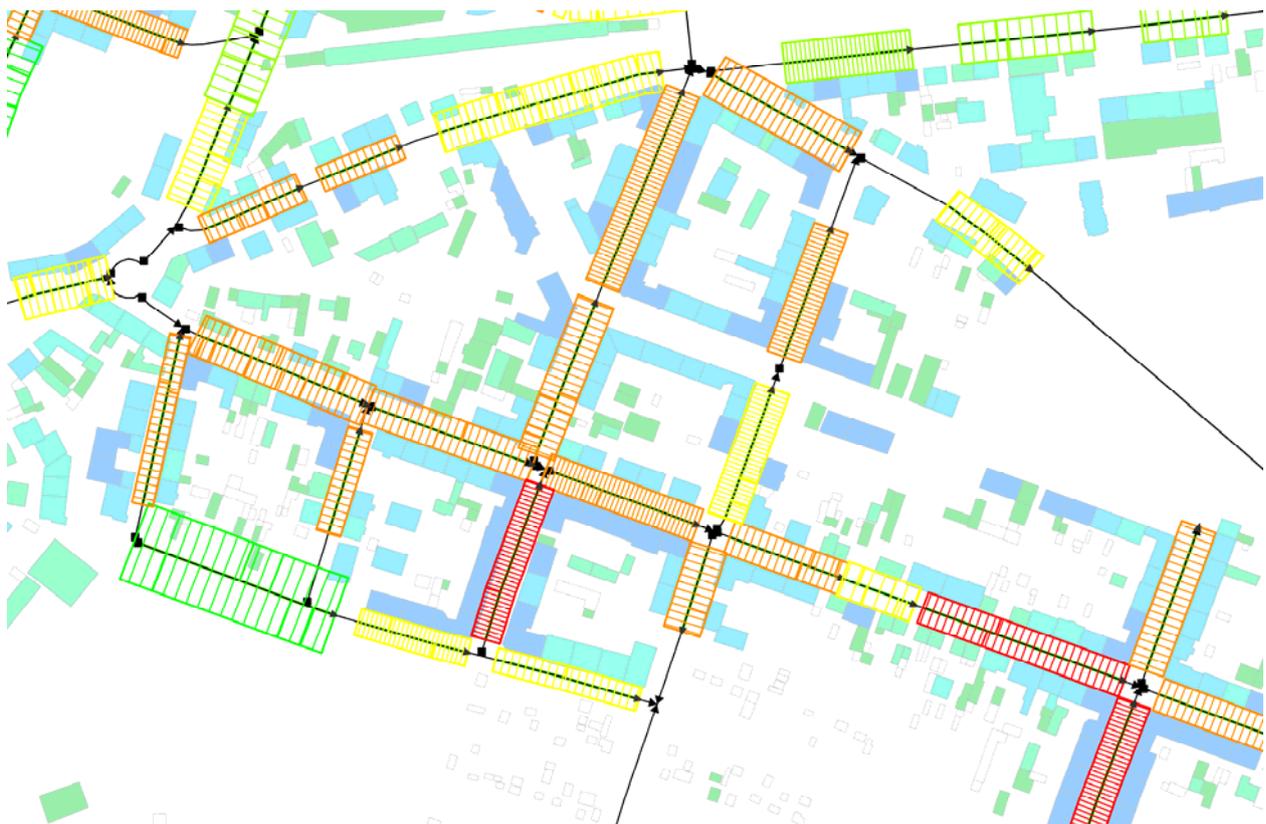
Nachfolgend können diese Teilabschnitte zu größeren, IMMIS<sup>luft</sup>-konformen Abschnitten zusammengefasst werden. Dabei ergeben sich für den Bearbeiter bezüglich der Auswahl und der Anzahl der zu aggregierenden Teilabschnitte entsprechende Freiheitsgrade. Diese können durch eine „Vorab-Berechnung“ der Immissionssituation aller in Frage kommenden Kombinationen eingeengt werden. Ziel des Verfahrens ist es, innerhalb eines verkehrshomogenen Straßenabschnitts die Strecke auszugeben, die bei normier-

ten Emissionsbedingungen die höchste Immission aufweist. Dadurch wird dieser Aggregationsschritt objektiviert.

Um später ein möglichst geschlossenes Bild der Immissionssituation entlang der Straßen zu erhalten, wurden zusätzlich alle weiteren zusammenfassbaren Teilabschnitte als IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitt ausgegeben. Ein Beispiel dieses Bearbeitungsschrittes zeigen Abbildung 5-1 und Abbildung 5-2.



**Abbildung 5-1:** Darstellung von Teilabschnitten als Ergebnis der IMMIS<sup>build</sup>-Teilabschnittserstellung (grau schraffierte Flächen: zu kurze Teilabschnitte; bunte schraffierte Flächen: Teilabschnitte, die bereits dem Längen-Breiten-Kriterium vom IMMIS<sup>luft</sup> entsprechen, Farbe der Schraffur steht für die Porosität (grün hohe Porosität, rot geringe Porosität); blau-grüne Flächen in Vollfarbe: Gebäude mit Höhe > 4 m nach Höhe gefärbt)



**Abbildung 5-2: Darstellung von zusammengefassten Teilabschnitten mit IMMIS<sup>build</sup> (Legende wie Abbildung 5-1)**

Ziel der Abschnittsbildung für eine Screening-Untersuchung ist es, die für die Immissionsverhältnisse ungünstigsten Abschnitte zu identifizieren. Diese Bereiche sind durch stark reduzierte Austauschbedingungen der Straßenschlucht mit der Umgebung gekennzeichnet, die im Wesentlichen zunehmen, je höher und schmaler die Straßenschlucht ist. Weiter ist der Anteil der Bebauungslücken bzw. die Porosität maßgeblich. Da bei der Berechnung der Porosität neben der Bebauungslänge auch die Länge und Breite des Abschnitts eingehen, wird die Porosität bei gleichbleibender Bebauungsstruktur immer kleiner, je länger ein Abschnitt wird.

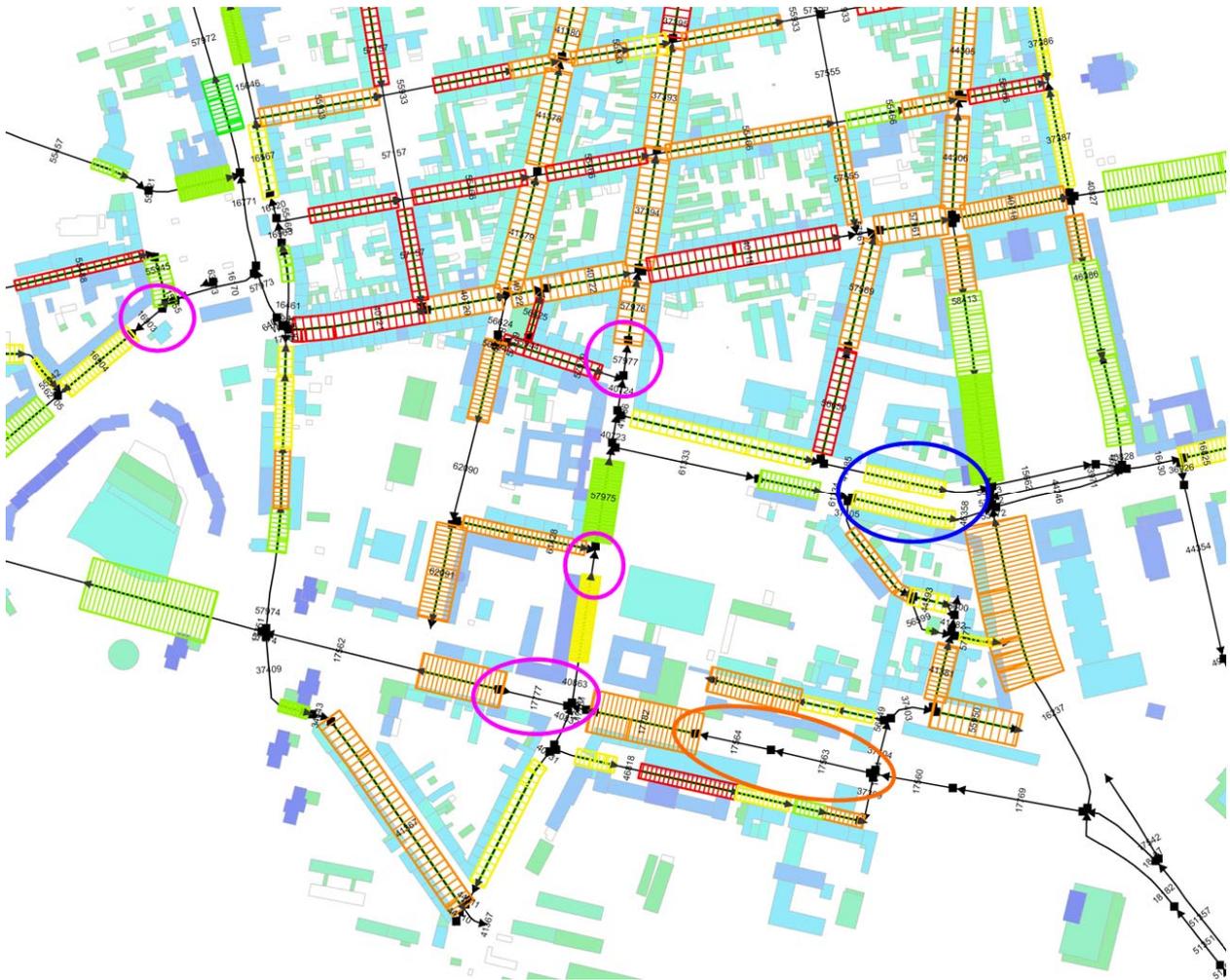
Dem gegenüber steht eine maximale Länge, über die ein Abschnitt gebildet werden kann. Sie wird bestimmt durch die Einteilung in verkehrlich homogene Bereiche. Diese werden im Straßennetz-Geodatenatz als Linie mit eindeutiger ID identifiziert. Diese Annahme muss getroffen werden, da ansonsten keine Informationen über den Wechsel verkehrlicher Eigenschaften entlang eines Straßenzugs vorliegen würden.

### 5.2.1 Geometrie des Ursprungsnetzes

In Abbildung 5-3 wird gezeigt, dass die Aufteilung der verkehrlich homogenen Bereiche des Ursprungsnetzes bei der Abschnittsbildung ein begrenzender Faktor ist. In den gekennzeichneten Gebieten ist zu erkennen, dass, obwohl keine Verkehrszunahme bzw. -abnahme durch kreuzende Strassen zu erwarten ist, Abschnitte für die IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnittsbildung verkehrlich unterschieden werden, da sie eine unterschiedliche ID im Ursprungsnetz haben. Es können daher die Abschnitte nicht bis zum tatsächlichen Ende der Schlucht gebildet werden (siehe pinkfarbene Kreise).

Weiter können durch kurze Abschnitte im Ursprungsnetz oft keine IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitte ausgewiesen werden, wenn für den Ursprungsabschnitt selbst bereits das Längen-Breiten-Kriterium von IMMIS<sup>luft</sup> (Länge > 2 x Bebauungsabstand) nicht erfüllt ist (siehe orangefarbener Kreis).

Schließlich hängt die Abschnittsbildung auch von der Linienführung selbst ab. Sind richtungstrennte Fahrbahnen separat digitalisiert (siehe blauer Kreis), so kommt es im dargestellten Fall zur Ausweisung von zwei halboffenen Abschnitten mit einem geringeren Bebauungsabstand mit richtungsbezogenen Verkehrszahlen für jede Seite. Im Falle der Repräsentation des Netzabschnittes als Mittellinie, würde die Erfassung zwar einen breiteren, aber geschlossen bebauten Abschnitt ergeben, in dem die Verkehrsbelastung für beide Richtungen aufsummiert wäre.



**Abbildung 5-3: Einfluss der Digitalisierung auf die Abschnittsbildung (Netzdigitalisierung Anfang ■, Ende ▶)**

## 5.2.2 Lücken in den Bebauungsdaten

Ein weiterer Problempunkt bei der Erstellung der Abschnitte sind fehlende Gebäudedaten. Abbildung 5-4 zeigt einen Ausschnitt von Potsdam. Im hinterlegten Luftbild ist eine dichte Bebauung gut erkennbar. In den markierten Bereichen fehlen entsprechende Gebäudeinformationen im 3D-Gebäudemodell und lassen so eine Bildung von IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitten nicht zu.

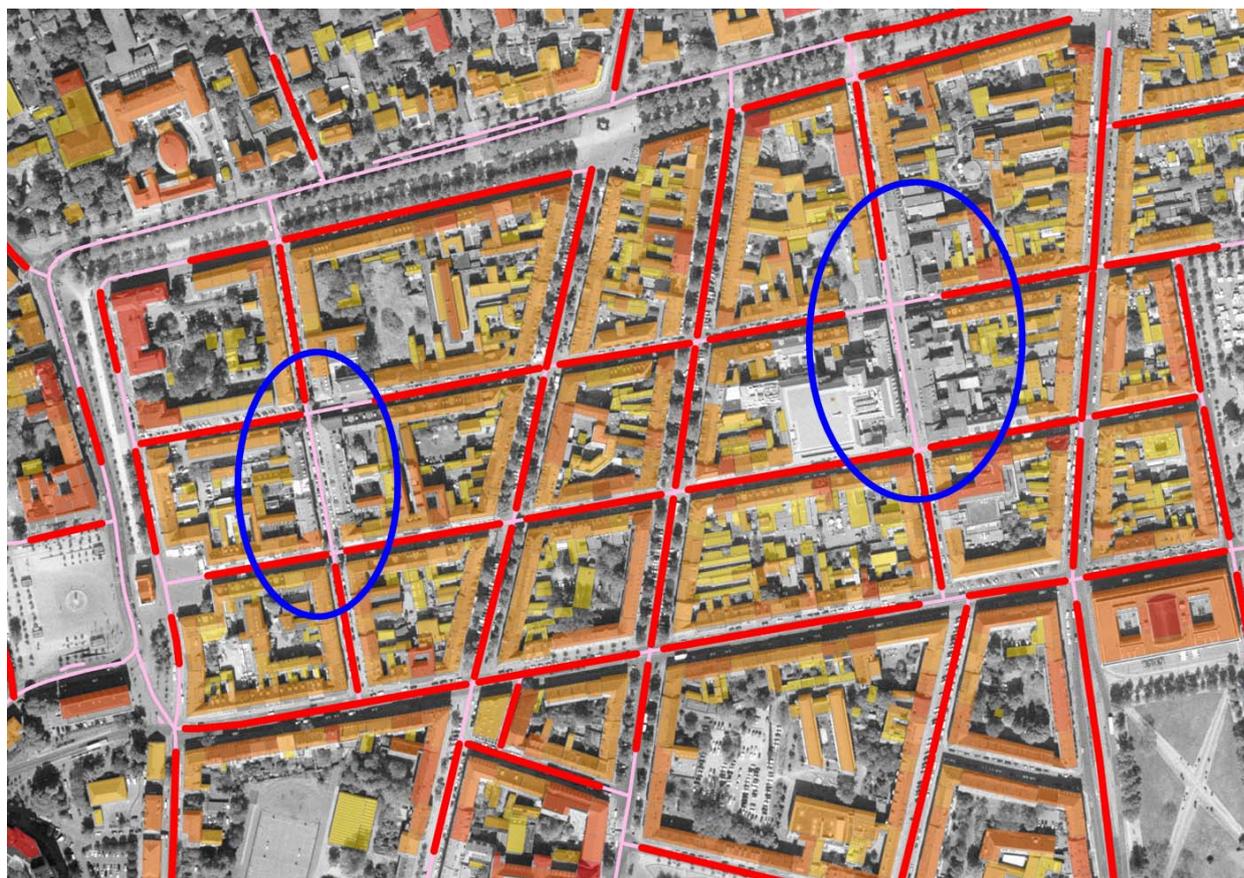
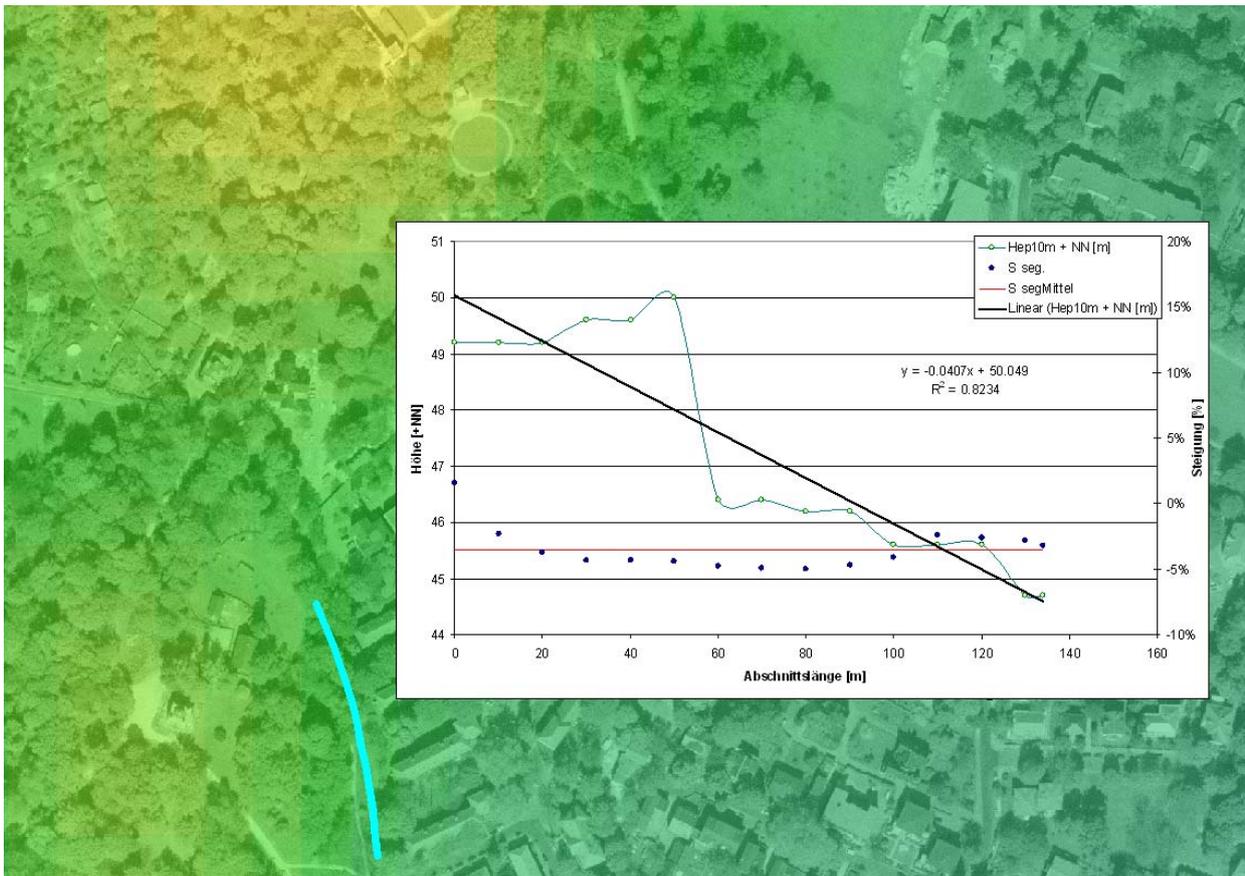


Abbildung 5-4: Lücken in den Bebauungsdaten am Beispiel Potsdam

### 5.2.3 Bestimmung der Längsneigung aus dem Höhenmodell DGM25

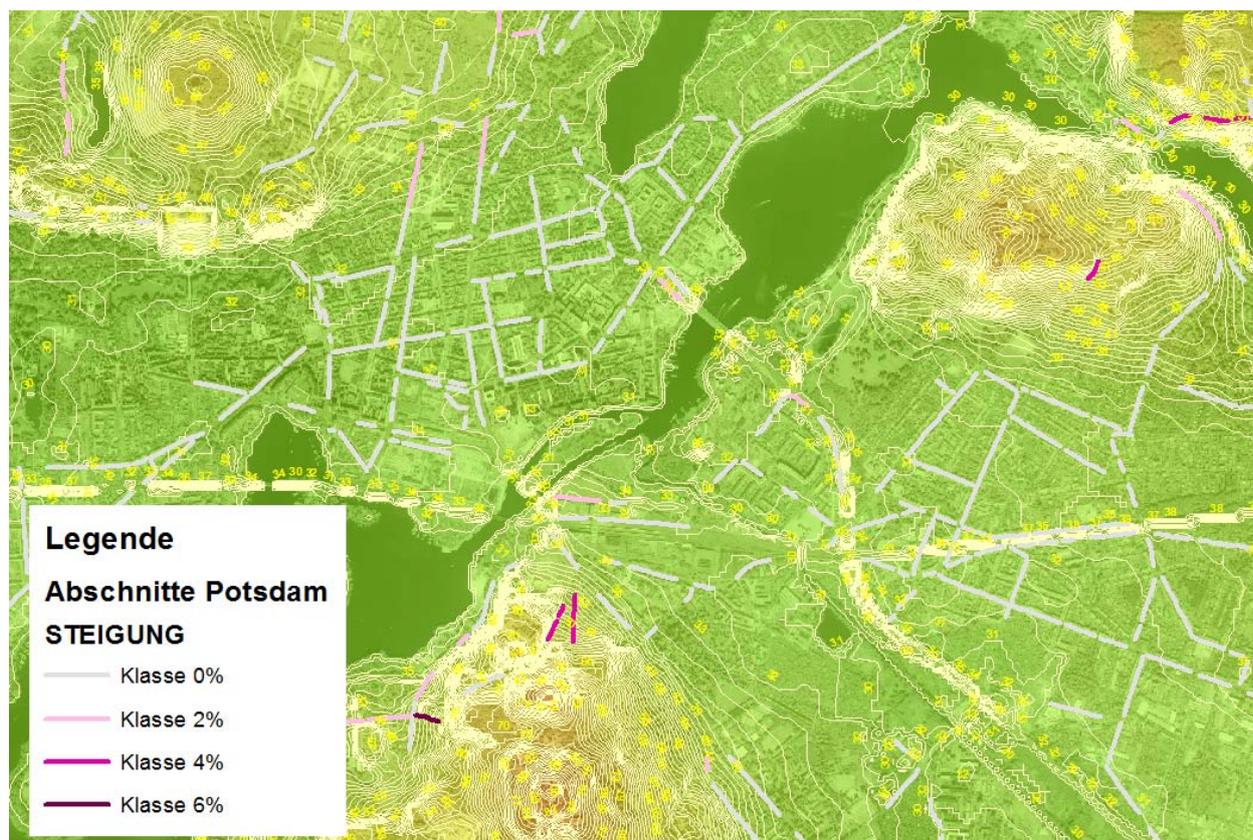
Im Anschluss an die Abschnittsbildung wurden die Längsneigungen aus den Höheninformationen des digitalen Höhenmodells ermittelt. Im dem verwendeten Verfahren wird jeder Abschnitt im Abstand von 10 m in Einzelpunkte gegliedert. Ausgehend von jedem Einzelpunkt wird ein Segment über die Länge von 100 m durch die beidseitige Verlängerung erstellt. Für jedes der so erhaltenen Teilsegmente wird mit einem wählbaren Tastintervall eine Höhenprofillinie erstellt. Die Profillinie wird durch eine Ausgleichsgerade angenähert und deren Steigung dem Segment zugeordnet. Die Steigung des gesamten Abschnitts wird dann aus den Mittelwerten der Segmentsteigungen errechnet.

Durch dieses Verfahren kann die hohe Varianz der Einzellängsneigungen, verursacht durch die Rasterung des Höhenmodells (Rastergröße = 25 m) reduziert werden und erlaubt, im Gegensatz zu punktuellen Längsneigungsbetrachtungen, besonders bei hangparallelen Situationen plausible Längsneigungswerte. In Abbildung 5-5 ist der Höhenverlauf der Abtastpunkte (Hep10m) für die in der Karte markierte Linie dargestellt. Das Diagramm zeigt, dass das Höhenprofil auflösungsbedingt sprunghaft abfällt. Eine durchschnittliche Steigung durch lineare Annäherung würde eine Längsneigung von ca. -4 % ergeben und überzeichnet damit die Steigung (siehe erhöhten Anfangspunkt der Ausgleichsgerade „Linear“). Die hier verwendete Methode ermittelt eine Längsneigung von -3,5 %.



**Abbildung 5-5: Höhenprofil der Abtastung und Längsneigungsbestimmung**

Die automatisierte Bestimmung der Längsneigung führt in den meisten Fällen zu plausiblen Ergebnissen (siehe Abbildung 5-6).



**Abbildung 5-6: Übersicht der Längsneigungsklassen 0, 2, 4, und 6 % für Potsdam**

In einigen Fällen kann es jedoch zu Problemen kommen, z. B. bei Straßen in Brücken- oder Unterführungsbereichen. Eine dieser Situationen zeigt Abbildung 5-7. Abgebildet sind die aus dem Höhenmodell abgeleiteten Linien gleicher Höhe (Intervall 1 m) sowie die je nach Längsneigungswert eingefärbten Abschnitte. Erkennbar ist, dass die Auflösung des Höhenmodells die Dammlage einer Autobahn in der Bildmitte nur angenähert wiedergibt. Die mit der beschriebenen Methodik aus dem Höhenmodell abgeleiteten Längsneigungen der Abschnitte sind in Abbildung 5-7 farbig dargestellt. Die Unterquerung der Autobahn ist vermutlich eben. Trotzdem werden für die Abschnitte Längsneigungen von - 6.6 % bzw. 7.2 % ermittelt.

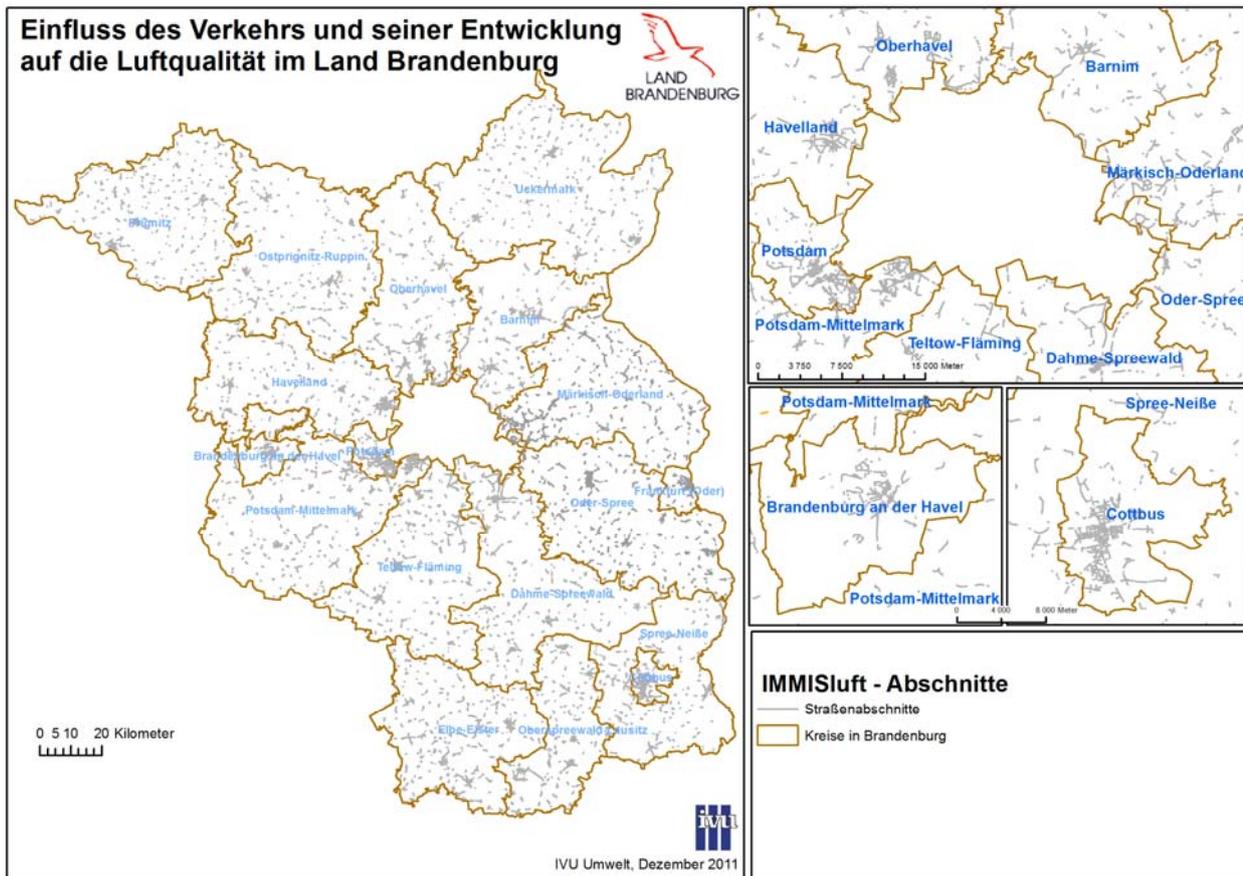


#### 5.2.4 Ergebnisse der Abschnittsbildung

Nach Durchführung der Abschnittsbildung ergeben sich 27'086 Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 2'266 km. Tabelle 5-1 zeigt die Anzahl der Screening-Abschnitte in Brandenburg, aufgeteilt nach Kreisen. In der karographischen Darstellung (Abbildung 5-9) sind die IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitte für die Screeningberechnung in Brandenburg getrennt nach verwendeter Meteorologie gemäß Kapitel 5.3 dargestellt.

**Tabelle 5-1: Anzahl Screening-Abschnitte in Brandenburg nach Kreisen**

| ID-NR | NAME                     | KFZ | Anzahl Abschnitte |
|-------|--------------------------|-----|-------------------|
| 12060 | Barnim                   | BAR | 1274              |
| 12051 | Brandenburg an der Havel | BRB | 442               |
| 12052 | Cottbus                  | CB  | 864               |
| 12061 | Dahme-Spreewald          | LDS | 1982              |
| 12062 | Elbe-Elster              | EE  | 2495              |
| 12053 | Frankfurt (Oder)         | FF  | 304               |
| 12063 | Havelland                | HVL | 1366              |
| 12064 | Märkisch-Oderland        | MOL | 1751              |
| 12065 | Oberhavel                | OHV | 1546              |
| 12066 | Oberspreewald-Lausitz    | OSL | 1535              |
| 12067 | Oder-Spree               | LOS | 1993              |
| 12068 | Ostprignitz-Ruppin       | OPR | 1557              |
| 12054 | Potsdam                  | P   | 730               |
| 12069 | Potsdam-Mittelmark       | PM  | 2372              |
| 12070 | Prignitz                 | PR  | 1734              |
| 12071 | Spree-Neiße              | SPN | 1175              |
| 12072 | Teltow-Fläming           | TF  | 2004              |
| 12073 | Uckermark                | UM  | 1962              |
|       | <b>Summe</b>             |     | <b>27086</b>      |



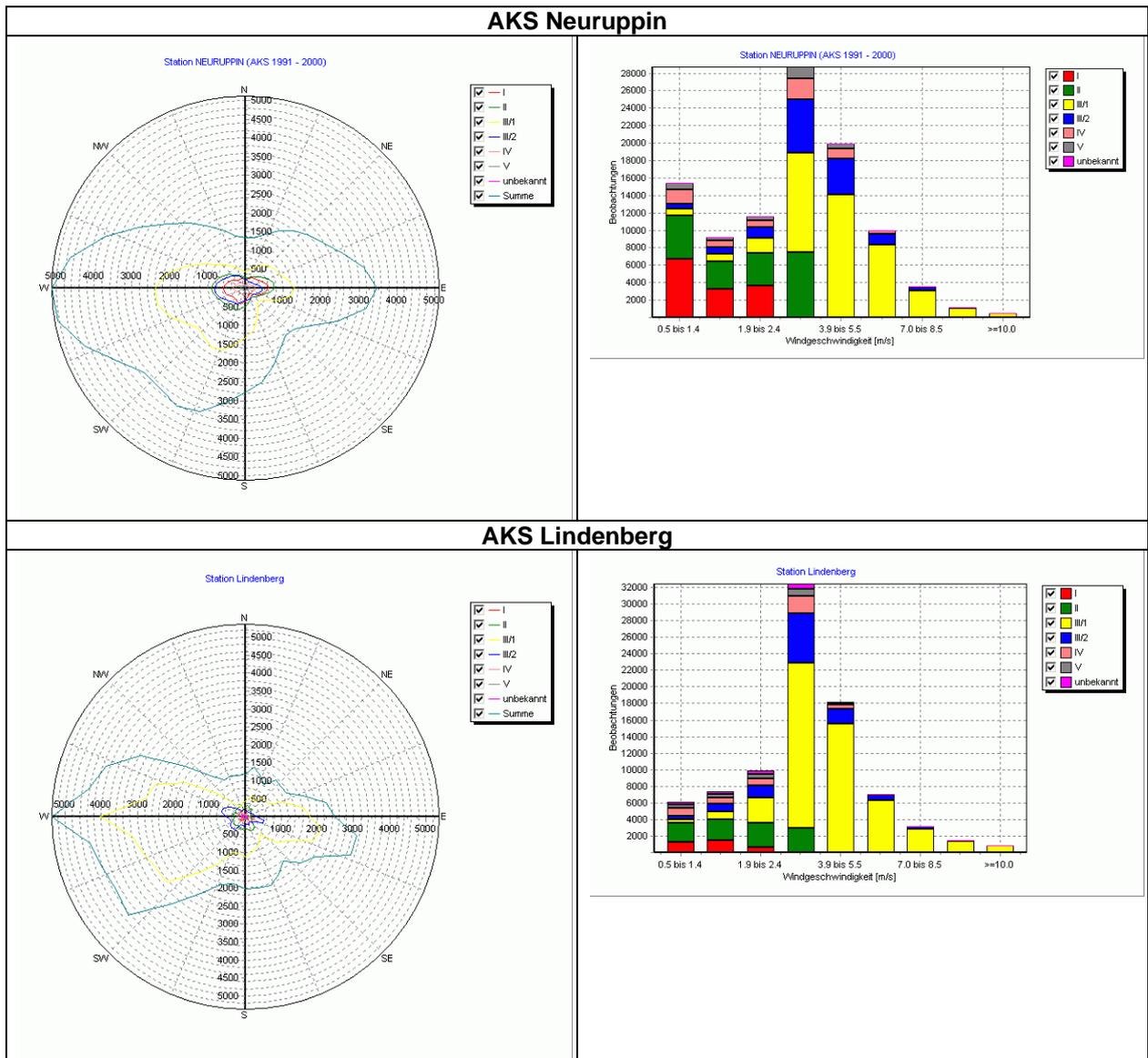
**Abbildung 5-9: IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitte für die Screeningberechnung**

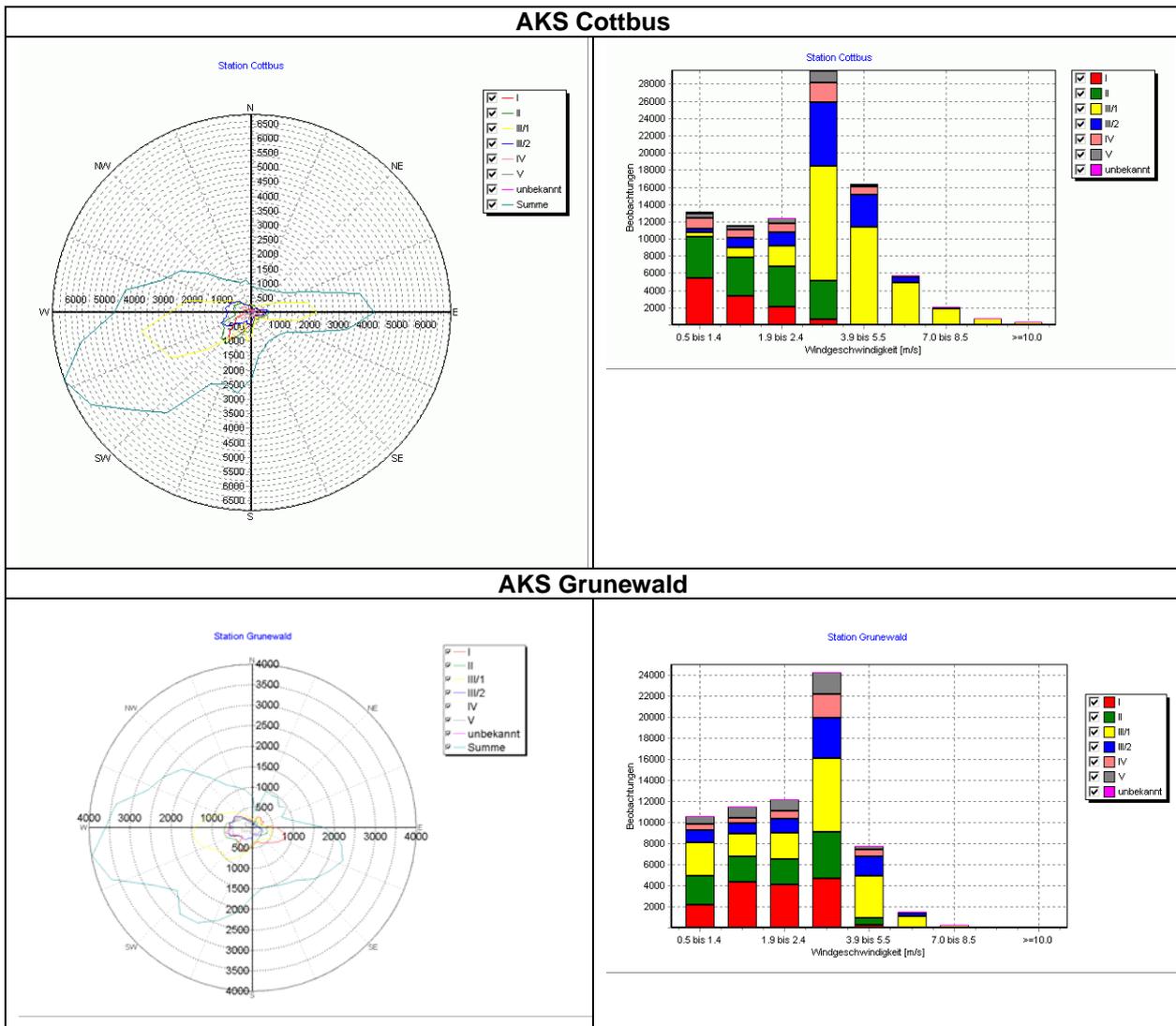
### 5.3 Aufbereitung von regionalisierten meteorologischen Eingangsdaten

Vom Auftraggeber wurden Ausbreitungsklassenstatistiken (AKS) für die Stationen

- Neuruppin (1991 - 2000),
- Lindenberg (1998 - 2007) und
- Cottbus (1997 - 2007)

zur Verfügung gestellt. Zusätzlich lag aus der Bearbeitung des Luftreinhalteplans Potsdam eine AKS von der Station Grunewald in Berlin (1997 - 2004) vor. Die Windrosen und Windgeschwindigkeitsverteilungen dieser vier Datensätze sind in Abbildung 5-10 dargestellt.





**Abbildung 5-10: Windrosen und Windgeschwindigkeitsverteilung der im Screening verwendeten Ausbreitungsklassenstatistiken**

Die mittleren Windgeschwindigkeiten sind für

- Neuruppin: 3.31 m/s,
- Lindenberg: 3.54 m/s,
- Cottbus: 2.96 m/s und
- Grunewald: 2.52 m/s.

Die vier AKS wurden für die Anwendung in IMMIS<sup>luft</sup> in sogenannte Kopplungsdateien umgewandelt, die als Ergebnis einer vorprozessierenden Modellierung mit CPB den Zusammenhang zwischen Emission und Immission für die verschiedenen Straßenraumgeometrien abbilden (Wiegand, G.; Diegmann, V. 1994).

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde folgende räumliche Zuordnung der Kopplungsdateien zu den IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitten vorgenommen:

- Neuruppin: Nördlicher Bereich mit den Kreisen Havelland, Prignitz, Ostprignitz-Ruppin, Oberhavel, Barnim und Uckermark.
- Lindenberg: Östlicher Bereich mit den Kreisen Märkisch Oderland, Oder-Spree und Stadt Frankfurt (Oder).
- Cottbus: Südlicher Bereich mit den Kreisen Potsdam-Mittelmark, Teltow-Fläming, Dahme-Spreewald, Elbe-Elster, Ober-Spreewald-Lausitz, Spree-Neiße, Brandenburg und Cottbus.
- Grunewald: Stadt Potsdam.

Diese Gebietszuordnung der Meteorologiedaten zeigt Abbildung 5-11.

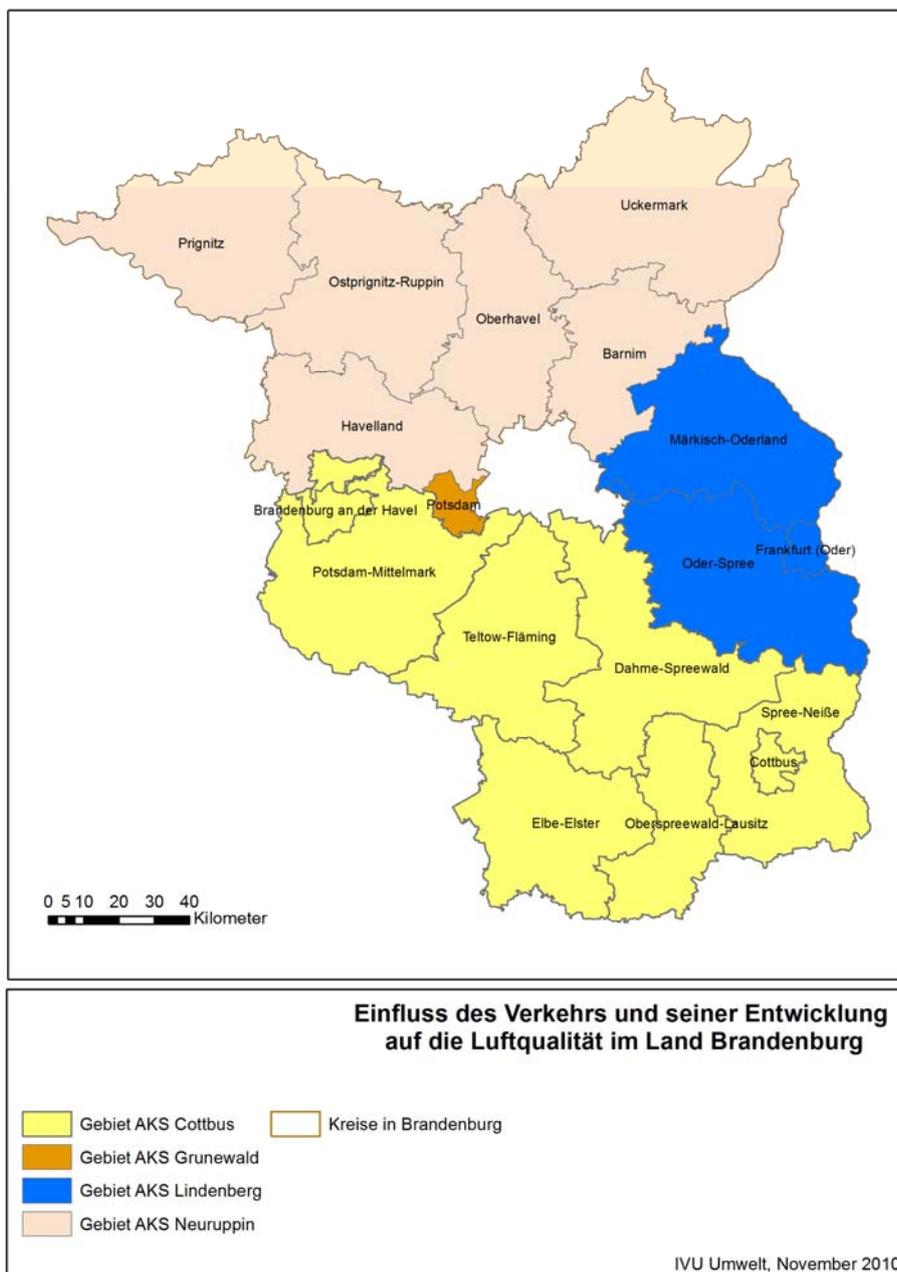


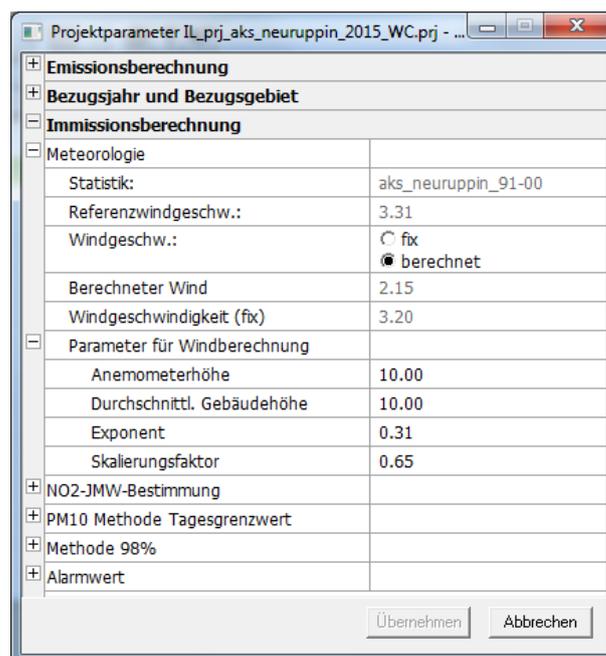
Abbildung 5-11: Definition der Gebietszuordnung der Meteorologiedaten

Das Modell IMMIS<sup>luft</sup> wird hauptsächlich für die Berechnung der Konzentrationen in Stadtgebieten eingesetzt. Stadtgebiete sind aerodynamisch rauer als ihre ländliche Umgebung. Die meteorologischen Häufigkeitsverteilungen werden meistens über aerodynamisch eher glatterem Gelände (z. B. auf einem Flughafen) erhoben. Wird eine solche Verteilung für ein Stadtgebiet verwendet, muss berücksichtigt werden, dass die Stadtrauhigkeit die Windgeschwindigkeit reduziert. Dieser Effekt wird in IMMIS<sup>luft</sup> durch eine einfache, rauigkeitsabhängige Skalierung der gemessenen Windgeschwindigkeit berücksichtigt.

Die in die Gaußschen Gleichungen eingehende Transportgeschwindigkeit ist nicht die in den meteorologischen Datensätzen enthaltene Geschwindigkeit in Anemometerhöhe, sondern die Geschwindigkeit in der effektiven Ausbreitungshöhe. Die Berechnung dieser Transportgeschwindigkeit erfolgt mit Hilfe eines Potenzansatzes wie er im Handbuch zu IMMIS<sup>luft</sup> (IVU Umwelt, 2011a) beschrieben wird. Die Einstellungen zur Skalierung der Windgeschwindigkeit sind exemplarisch in Abbildung 5-12 für die Meteorologie von Neuruppin dargestellt. Die sich ergebenden Windgeschwindigkeiten für die Berechnungen mit IMMIS<sup>luft</sup> sind Tabelle 5-2 aufgeführt. Diese pauschalen Annahmen führen zu verhältnismäßig niedrigen Windgeschwindigkeiten, was zu tendenziell höheren Zusatzbelastungen führt. Die Sensitivität des Modellergebnisses auf die Windgeschwindigkeit wird in Kapitel 6.3 beschrieben.

**Tabelle 5-2: Mittelwerte der Windgeschwindigkeiten aus den AKS-Daten und skaliert für IMMIS<sup>luft</sup>**

| AKS        | Jahresmittelwert der Windgeschwindigkeit |  |
|------------|--|--|
|            | Aus der AKS [m/s]                        | Skaliert für IMMIS <sup>luft</sup> [m/s] |
| Neuruppin  | 3.31                                     | 2.15                                     |
| Lindenberg | 3.54                                     | 2.30                                     |
| Cottbus    | 2.96                                     | 1.92                                     |
| Grunewald  | 2.52                                     | 1.64                                     |



**Abbildung 5-12: Einstellungen in IMMIS<sup>luft</sup> für die Parametrisierung der Windgeschwindigkeit am Beispiel der Meteorologie von Neuruppin**

## 5.4 Ergebnisse der landesweiten Screeningberechnungen

### 5.4.1 Bezugsjahr 2008 - Übersicht

Im folgenden werden die Ergebnisse der Screeningberechnungen beschrieben und diskutiert. In Abbildung 5-13 ist die landesweite Belastungssituation für die bebauten Straßenabschnitte in Brandenburg für den Jahresmittelwert von NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub> im Bezugsjahr 2008 als Karte dargestellt. Auf Grund der hohen Anzahl an Straßenabschnitten ist eine differenzierte Auswertung auf Basis einer solchen Karte nicht möglich. Es ist aber zu erkennen, dass es nur wenige Abschnitte gibt, die in den Warnfarben gelb bis rot dargestellt sind und bei denen eine Grenzwertüberschreitung der derzeit geltenden Grenzwerte im Jahr 2008 rechentechnisch nicht auszuschließen ist.

In den Histogrammen (Abbildung 5-14) ist die Häufigkeit des Auftretens der verschiedenen Konzentrationsklassen für NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub> und PM<sub>2.5</sub> dargestellt. Dabei wird unterschieden zwischen der Anzahl von Abschnitten in einer Konzentrationsklasse und der summierten Länge von Abschnitten in einer Konzentrationsklasse.

Im Ergebnis der Screeningberechnungen für 2008 werden für 23 Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 2'187 m Überschreitungen des gültigen NO<sub>2</sub>-Grenzwertes in Höhe von 40 µg/m<sup>3</sup> prognostiziert. Zieht man eine Fehlermarge auf das Modellergebnis von 10 % in Betracht (> 36 µg/m<sup>3</sup>), sind 60 Abschnitte mit einer Länge von 5'659 m und bei einer Fehlermarge von 20 % (> 32 µg/m<sup>3</sup>) 130 Abschnitte mit einer Länge von 11'315 m potenziell von einer NO<sub>2</sub>-Grenzwertverletzung betroffen.

Der PM<sub>10</sub>-Jahresgrenzwert in Höhe von 40 µg/m<sup>3</sup> wird in allen Screeningberechnungen nicht überschritten. Der zum Tagesgrenzwert korrespondierende PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwert in Höhe von 30 µg/m<sup>3</sup> (siehe Kapitel 2.4.3) wird an 10 Abschnitten mit einer Gesamtlänge von 1'116 m überschritten. Unter Berücksichtigung von Fehlertoleranzen von 5 % (28.5 µg/m<sup>3</sup>) und 10 % (27 µg/m<sup>3</sup>) sind 25 bzw. 56 Abschnitte mit Längen von 2'537 m bzw. 5'483 m potenziell von Grenzwertüberschreitungen betroffen.

Der ab 2015 geltende PM<sub>2.5</sub>-Grenzwert in Höhe von 25 µg/m<sup>3</sup> wird in der Berechnung für 2008 nicht überschritten. Unter Berücksichtigung einer Fehlertoleranz von 5 % (23.75 µg/m<sup>3</sup>) ist dies ebenfalls bei keinem Abschnitt der Fall. Bei einer Fehlertoleranz von 10 % (22.5 µg/m<sup>3</sup>) sind 6 Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 713 m potenziell von Grenzwertüberschreitungen betroffen.

Für alle Abschnitte, die im Bezugsjahr 2008 einen berechneten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert größer 40 µg/m<sup>3</sup> oder einen PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwert größer 30 µg/m<sup>3</sup> aufweisen, wird im Rahmen der Qualitätssicherung in Kapitel 6 eine kartographische Darstellung gezeigt.

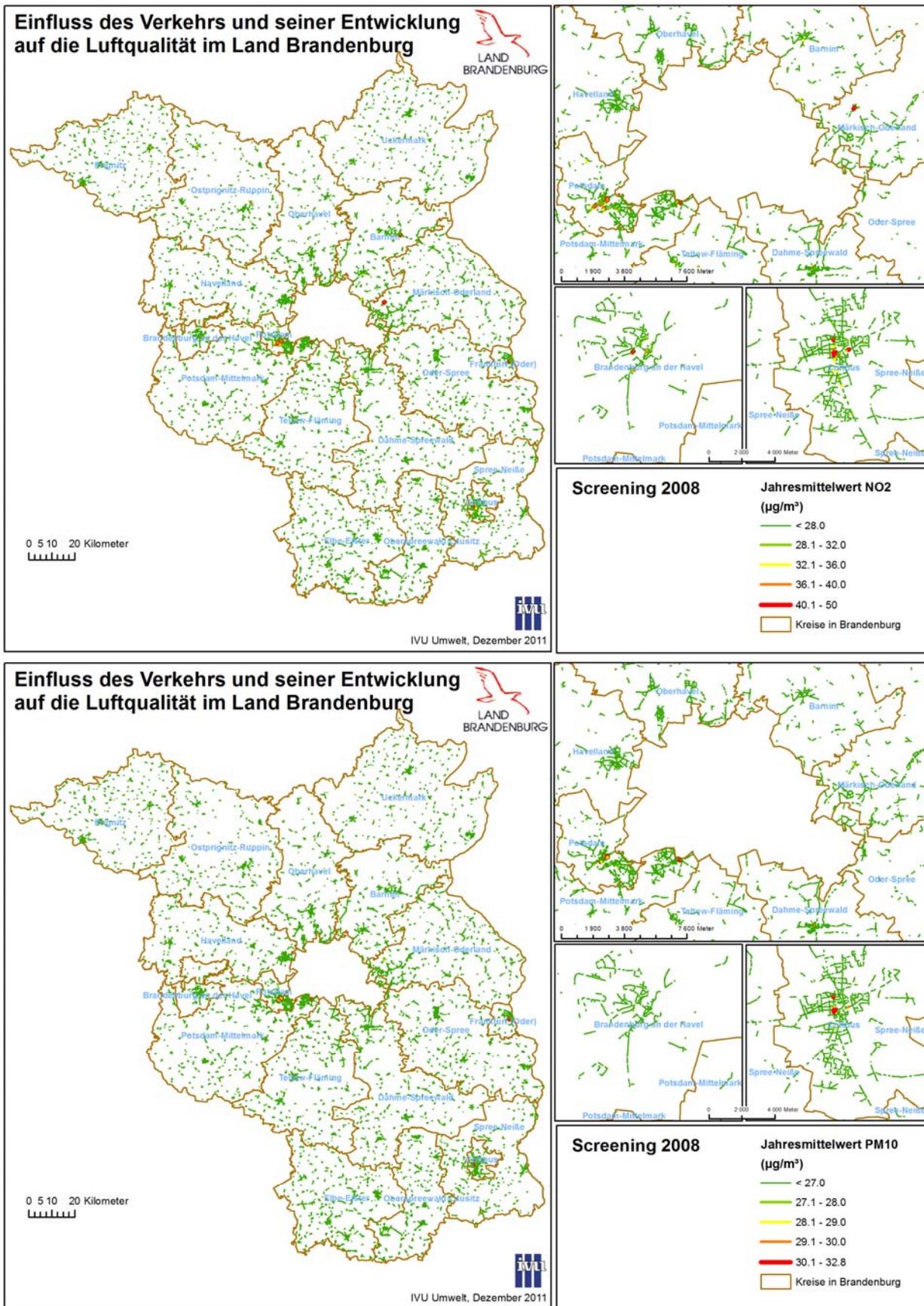


Abbildung 5-13: Ergebnis der Screeningberechnung für 2008 für NO<sub>2</sub> (oben) und PM<sub>10</sub> (unten)

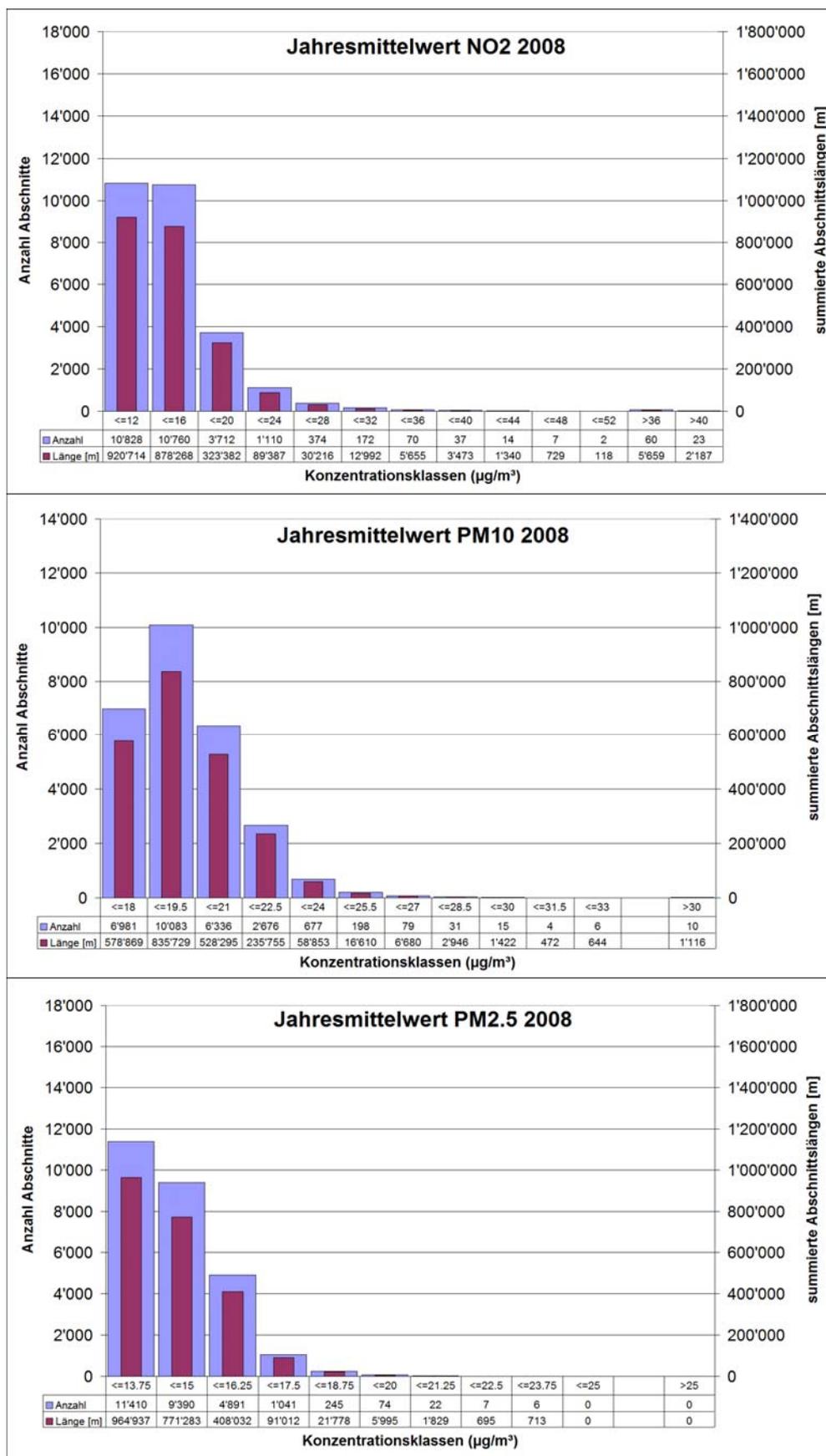


Abbildung 5-14: Häufigkeitsverteilung der Straßenabschnittszahl und Abschnittslänge in Konzentrationsklassen für 2008

### 5.4.2 Bezugsjahr 2008 - Hotspots

In Tabelle 5-3 sind 26 Straßenabschnitte aufgeführt, die einen modellierten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert größer 40 µg/m<sup>3</sup> aufweisen oder für die eine Überschreitungen des PM10-Tagesgrenzwertes prognostiziert wird. Die Sortierung erfolgt absteigend nach der Höhe des PM10-Jahresmittelwertes. Orange markiert sind berechnete Grenzwertüberschreitungen bei NO<sub>2</sub> oder PM10<sup>4</sup>. Hellgelb markiert sind Abschnitte mit einer Länge von weniger als 100 m, für die nach einer visuellen Überprüfung (siehe Kapitel 6.1) angenommen werden kann, dass es sich um isolierte Abschnitte handelt und damit das Kriterium der EU-Richtlinie für eine Probenahme mit einer Repräsentanz der Luftqualität für einen Straßenabschnitt von wenigstens 100 m Länge nicht erfüllt ist.

Zwei erweiterte Listen mit Details zu den 26 Hotspots finden sich in im Anhang H. In Kapitel 6.1 werden die Hotspots kartographisch dargestellt, dort werden zudem für drei Hotspots mit verhältnismäßig geringem DTV exemplarisch die Geometrien der Abschnitte diskutiert.

10 der 26 Abschnitte mit potenziellen Grenzwertüberschreitungen liegen im Gebiet der Meteorologie Cottbus, sieben Abschnitte liegen im Gebiet der Meteorologie Grunewald, die ausschließlich für das Stadtgebiet von Potsdam verwendet wurde. Sechs Abschnitte liegen im Meteorologie-Gebiet Neuruppin, drei Abschnitte im Meteorologie-Gebiet Lindenberg.

Für 23 Abschnitte wurde eine Überschreitung des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes berechnet, für sieben von diesen wurde zudem eine PM10-Grenzwertüberschreitung modelliert. Insgesamt liegen 10 Abschnitte mit einer Überschreitung des PM10-Grenzwertes vor, bei drei von diesen wurde keine NO<sub>2</sub>-Grenzwertüberschreitung berechnet. Somit werden bis auf drei Abschnitte bei PM10-Grenzwertüberschreitungen auch immer NO<sub>2</sub>-Grenzwertüberschreitungen prognostiziert. Nur bei einem dieser drei Abschnitte, der Leipziger Straße in Frankfurt/Oder (ID 103), liegt die berechnete NO<sub>2</sub>-Belastung unter 36 µg/m<sup>3</sup>.

In dieser Liste liegt der minimale DTV-Wert bei knapp 9'000 Kfz/Tag und der höchster über 40'000 Kfz/Tag. Der Anteil schwer Nutzfahrzeuge variiert zwischen 2 % und 9 %. Die minimale Bebauungsbreite liegt bei 9 m, wie die minimale Höhe bei 8 m. Im Maximum ist die Bebauung bis 34 m breit und bis 20 m hoch. Der maximale Lückenanteil (Porosität) beträgt 45 %. Der kürzeste Abschnitt hat eine Länge von 41 m, der längste von 194 m. Im Mittel beträgt die Abschnittslänge 100 m und die Porosität 29 %.

---

<sup>4</sup> Abschnitte, für die ohne Rundung NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte von unter 40 µg/m<sup>3</sup> berechnet werden, werden nicht als Grenzwertüberschreitung gezählt, auch wenn sich für sie gerundet der Wert von 40.0 µg/m<sup>3</sup> ergibt. Dies gilt analog für Abschnitte, für die ohne Rundung PM10-Jahresmittelwerte von unter 30 µg/m<sup>3</sup> berechnet werden.

**Tabelle 5-3: Liste der Hotspots 2008 (Sortierung absteigend nach der Höhe des PM10-Jahresmittelwertes)**

| ID    | Abschnitt           |                    | Meteo | Verkehr |             | Bebauungsgeometrie |        |              |                 | Gesamtbelastung 2008 |      |                            |       |
|-------|---------------------|--------------------|-------|---------|-------------|--------------------|--------|--------------|-----------------|----------------------|------|----------------------------|-------|
|       | Stadt               | Straße             |       | DTV     | Anteil SNfz | Höhe               | Breite | Lückenanteil | Abschnittslänge | NO <sub>2</sub>      | PM10 | #Tage >50µg/m <sup>3</sup> | PM2.5 |
|       |                     |                    |       |         |             |                    |        |              |                 |                      |      |                            |       |
| 1086  | Cottbus             | Bahnhofstr.        | COTT  | 34222   | 5.1         | 18                 | 30     | 24           | 119             | 46.7                 | 32.9 | 47                         | 24    |
| 297   | Potsdam             | Behlerstr.         | GRUN  | 21388   | 3.6         | 18                 | 21     | 30           | 49              | 48.1                 | 32.5 | 45                         | 22    |
| 7990  | Teltow              | Potsdamer Str.     | COTT  | 26100   | 4.5         | 10                 | 20     | 29           | 149             | 47.3                 | 32.3 | 44                         | 23    |
| 836   | Cottbus             | Karl-Marx-Str.     | COTT  | 26620   | 3.9         | 20                 | 20     | 30           | 60              | 45.3                 | 32.2 | 44                         | 23    |
| 298   | Potsdam             | Behlerstr.         | GRUN  | 21388   | 3.6         | 12                 | 20     | 31           | 134             | 46.7                 | 31.8 | 42                         | 22    |
| 5     | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | RUPP  | 30500   | 3.0         | 16                 | 30     | 21           | 132             | 39.7                 | 31.8 | 42                         | 24    |
| 127   | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | RUPP  | 25000   | 3.0         | 17                 | 21     | 25           | 139             | 38.9                 | 31.4 | 41                         | 23    |
| 479   | Cottbus             | K.-Liebknecht-Str. | COTT  | 22551   | 6.3         | 18                 | 26     | 20           | 113             | 43.1                 | 31.3 | 40                         | 23    |
| 103   | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | RUPP  | 30500   | 3.0         | 18                 | 31     | 38           | 139             | 34.3                 | 30.7 | 38                         | 22    |
| 21    | Potsdam             | Breite Str.        | GRUN  | 40473   | 2.8         | 17                 | 34     | 38           | 81              | 44.1                 | 30.6 | 38                         | 21    |
| 419   | Potsdam             | Kurfürstenstr.     | GRUN  | 24961   | 1.8         | 16                 | 24     | 22           | 134             | 42.4                 | 29.8 | 35                         | 20    |
| 382   | Alltandsberg        | Berliner Str.      | RUPP  | 15000   | 4.8         | 12                 | 11     | 18           | 88              | 45.8                 | 29.7 | 34                         | 22    |
| 649   | Cottbus             | Bahnhofstr.        | COTT  | 34616   | 4.2         | 19                 | 30     | 32           | 160             | 41.3                 | 29.5 | 34                         | 22    |
| 7989  | Teltow              | Potsdamer Str.     | COTT  | 26100   | 4.5         | 8                  | 20     | 44           | 58              | 40.7                 | 29.2 | 32                         | 21    |
| 860   | Cottbus             | F.-Mehring-Str.    | COTT  | 15735   | 5.6         | 15                 | 15     | 29           | 68              | 40.2                 | 29.1 | 32                         | 21    |
| 724   | Potsdam             | Leipziger Str.     | GRUN  | 8770    | 4.0         | 16                 | 11     | 21           | 60              | 42.8                 | 28.9 | 32                         | 20    |
| 374   | Potsdam             | Zeppelinstr.       | GRUN  | 25584   | 3.2         | 17                 | 23     | 28           | 194             | 41.5                 | 28.8 | 31                         | 20    |
| 7325  | Teltow              | Potsdamer Str.     | COTT  | 25400   | 5.6         | 15                 | 24     | 40           | 60              | 40.0                 | 28.7 | 31                         | 21    |
| 1787  | Alltandsberg        | Am Markt           | RUPP  | 15000   | 4.8         | 13                 | 11     | 23           | 77              | 43.4                 | 28.7 | 31                         | 21    |
| 385   | Potsdam             | Zeppelinstr.       | GRUN  | 24158   | 3.4         | 17                 | 20     | 39           | 118             | 40.0                 | 28.2 | 29                         | 19    |
| 383   | Alltandsberg        | Berliner Allee     | RUPP  | 15000   | 4.8         | 10                 | 11     | 26           | 41              | 41.1                 | 27.8 | 28                         | 20    |
| 11939 | Luckenwalde         | Zinnaer Str.       | COTT  | 9850    | 9.4         | 14                 | 9      | 45           | 93              | 41.6                 | 27.6 | 27                         | 20    |
| 166   | Brandenburg (Havel) | Neuendorfer Str.   | COTT  | 15500   | 4.0         | 16                 | 14     | 19           | 107             | 41.6                 | 27.4 | 27                         | 21    |
| 5806  | Pritzwalk           | Havelberger Str.   | LIND  | 13505   | 8.0         | 14                 | 12     | 20           | 69              | 49.7                 | 27.0 | 25                         | 20    |
| 1008  | Eberswalde          | Breite Str.        | LIND  | 18000   | 5.5         | 13                 | 14     | 18           | 97              | 44.3                 | 26.1 | 23                         | 20    |
| 6052  | Pritzwalk           | Havelberger Str.   | LIND  | 11409   | 8.1         | 11                 | 11     | 34           | 56              | 41.3                 | 24.3 | 18                         | 18    |

### 5.4.3 Prognosen 2010 und 2015

Bei den Prognoseberechnungen wurde für die Berechnung der Zusatzbelastung nur die Kfz-Flotte auf das entsprechende Bezugsjahr angepasst. Die Vorbelastung wurde aus den Ergebnissen der FLADIS-Berechnungen gemäß Kapitel 4.5.2 übernommen. Dabei wurden für NO<sub>2</sub> jeweils eine Screeningberechnung für den worst case und den best case durchgeführt. Bei PM10 wurden zusätzlich noch der mittlere Fall der Vorbelastung berücksichtigt.

Die Histogramme 2010 für den worst case sind in Abbildung 5-15, für den best case in Abbildung 5-16 dargestellt. Für 2015 zeigen die Histogramme ebenfalls den worst case (Abbildung 5-17) und den best case (Abbildung 5-18).

#### 5.4.3.1 Prognose 2010

Für den worst case des Prognosejahrs 2010 werden als Ergebnis der Screeningberechnungen für 32 Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 3'177 m Überschreitungen des gültigen NO<sub>2</sub>-Grenzwertes in Höhe von 40 µg/m<sup>3</sup> prognostiziert.

Für den best case des Prognosejahrs 2010 werden als Ergebnis der Screeningberechnungen für 15 Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 1'432 m Überschreitungen des gültigen NO<sub>2</sub>-Grenzwertes in Höhe von 40 µg/m<sup>3</sup> prognostiziert.

Der PM10-Jahresgrenzwert in Höhe von 40 µg/m<sup>3</sup> wird in allen Screeningberechnungen nicht überschritten. Der zum Tagesgrenzwert korrespondierende PM10-Jahresmittelwert in Höhe von 30 µg/m<sup>3</sup> (siehe Kapitel 2.4.3) wird im worst case 2010 an 45 Abschnitten mit einer Gesamtlänge von 4'295 m überschritten und im best case 2010 an fünf Abschnitten mit einer Gesamtlänge von 511 m.

Der ab 2015 geltende PM2.5-Grenzwert in Höhe von 25 µg/m<sup>3</sup> wird in der Berechnung des worst case 2010 an 12 Abschnitten mit einer Gesamtlänge von 1'294 m überschritten, in der Berechnung des best case 2010 tritt keine Grenzwertüberschreitung auf.

Im worst case 2010 werden für alle Substanzen mehr Abschnitte mit Grenzwertüberschreitungen berechnet als 2008. Bei NO<sub>2</sub> treten neun zusätzliche Abschnitte mit einer Länge von insgesamt 991 m auf, bei PM10 sind dies 35 zusätzliche Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 3'180 m. Im best case 2010 werden entsprechend weniger Abschnitte mit Grenzwertüberschreitungen berechnet als 2008. Bei NO<sub>2</sub> finden sich acht Abschnitte weniger mit einer Längenabnahme von insgesamt 755 m, bei PM10 fallen fünf Abschnitte weg, was zu einer Längenabnahme von 604 m führt.

Für PM2.5 wurden 2008 keine Grenzwertüberschreitungen berechnet.

In Tabelle 5-4 sind 52 Straßenabschnitte aufgeführt, die im worst case (WC) 2010 einen modellierten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert größer 40 µg/m<sup>3</sup> aufweisen oder für die eine Überschreitung des PM10-Tagesgrenzwertes prognostiziert wird. Die Sortierung erfolgt wiederum absteigend nach der Höhe des PM10-Jahresmittelwertes. Orange markiert sind berechnete Grenzwertüberschreitungen bei NO<sub>2</sub> oder PM10<sup>5</sup>. Ergänzt wurde die Auflistung um die berechneten Werte des worst case 2015.

24 der 52 Abschnitte mit potenziellen Grenzwertüberschreitungen im worst case 2010 liegen im Gebiet der Meteorologie Cottbus, elf Abschnitte liegen im Gebiet der Meteorologie Grunewald, die ausschließlich für das Stadtgebiet von Potsdam verwendet wurde. Dreizehn Abschnitte liegen im Meteorologie-Gebiet Neuruppin, vier Abschnitte im Meteorologie-Gebiet Lindenberg.

Für 32 Abschnitte wurde im worst case 2010 eine Überschreitung des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes berechnet, für sieben von diesen wurde keine PM10-Grenzwertüberschreitung modelliert. Insgesamt liegen 45 Abschnitte mit einer Überschreitung des PM10-Grenzwertes vor, bei 20 von diesen wurde keine NO<sub>2</sub>-Grenzwertüberschreitung berechnet.

---

<sup>5</sup> Abschnitte, für die ohne Rundung NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte von unter 40 µg/m<sup>3</sup> berechnet werden, werden nicht als Grenzwertüberschreitung gezählt, auch wenn sich für sie gerundet der Wert von 40.0 µg/m<sup>3</sup> ergibt. Dies gilt analog für Abschnitte, für die ohne Rundung PM10-Jahresmittelwerte von unter 30 µg/m<sup>3</sup> berechnet werden.

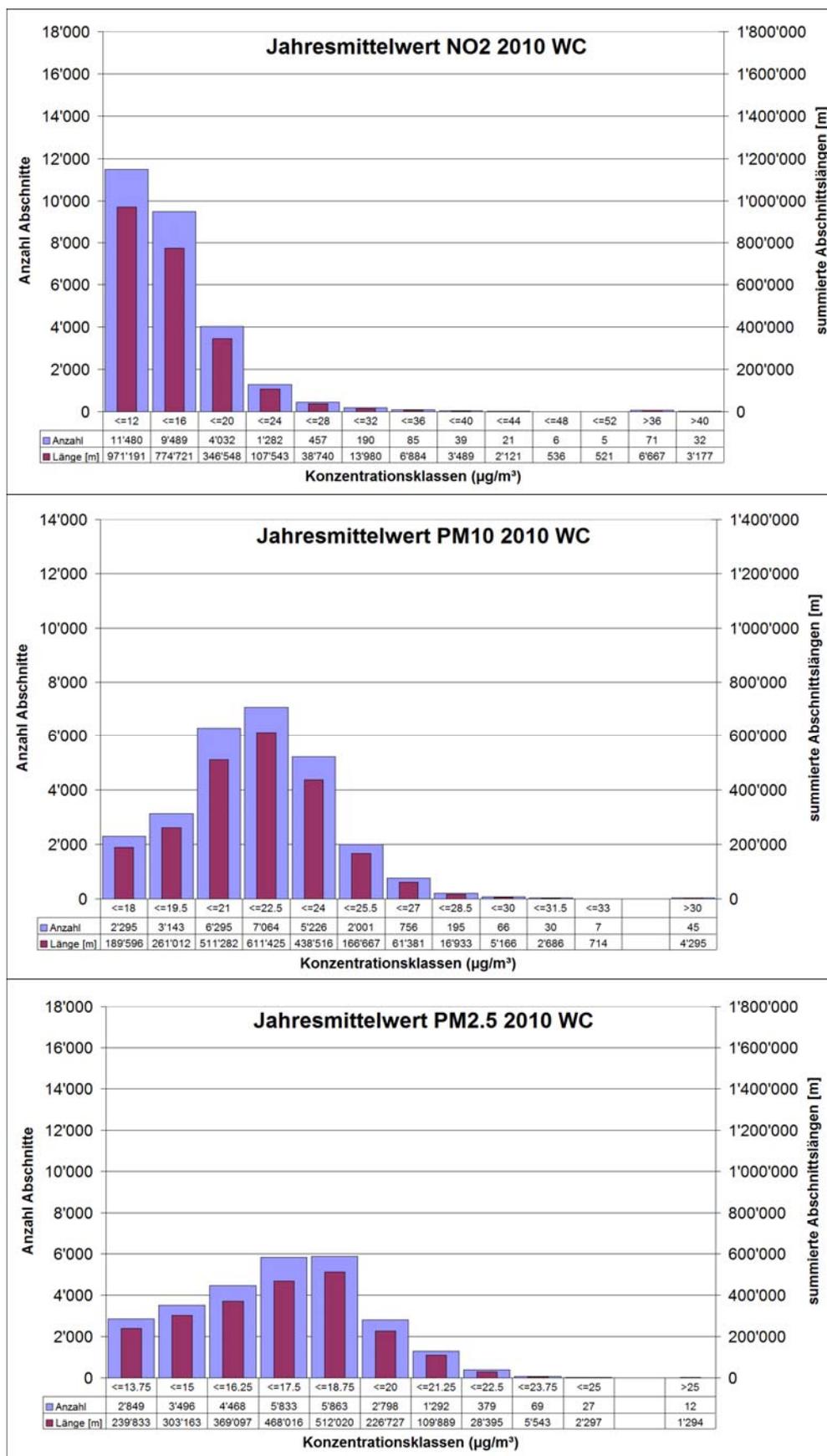


Abbildung 5-15: Häufigkeitsverteilung der Straßenabschnittszahl und Abschnittslänge in Konzentrationsklassen für 2010 im worst case

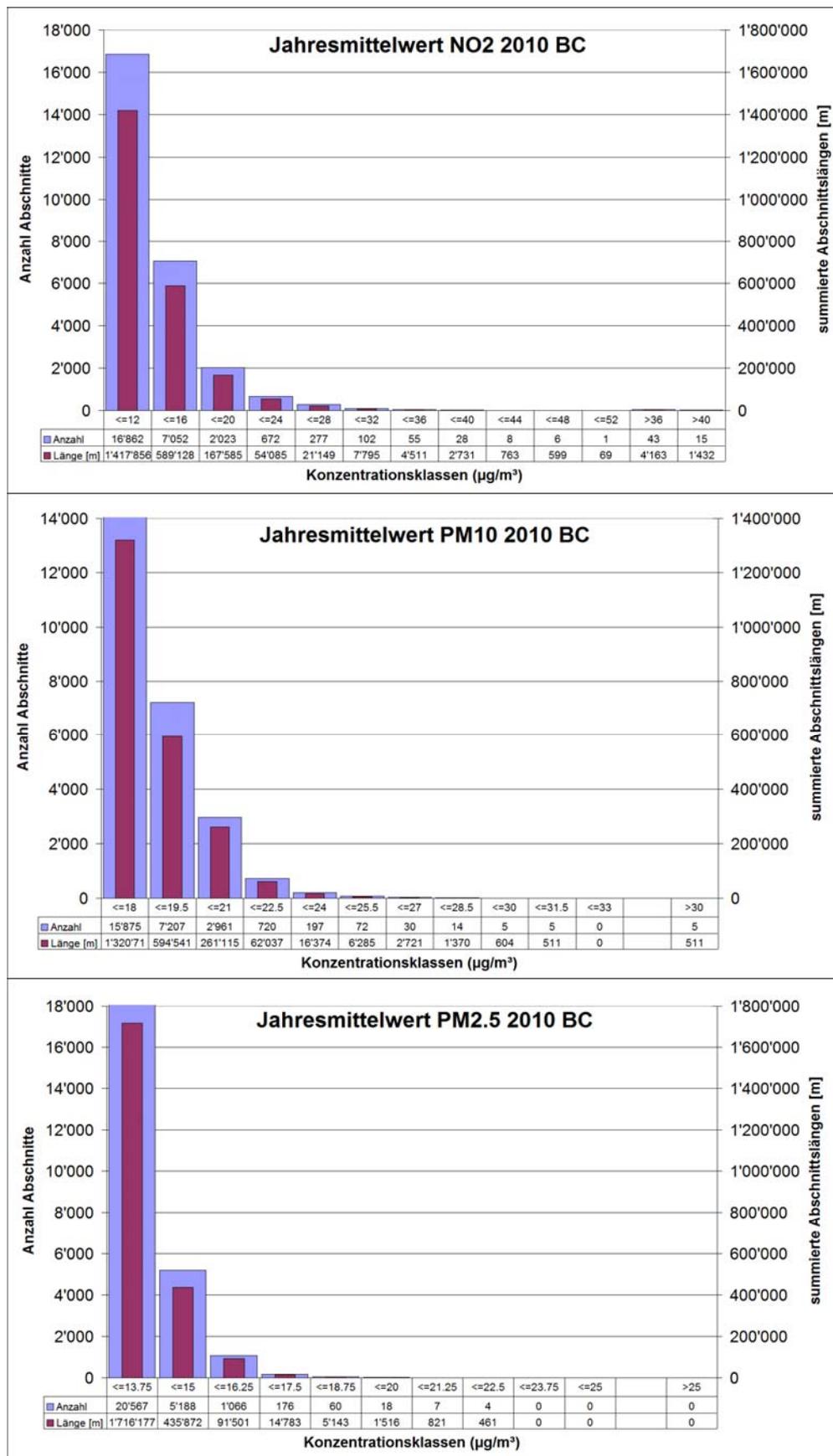


Abbildung 5-16: Häufigkeitsverteilung der Straßenabschnittszahl und Abschnittslänge in Konzentrationsklassen für 2010 im best case

**Tabelle 5-4: Liste der Hotspots im Prognosefall worst case (WC) 2010, ergänzt um Werte des worst case 2015 (Sortierung absteigend nach der Höhe des PM10-Jahresmittelwertes 2010)**

| ID    | Abschnitt           |                    |       | Abschnitts-<br>länge<br>m | Gesamtbelastung Prog 2010 WC |      |                               |       | Gesamtbelastung Prog 2015 WC |      |                               |       |
|-------|---------------------|--------------------|-------|---------------------------|------------------------------|------|-------------------------------|-------|------------------------------|------|-------------------------------|-------|
|       | Stadt               | Straße             | Meteo |                           | NO <sub>2</sub>              | PM10 | #Tage<br>>50µg/m <sup>3</sup> | PM2.5 | NO <sub>2</sub>              | PM10 | #Tage<br>>50µg/m <sup>3</sup> | PM2.5 |
|       |                     |                    |       |                           | µg/m <sup>3</sup>            |      |                               |       | µg/m <sup>3</sup>            |      |                               |       |
| 1086  | Cottbus             | Bahnhofstr.        | COTT  | 119                       | 48.6                         | 35.8 | 60                            | 27.9  | 38.3                         | 32.1 | 44                            | 24.5  |
| 836   | Cottbus             | Karl-Marx-Str.     | COTT  | 60                        | 47.4                         | 35.2 | 57                            | 27.5  | 37.4                         | 31.5 | 41                            | 24.2  |
| 5     | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | RUPP  | 132                       | 42.0                         | 35.1 | 56                            | 25.4  | 33.0                         | 31.2 | 40                            | 21.9  |
| 297   | Potsdam             | Behlertstr.        | GRUN  | 49                        | 50.4                         | 34.4 | 53                            | 25.9  | 40.3                         | 30.8 | 39                            | 22.6  |
| 479   | Cottbus             | K.-Liebknecht-Str. | COTT  | 113                       | 44.8                         | 34.3 | 53                            | 26.9  | 35.0                         | 30.8 | 38                            | 23.7  |
| 7990  | Teltow              | Potsdamer Str.     | COTT  | 149                       | 49.8                         | 34.2 | 52                            | 25.9  | 40.2                         | 30.5 | 37                            | 22.4  |
| 298   | Potsdam             | Behlertstr.        | GRUN  | 134                       | 49.0                         | 33.7 | 50                            | 25.5  | 39.0                         | 30.3 | 36                            | 22.3  |
| 127   | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | RUPP  | 139                       | 40.8                         | 33.5 | 49                            | 24.5  | 31.8                         | 29.6 | 34                            | 21.1  |
| 103   | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | RUPP  | 139                       | 36.3                         | 32.8 | 47                            | 23.7  | 28.3                         | 29.3 | 33                            | 20.7  |
| 649   | Cottbus             | Bahnhofstr.        | COTT  | 160                       | 43.1                         | 32.5 | 45                            | 25.9  | 33.6                         | 29.1 | 32                            | 22.7  |
| 21    | Potsdam             | Breite Str.        | GRUN  | 81                        | 46.2                         | 32.5 | 45                            | 24.8  | 36.3                         | 29.1 | 32                            | 21.7  |
| 860   | Cottbus             | F.-Mehring-Str.    | COTT  | 68                        | 41.9                         | 32.1 | 43                            | 25.6  | 32.5                         | 28.7 | 31                            | 22.5  |
| 382   | Altlandsberg        | Berliner Str.      | RUPP  | 88                        | 45.4                         | 31.9 | 43                            | 23.8  | 35.8                         | 28.5 | 30                            | 20.6  |
| 9737  | Spremberg           | Dresdener Str.     | COTT  | 45                        | 37.9                         | 31.7 | 42                            | 23.9  | 29.9                         | 28.8 | 31                            | 21.1  |
| 419   | Potsdam             | Kurfürstenstr.     | GRUN  | 134                       | 44.8                         | 31.7 | 42                            | 24.3  | 35.2                         | 28.4 | 30                            | 21.2  |
| 840   | Cottbus             | Bahnhofstr.        | COTT  | 184                       | 39.1                         | 31.2 | 40                            | 25.0  | 30.4                         | 27.9 | 28                            | 22.0  |
| 156   | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | RUPP  | 133                       | 31.4                         | 31.1 | 40                            | 22.6  | 24.3                         | 27.9 | 28                            | 19.8  |
| 7989  | Teltow              | Potsdamer Str.     | COTT  | 58                        | 43.0                         | 31.1 | 40                            | 23.8  | 34.3                         | 27.8 | 28                            | 20.7  |
| 9738  | Spremberg           | Dresdener Str.     | COTT  | 52                        | 36.3                         | 31.1 | 39                            | 23.5  | 28.5                         | 28.2 | 29                            | 20.8  |
| 1788  | Königs Wusterhausen | Berliner Str.      | COTT  | 79                        | 38.6                         | 31.1 | 39                            | 25.1  | 30.2                         | 28.0 | 28                            | 22.1  |
| 5429  | Bad Liebenwerda     | Bahnhofstr.        | COTT  | 32                        | 40.3                         | 31.0 | 39                            | 24.0  | 31.3                         | 27.7 | 27                            | 20.9  |
| 1670  | Cottbus             | Schloßstr.         | COTT  | 46                        | 38.3                         | 31.0 | 39                            | 25.0  | 30.2                         | 27.9 | 28                            | 22.1  |
| 28    | Frankfurt (Oder)    | Fürstenberger Str. | RUPP  | 44                        | 33.3                         | 30.9 | 39                            | 22.6  | 25.5                         | 27.5 | 27                            | 19.7  |
| 593   | Cottbus             | Str. der Jugend    | COTT  | 92                        | 38.6                         | 30.9 | 39                            | 24.9  | 30.1                         | 27.7 | 27                            | 21.9  |
| 1787  | Altlandsberg        | Am Markt           | RUPP  | 77                        | 42.9                         | 30.9 | 39                            | 23.0  | 33.7                         | 27.6 | 27                            | 19.9  |
| 724   | Potsdam             | Leipziger Str.     | GRUN  | 60                        | 44.6                         | 30.8 | 38                            | 23.9  | 35.0                         | 27.4 | 27                            | 20.8  |
| 10824 | Spremberg           | Karl-Marx-Str.     | COTT  | 152                       | 40.1                         | 30.7 | 38                            | 23.5  | 31.2                         | 27.6 | 27                            | 20.6  |
| 557   | Potsdam             | Großbeerenstr.     | GRUN  | 259                       | 41.3                         | 30.7 | 38                            | 23.6  | 32.2                         | 27.6 | 27                            | 20.8  |
| 96    | Frankfurt (Oder)    | Logenstr.          | RUPP  | 88                        | 32.3                         | 30.7 | 38                            | 22.4  | 24.7                         | 27.4 | 27                            | 19.6  |
| 374   | Potsdam             | Zeppelinstr.       | GRUN  | 194                       | 43.4                         | 30.7 | 38                            | 23.7  | 33.9                         | 27.4 | 27                            | 20.7  |
| 7325  | Teltow              | Potsdamer Str.     | COTT  | 60                        | 42.1                         | 30.7 | 38                            | 23.5  | 33.2                         | 27.4 | 27                            | 20.5  |
| 1247  | Cottbus             | Berliner Str.      | COTT  | 57                        | 38.0                         | 30.5 | 37                            | 24.5  | 29.9                         | 27.5 | 27                            | 21.7  |
| 462   | Cottbus             | Madlower Hauptstr. | COTT  | 57                        | 35.5                         | 30.5 | 37                            | 24.1  | 27.7                         | 27.4 | 27                            | 21.3  |
| 71    | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | RUPP  | 148                       | 31.1                         | 30.4 | 37                            | 22.2  | 24.0                         | 27.2 | 26                            | 19.4  |
| 210   | Frankfurt (Oder)    | Berliner Str.      | RUPP  | 38                        | 30.7                         | 30.4 | 37                            | 22.2  | 23.6                         | 27.2 | 26                            | 19.5  |
| 300   | Potsdam             | Gutenbergstr.      | GRUN  | 58                        | 41.6                         | 30.4 | 37                            | 23.3  | 32.7                         | 27.3 | 26                            | 20.5  |
| 819   | Cottbus             | Str. der Jugend    | COTT  | 123                       | 35.0                         | 30.4 | 37                            | 24.4  | 27.0                         | 27.4 | 26                            | 21.6  |
| 10880 | Zossen              | Bahnhofstr.        | COTT  | 43                        | 38.6                         | 30.3 | 36                            | 23.5  | 30.1                         | 27.2 | 26                            | 20.6  |
| 166   | Brandenburg (Havel) | Neuendorfer Str.   | COTT  | 107                       | 43.1                         | 30.2 | 36                            | 24.7  | 33.8                         | 26.9 | 25                            | 21.5  |
| 391   | Potsdam             | Breite Str.        | GRUN  | 106                       | 40.6                         | 30.2 | 36                            | 23.3  | 31.6                         | 27.1 | 26                            | 20.5  |
| 98    | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | RUPP  | 63                        | 29.9                         | 30.2 | 36                            | 22.0  | 23.1                         | 27.0 | 25                            | 19.3  |
| 385   | Potsdam             | Zeppelinstr.       | GRUN  | 118                       | 41.9                         | 30.1 | 36                            | 23.3  | 32.7                         | 26.9 | 25                            | 20.4  |
| 158   | Frankfurt (Oder)    | R.-Luxemburg-Str.  | RUPP  | 42                        | 30.6                         | 30.1 | 36                            | 21.9  | 23.5                         | 27.0 | 25                            | 19.3  |
| 524   | Cottbus             | Thiemstr.          | COTT  | 62                        | 36.4                         | 30.0 | 36                            | 24.3  | 28.0                         | 26.9 | 25                            | 21.4  |
| 443   | Cottbus             | Karl-Marx-Str.     | COTT  | 52                        | 33.9                         | 30.0 | 35                            | 24.1  | 26.2                         | 27.0 | 25                            | 21.4  |
| 383   | Altlandsberg        | Berliner Allee     | RUPP  | 41                        | 40.5                         | 30.0 | 35                            | 22.4  | 31.6                         | 26.8 | 25                            | 19.5  |
| 28    | Potsdam             | Jutestr.           | GRUN  | 57                        | 41.4                         | 29.4 | 33                            | 22.9  | 32.1                         | 26.3 | 23                            | 20.1  |
| 1008  | Eberswalde          | Breite Str.        | LIND  | 97                        | 43.2                         | 29.0 | 32                            | 21.3  | 33.4                         | 25.7 | 21                            | 18.3  |
| 5806  | Pritzwalk           | Havelberger Str.   | LIND  | 69                        | 50.0                         | 28.3 | 29                            | 21.0  | 39.1                         | 24.9 | 19                            | 17.8  |
| 11939 | Luckenwalde         | Zinnaer Str.       | COTT  | 93                        | 41.3                         | 28.0 | 28                            | 21.6  | 32.2                         | 24.9 | 19                            | 18.6  |
| 6052  | Pritzwalk           | Havelberger Str.   | LIND  | 56                        | 41.4                         | 25.6 | 21                            | 19.2  | 31.7                         | 22.7 | 14                            | 16.4  |
| 5807  | Pritzwalk           | Havelberger Str.   | LIND  | 55                        | 40.1                         | 25.2 | 20                            | 18.9  | 30.8                         | 22.4 | 13                            | 16.2  |

### 5.4.3.2 Prognose 2015

Für den best case des Prognosejahrs 2015 werden als Ergebnis der Screeningberechnungen für NO<sub>2</sub>, PM10 und PM2.5 für keinen Abschnitt Grenzwertüberschreitungen prognostiziert.

Für den worst case des Prognosejahrs 2015 wird als Ergebnis der Screeningberechnungen noch für zwei Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 198 m eine Überschreitung des gültigen NO<sub>2</sub>-Grenzwertes in Höhe von 40 µg/m<sup>3</sup> prognostiziert.

Der PM10-Jahresgrenzwert in Höhe von 40 µg/m<sup>3</sup> wird in allen Screeningberechnungen nicht überschritten. Der zum Tagesgrenzwert korrespondierende PM10-Jahresmittel-

wert in Höhe von  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (siehe Kapitel 2.4.3) wird im worst case 2015 an sieben Abschnitten mit einer Gesamtlänge von 757 m überschritten.

Bei Berücksichtigung eines möglichen Fehlers des Modells von 20 % bei  $\text{NO}_2$  und 10 % bei  $\text{PM}_{10}$  ergeben sich im worst case 25 Abschnitte mit  $\text{NO}_2$ -Grenzwertüberschreitungen und 42 Abschnitte mit einer Überschreitung des  $\text{PM}_{10}$ -Tagesgrenzwerts.

Der ab 2015 geltende  $\text{PM}_{2.5}$ -Grenzwert in Höhe von  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  wird in der Berechnung des worst case 2015 nicht überschritten.

Somit werden im worst case 2015 für  $\text{NO}_2$  und  $\text{PM}_{10}$  Substanzen weniger Abschnitte mit Grenzwertüberschreitungen berechnet als 2008. Bei  $\text{NO}_2$  finden sich 21 Abschnitte weniger mit einer Längenabnahme von insgesamt 1'989 m, bei  $\text{PM}_{10}$  fallen drei Abschnitte weg mit einer Längenabnahme von 359 m. Für  $\text{PM}_{2.5}$  wurden 2008 ebenfalls keine Grenzwertüberschreitungen berechnet.

In Tabelle 5-4 (siehe Kapitel 5.4.3.1) finden sich die berechneten Werte des worst case (WC) 2015 für die 52 Straßenabschnitte, die im worst case 2010 einen modellierten  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwert größer  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aufweisen oder für die eine Überschreitungen des  $\text{PM}_{10}$ -Tagesgrenzwertes prognostiziert wird.

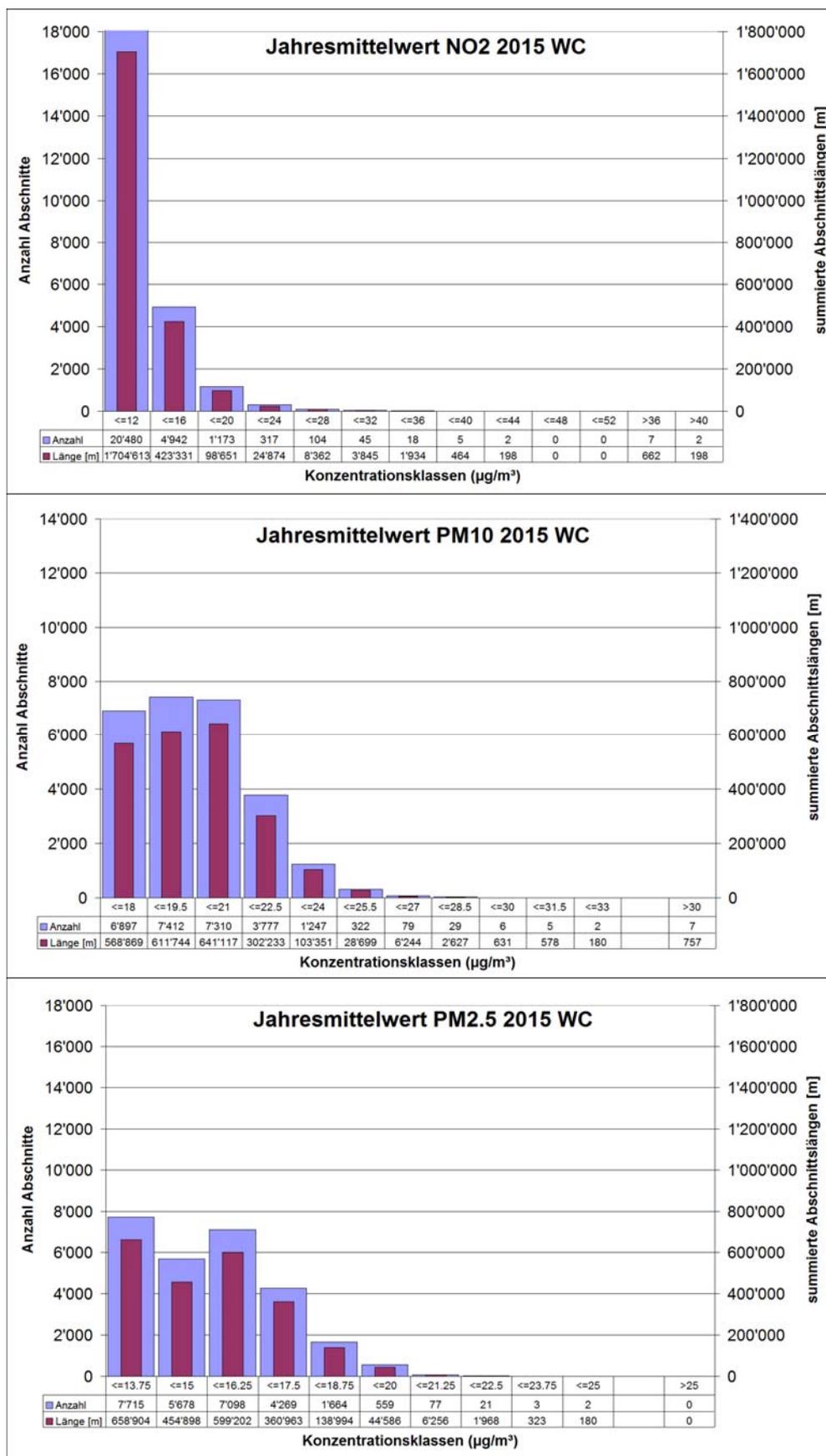


Abbildung 5-17: Häufigkeitsverteilung der Straßenabschnittszahl und Abschnittslänge in Konzentrationsklassen für 2015 im worst case

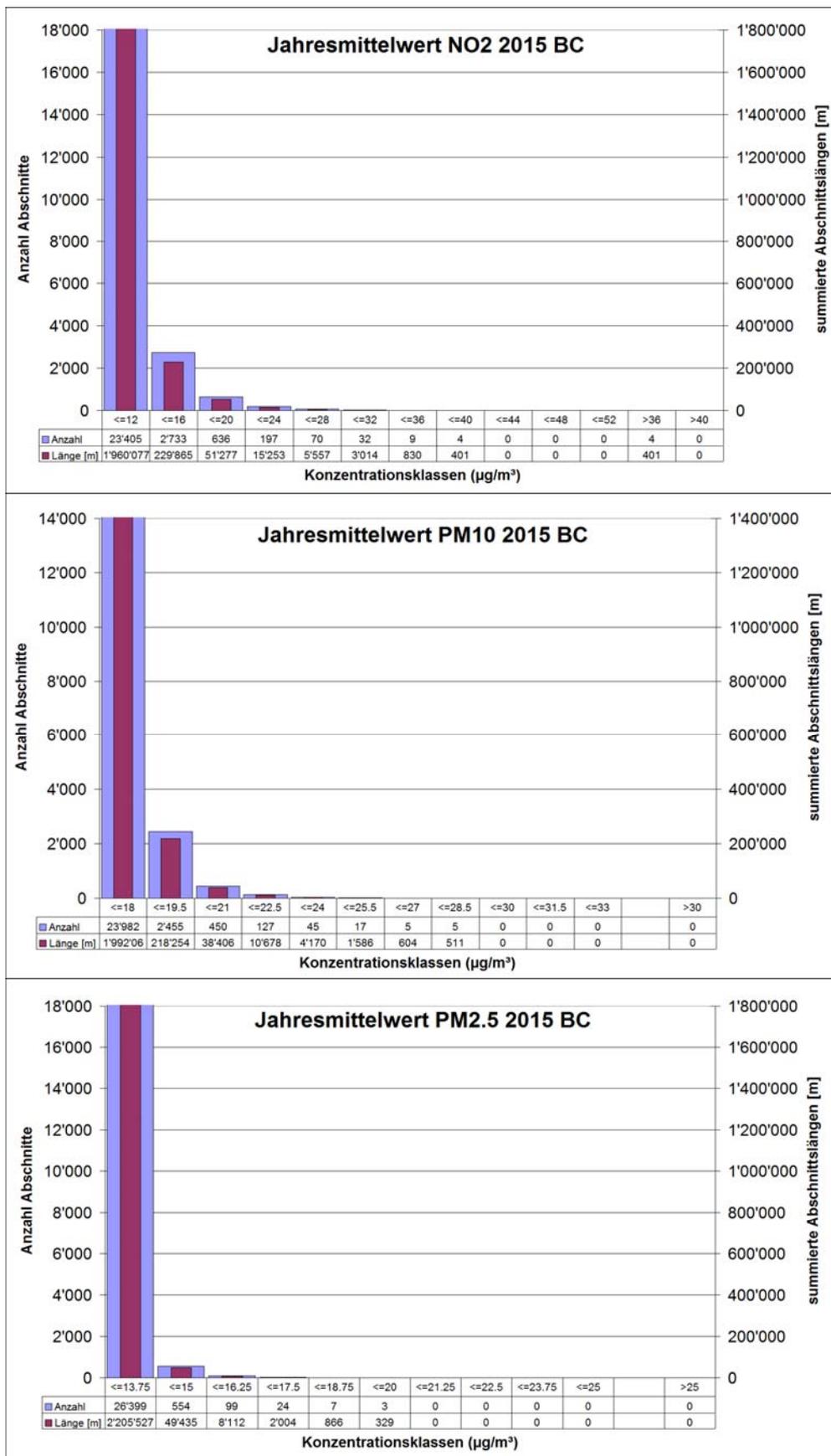


Abbildung 5-18: Häufigkeitsverteilung der Straßenabschnittszahl und Abschnittslänge in Konzentrationsklassen für 2015 im best case

In Tabelle 5-5 sind die Ergebnisse der Screeningberechnungen für 2008, 2010 und 2015 im Überblick zusammengeführt. Dargestellt wird hier die Anzahl der Abschnitte mit prognostizierten NO<sub>2</sub>- oder PM10-Grenzwertüberschreitungen sowie die summierte Länge diese Abschnitte. Für 2010 und 2015 wird jeweils unterschieden in worst case (WC), mid case (MC) und best case (BC).

**Tabelle 5-5: Anzahl Abschnitte mit NO<sub>2</sub>- oder PM10-Grenzwertüberschreitungen 2008, 2010 und 2015 sowie summierte Abschnittslänge**

|         | NO <sub>2</sub>                           |                               | PM10                                      |                               |
|---------|---|-------------------------------|---|-------------------------------|
|         | Abschnitte mit JMW > 40 µg/m <sup>3</sup> | Summierte Abschnittslänge [m] | Abschnitte mit JMW > 30 µg/m <sup>3</sup> | Summierte Abschnittslänge [m] |
| 2008    | 23  | 2'187                         | 10  | 1'116                         |
| 2010 WC | 32  | 3'177                         | 45  | 4'295                         |
| 2010 MC | 32  | 3'177                         | 11  | 1'276                         |
| 2010 BC | 15  | 1'432                         | 5   | 511                           |
| 2015 WC | 2   | 198                           | 7   | 757                           |
| 2015 MC | 2   | 198                           | 1   | 119                           |
| 2015 BC | 0   | 0                             | 0   | 0                             |

WC: worst case; MC: mid case; BC: best case



## 6 Qualitätssicherung

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurde für die Stichprobe der Hotspots im Bezugsjahr 2008 aus Kapitel 5.4.2 die reale Bebauungssituation anhand von Luftbildern geprüft und in Kapitel 6.1 exemplarisch für drei Hotspots die Belastungssituation diskutiert.

In Kapitel 6.2 wird die Sensitivität der modellierten Zusatzbelastung auf die Geometrieparameter dargestellt und damit der mögliche Fehler bezüglich der aus GIS-Daten abgeleiteten Bebauungsgeometrie im Vergleich zu konkreten Angaben diskutiert.

In Kapitel 5.3 wurde die Aufbereitung und Anwendung der meteorologischen Eingangsdaten beschrieben. Dabei hat die Skalierung der Windgeschwindigkeit einen wichtigen Einfluss auf die modellierte Zusatzbelastung. In Kapitel 6.3 wird die Sensitivität der Zusatzbelastung auf die Windgeschwindigkeit untersucht und damit die Wirkung auf das Screeningergebnis diskutiert.

Kapitel 6.5 stellt einen Vergleich von modellierten und gemessenen Konzentrationen gemäß der Richtlinie 2008/50/EG (EU, 2008) vor.

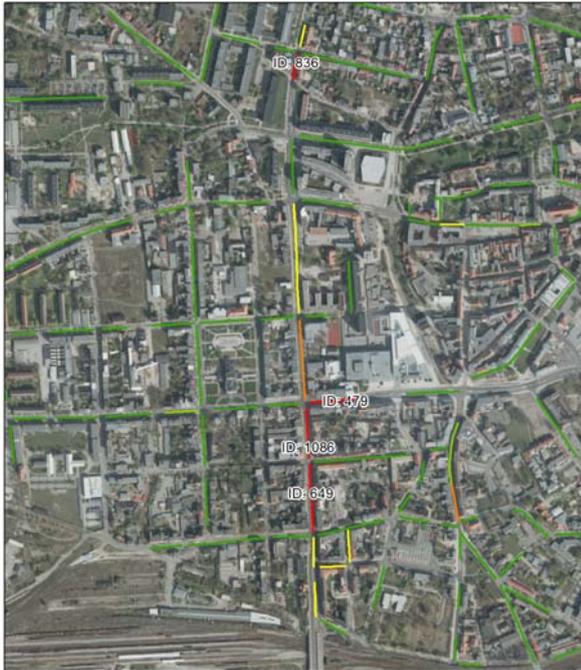
### 6.1 Überprüfung der Belastungssituation an Hotspots

In Abbildung 6-1 sind die Hotspots im Jahr 2008, die einen modellierten  $\text{NO}_2$ -Jahresmittelwert größer  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  aufweisen oder für die eine Überschreitungen des  $\text{PM}_{10}$ -Tagesgrenzwertes prognostiziert wird, in Luftbildern dargestellt. Die Sortierung folgt der Reihenfolge in Tabelle 5-3 in Kapitel 5.4.2, so dass die höchsten  $\text{PM}_{10}$ -Belastungen in den ersten Teilbildern dargestellt sind. Die Benennung der Teilbilder erfolgt auf Basis des jeweils höchstbelasteten Abschnitts im dargestellten Kartenausschnitt.

Alle Hotspots liegen in eng bebauten Straßenräumen. In den Fällen mit den höchsten Belastungen liegt eine geschlossene beidseitige Randbebauung vor. In der Marquardter Straße (Abbildung 6-1) liegt nur einseitige Bebauung vor.

Die gemäß Kapitel 5.2 ermittelten Abschnitte und zugehörigen Geometrieparameter stimmen mit der visuellen Bestimmung auf Basis der Luftbilder überein.

In einigen Fällen treten die Hotspots nur singulär im ansonsten eher niedrig belastetem Bereich auf. Dies gilt insbesondere in den größeren Städten, wie z. B. in Potsdam in der Behlerstraße und Zeppelinstraße oder in Cottbus in der Bahnhofstraße (Abbildung 6-2).



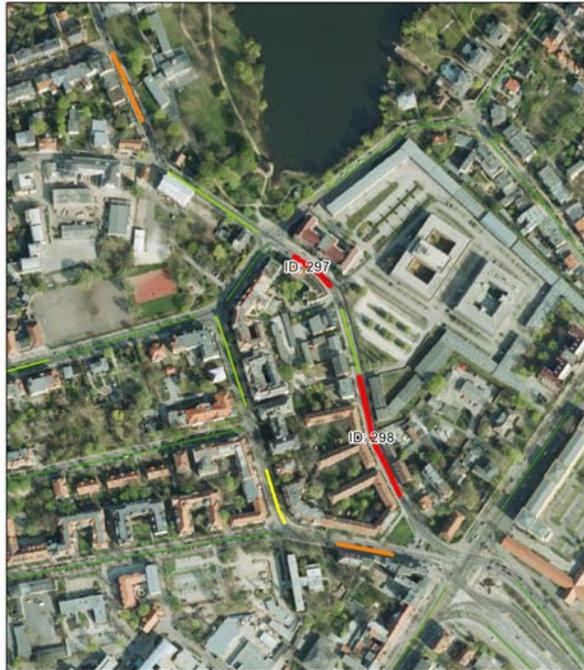
Jahresmittelwert NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität im Land Brandenburg

**Bahnhofstr., Karl-Marx-Str., K.-Liebknecht-Str. in Cottbus**

0 50 100 200 300 400 m

IVU Umwelt, Februar 2012



Jahresmittelwert NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität im Land Brandenburg

**Behlerstr. in der Landeshauptstadt Potsdam**

0 25 50 100 150 200 m

IVU Umwelt, Februar 2012



Jahresmittelwert NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität im Land Brandenburg

**Potsdamer Str. in Teltow**

0 25 50 100 150 200 m

IVU Umwelt, Februar 2012



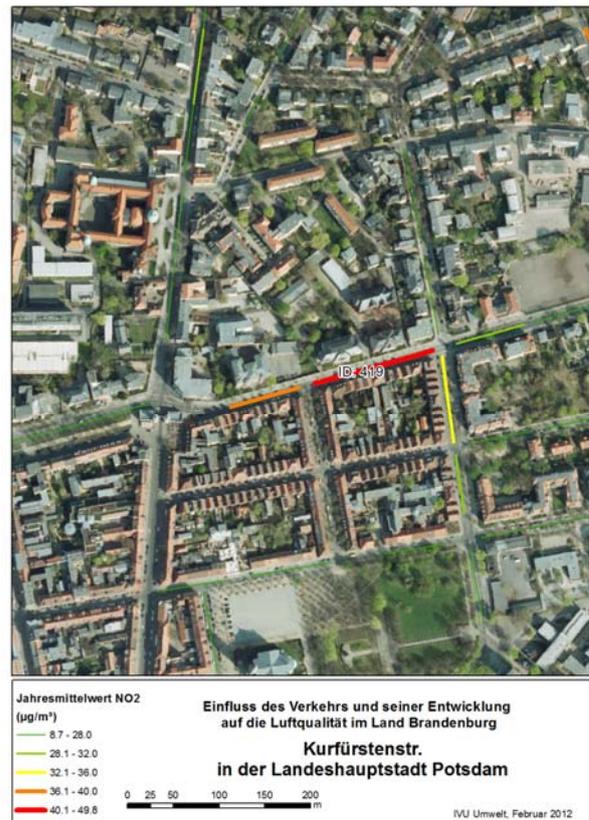
Jahresmittelwert NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>)

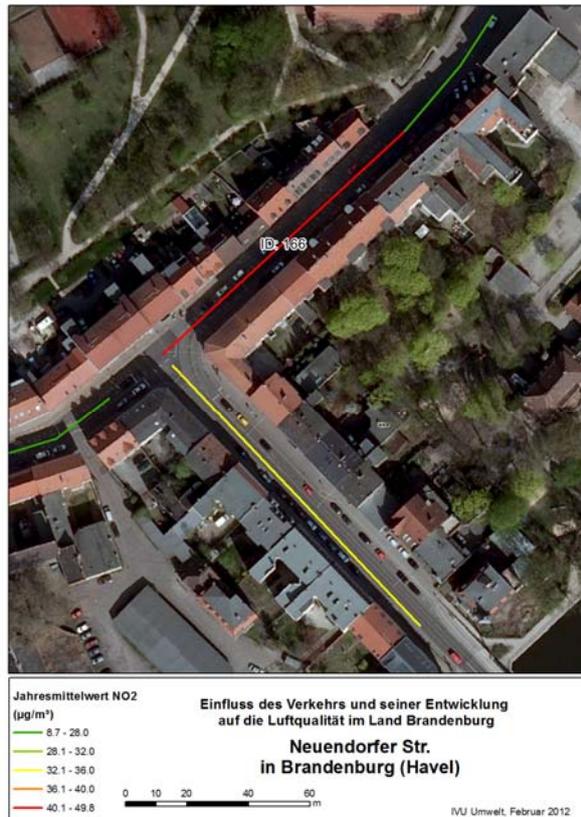
Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität im Land Brandenburg

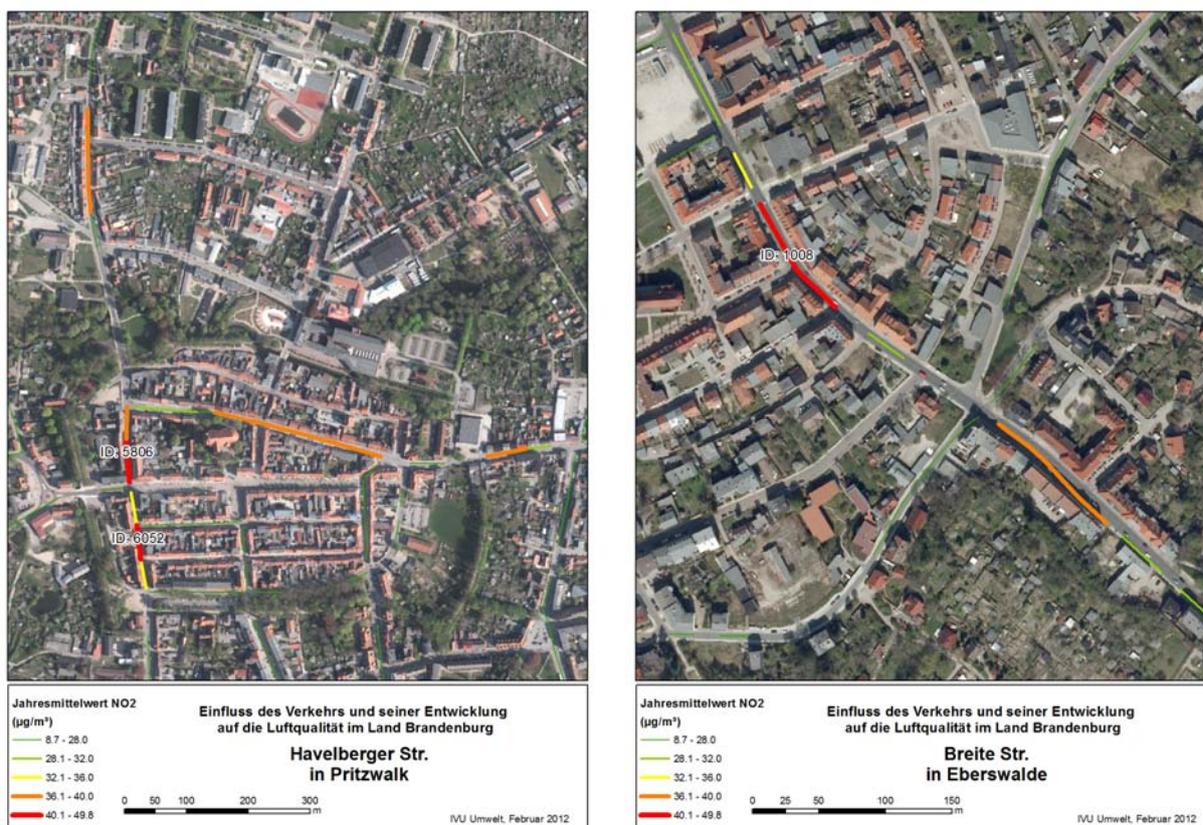
**Leipziger Str. in Frankfurt (Oder)**

0 50 100 200 300 m

IVU Umwelt, Februar 2012







**Abbildung 6-1: Hotspots 2008**

Unter den Hotspots aus Tabelle 5-3 finden sich einige Abschnitte, die mit DTV-Werten zum Teil deutlich unter 10'000 Kfz/Tag NO<sub>2</sub>-Konzentrationen im hohen Bereich bis über 10 % unter dem Grenzwert (36 µg/m<sup>3</sup>) aufweisen. Exemplarisch genannt sind die drei Abschnitte Jutestraße (Potsdam), Kryitzer Tor (Wittstock) und Bahnhofstraße (Bad Liebenwerda) (Tabelle 6-1), diese sind zudem in Abbildung 6-2 detailliert dargestellt. Zusätzlich zum Luftbild sind hierbei die zur Abschnittsbildung verwendeten Bebauungspolygone, eingefärbt nach der Gebäudehöhe, in das Bild integriert. In allen drei Fällen liegen extrem geringe Bebauungsabstände mit 8 m bis 10 m vor. Die Bebauungshöhe liegt bei 15 m, was zu einem Höhe zu Breite Verhältnis von 1.6 bis 1.9 führt. Alle drei Abschnitte sind relativ kurz. In der Jutestraße und dem Kyritzer Tor ist eine Repräsentativität der hohen NO<sub>2</sub>-Konzentration für 100 m Abschnittslänge eher unwahrscheinlich. In der Bahnhofstraße schließt sich aber ein Abschnitt mit ebenfalls hohem NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert von 24.8 µg/m<sup>3</sup> an, so dass eine hoher Wert auch unter Repräsentativitätsgesichtspunkten wahrscheinlich ist.

**Tabelle 6-1: Liste ausgewählter Hotspots 2008 mit niedrigem DTV**

| Abschnitt |                 |             | Meteo | Verkehr |             | Bebauungsgeometrie |        |              |       | Gesamtbelastung 2008 |      |                            |       |
|-----------|-----------------|-------------|-------|---------|-------------|--------------------|--------|--------------|-------|----------------------|------|----------------------------|-------|
| ID        | Stadt           | Name        |       | DTV     | Anteil SNfz | Höhe               | Breite | Lückenanteil | Länge | NO <sub>2</sub>      | PM10 | #Tage >50µg/m <sup>3</sup> | PM2.5 |
|           |                 |             |       | Kfz/Tag | %           |                    |        |              |       |                      |      |                            |       |
| 28        | Potsdam         | Jutestr.    | GRUN  | 4732    | 4.7         | 15                 | 8      | 23           | 57    | 39.4                 | 27.4 | 27                         | 19    |
| 4887      | Wittstock       | KyritzerTor | LIND  | 9600    | 6.0         | 15                 | 10     | 29           | 48    | 38.1                 | 24.2 | 17                         | 18    |
| 5429      | Bad Liebenwerda | Bahnhofstr. | COTT  | 5853    | 6.5         | 14                 | 9      | 22           | 32    | 39.0                 | 26.2 | 23                         | 19    |

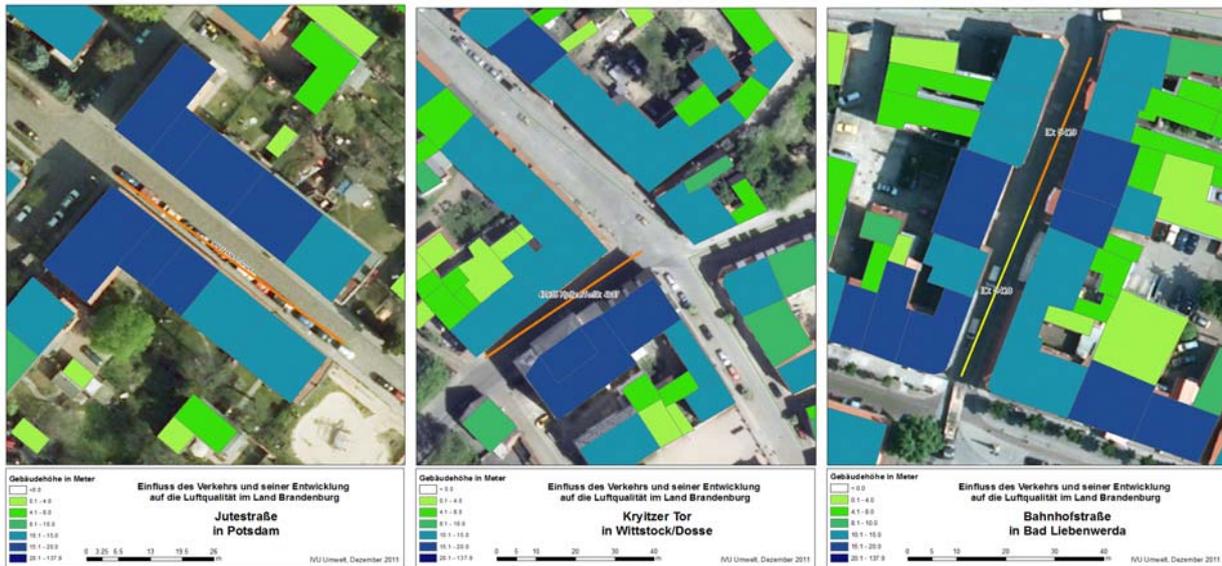


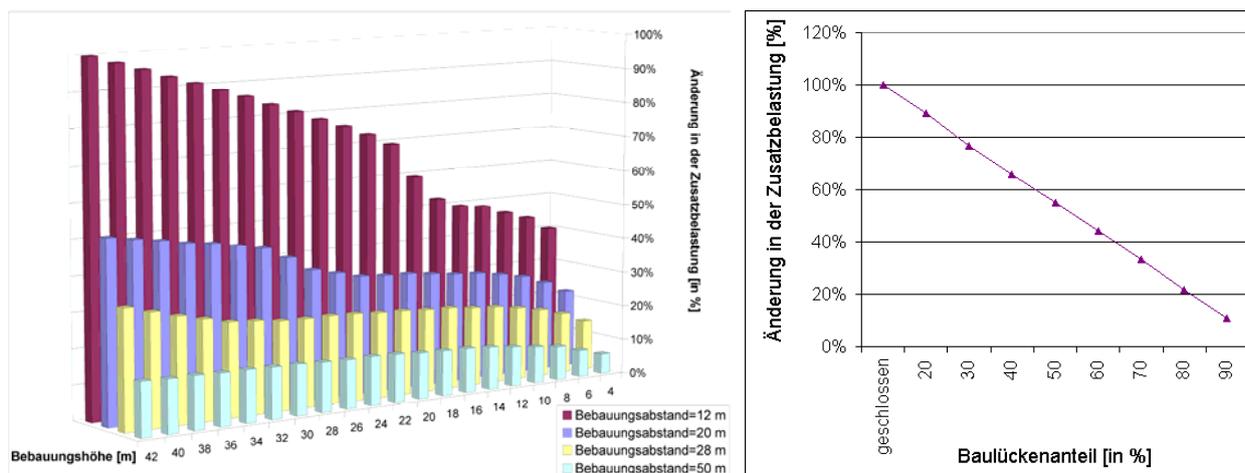
Abbildung 6-2: Ausgewählte Hotspots 2008 mit niedrigem DTV

## 6.2 Sensitivität Geometrie

Wie in Kapitel 5.2 beschrieben, wurde für die Berechnung der Zusatzbelastung für einen Straßenabschnitt mit dem Screeningmodell IMMIS<sup>luft</sup> die mittlere längengewichtete Bebauungshöhe und der mittlere längengewichtete Bebauungsabstand des Abschnittes bestimmt. Zur Darstellung der Sensitivität dieser Geometrieparameter wurden im Rahmen der Erstellung des Leitfadens „Modellierung verkehrsbedingter Immissionen - Anforderungen an die Eingangsdaten“ (LUBW, 2010) für die Bebauungsabstände 12 m, 20 m, 28 m und 50 m die Bebauungshöhen zwischen 4 m und 42 m in 2 m-Schritten variiert.

Die Ergebnisse der Sensitivität der Geometrie eines IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnittes auf die modellierte Zusatzbelastung ist in Abbildung 6-3 (links) dargestellt. Die Zusatzbelastung ist sowohl von der Bebauungshöhe als auch vom Bebauungsabstand abhängig. Mit Verringerung des Bebauungsabstandes steigt die Zusatzbelastung deutlich an. Bei geringem Bebauungsabstand (Bebauungsabstand  $\leq 20$  m) zeigt zudem die Bebauungshöhe eine hohe Sensitivität. Bei einem Bebauungsabstand von 50 m ist die Zunahme der Zusatzbelastung mit steigender Bebauungshöhe nur gering.

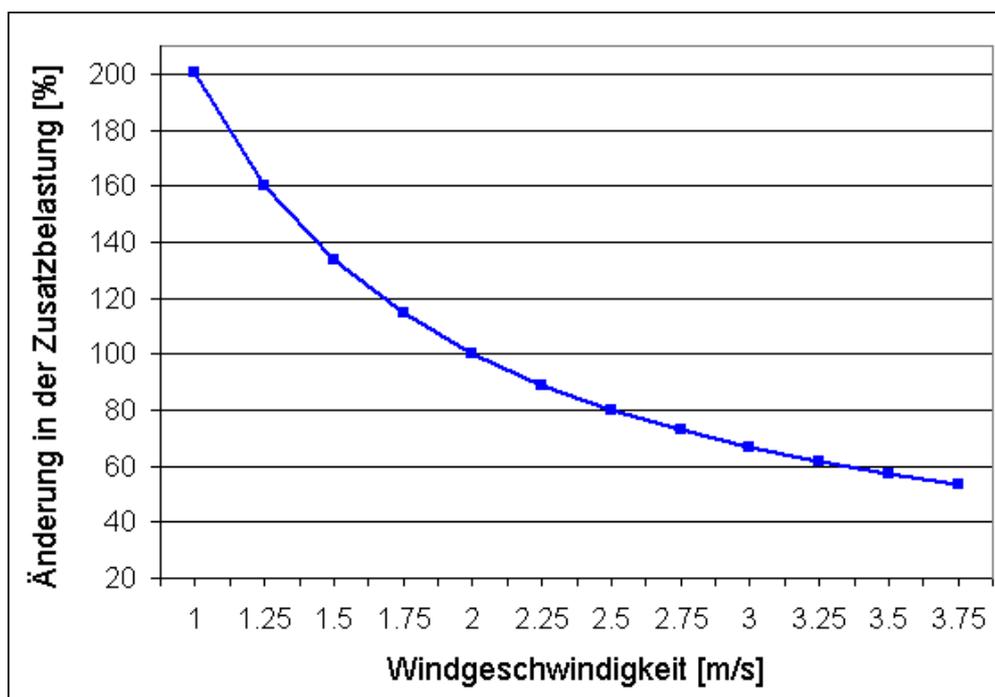
Zur Darstellung der Sensitivität der Zusatzbelastung auf Änderung des Baulückenanteils wurde dieser zwischen 20 % und 90 % in Schritten von 10 % variiert. Zusätzlich wurde die Zusatzbelastung bei geschlossener Bebauung berechnet. Die Ergebnisse der Sensitivität des Baulückenanteils eines IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnittes auf die modellierte Zusatzbelastung ist in Abbildung 6-3 (rechts) dargestellt. Die Zusatzbelastung sinkt mit zunehmendem Baulückenanteil aufgrund der Verbesserung der Belüftungssituation. Bei einem Baulückenanteil von 90 % werden nur noch 10 % des Maximalwertes bei geschlossener Bebauung erreicht.



**Abbildung 6-3: Sensitivität der Geometrie eines IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnittes auf die modellierte Zusatzbelastung**

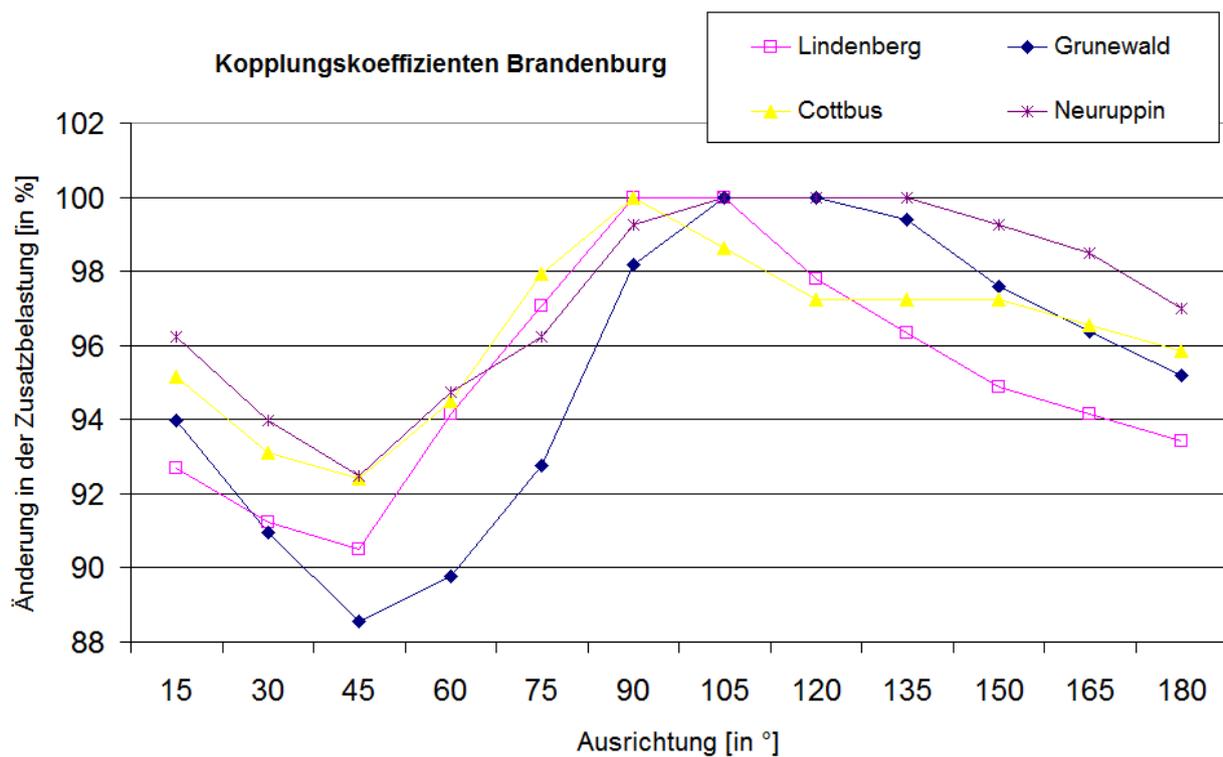
### 6.3 Sensitivität Meteorologie

In Kapitel 5.3 wurden die meteorologischen Daten der Ausbreitungsmodellierung im Screening detailliert beschrieben. Im Leitfaden „Modellierung verkehrsbedingter Immissionen - Anforderungen an die Eingangsdaten“ (LUBW, 2010) wurden die Auswirkungen der Änderungen der Windgeschwindigkeit auf die Zusatzbelastung aufgezeigt. Um die Wirkung der Windgeschwindigkeit darzustellen, wurde die mittlere Windgeschwindigkeit von 1 m/s bis 3.75 m/s unter Beibehaltung aller anderen Parameter variiert. Wie Abbildung 6-4 zeigt, sinkt die Zusatzbelastung mit zunehmender Geschwindigkeit. Die größte Abnahme ist dabei im Bereich von Windgeschwindigkeiten bis 2.5 m/s zu beobachten.



**Abbildung 6-4: Sensitivität der Zusatzbelastung in einer Straßenschlucht auf die Windgeschwindigkeit bezogen auf 2 m/s**

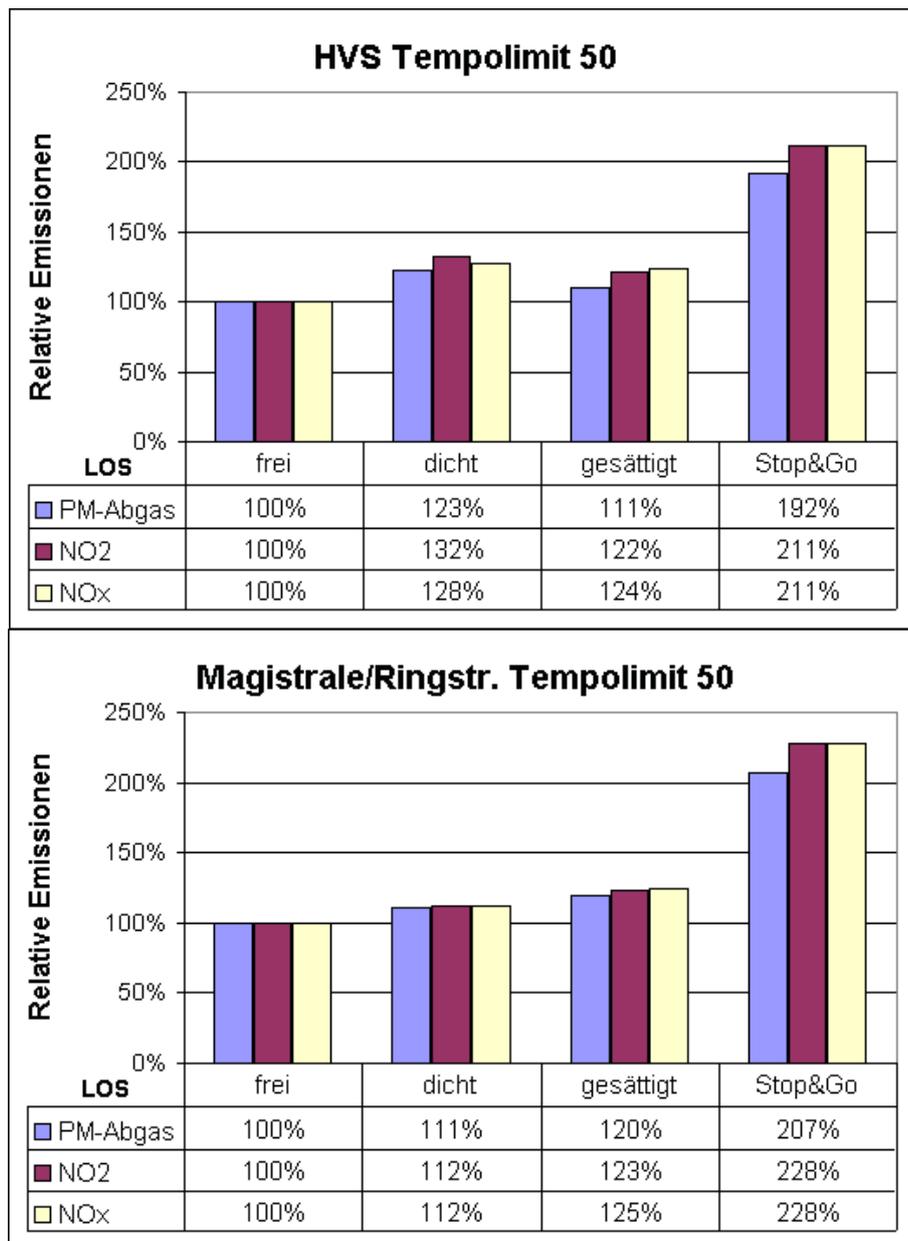
In Abbildung 6-5 wird die Änderung der Zusatzbelastung für die verwendeten Kopplungskoeffizienten in Bezug auf die mit den Kopplungskoeffizienten jeweils höchsten berechneten Zusatzbelastungen dargestellt. Die Änderung der Zusatzbelastung zeigt für alle Kopplungskoeffizienten einen ähnlichen Verlauf. Die niedrigsten Konzentrationen werden für eine Ausrichtung von 45 ° berechnet. Die höchsten Zusatzbelastungen treten bei Ausrichtung zwischen 90 ° und 135 ° auf, wobei für Cottbus und Lindenberg die Zusatzkonzentrationen schon ab 105 ° bzw. 120 ° wieder deutlich abfallen, während für Grunewald und Neuruppin die Zusatzkonzentrationen ab einer Ausrichtung von 150 ° absinken. Die Zusatzbelastungen variieren bei Änderung der Ausrichtung für die vier verwendeten Kopplungskoeffizienten von knapp 8 % bis über mehr als 11 %.



**Abbildung 6-5: Sensitivität der Zusatzbelastung in einer Straßenschlucht auf die verwendete Meteorologie**

#### 6.4 Sensitivität Level of Service (LOS)

In Abbildung 6-6 ist die Sensitivität der Emissionen für zwei verschiedene Verkehrssituationen (HVS 50 und Magistrale/Ringstr. 50) beispielhaft gegenüber gestellt. Für die Berechnung der Variation des „Level of Service“ wechseln alle Fahrzeuge den Verkehrszustand (LOS), d. h. der Anteil des betrachteten LOS am DTV ist 100 %. Bis auf das LOS3 (gesättigt) bei der Hauptverkehrsstraße steigen die Emissionen mit zunehmender Störung im Level of Service.



**Abbildung 6-6: Sensitivität der Emissionen bei Änderung des Verkehrszustandes (LOS) für 100 % der Fahrzeuge für zwei beispielhafte Verkehrssituationen für die Mischflotte 1 (Verkehrssituation oben: Agglomeration, Hauptverkehrsstraße, Tempolimit 50, Verkehrssituation unten: Agglomeration, Magistrale/Ringstr., Tempolimit 50, Bezugsjahr: 2010)**

## 6.5 Validierung

Bei der Berechnung der Belastungssituation für ein gesamtes Bundesland mit einem Screening-Modell müssen bei der Parametrisierung der Eingangsdaten Vereinfachungen vorgenommen und pauschale Annahmen getroffen werden. Um trotzdem eine Aussage über die Genauigkeit der eingesetzten Verfahren zu erhalten ist es sinnvoll, die berechneten Modellwerte mit Messungen an Hotspots zu vergleichen.

In Brandenburg wurden 2008 und 2010 an sieben Stationen mit direktem Verkehrsbezug Immissionsmessungen vorgenommen (siehe Abbildung 6-7). Für diese Stationen wird in den folgenden Kapiteln ein Vergleich der Mess- und Modellwerte vorgestellt.

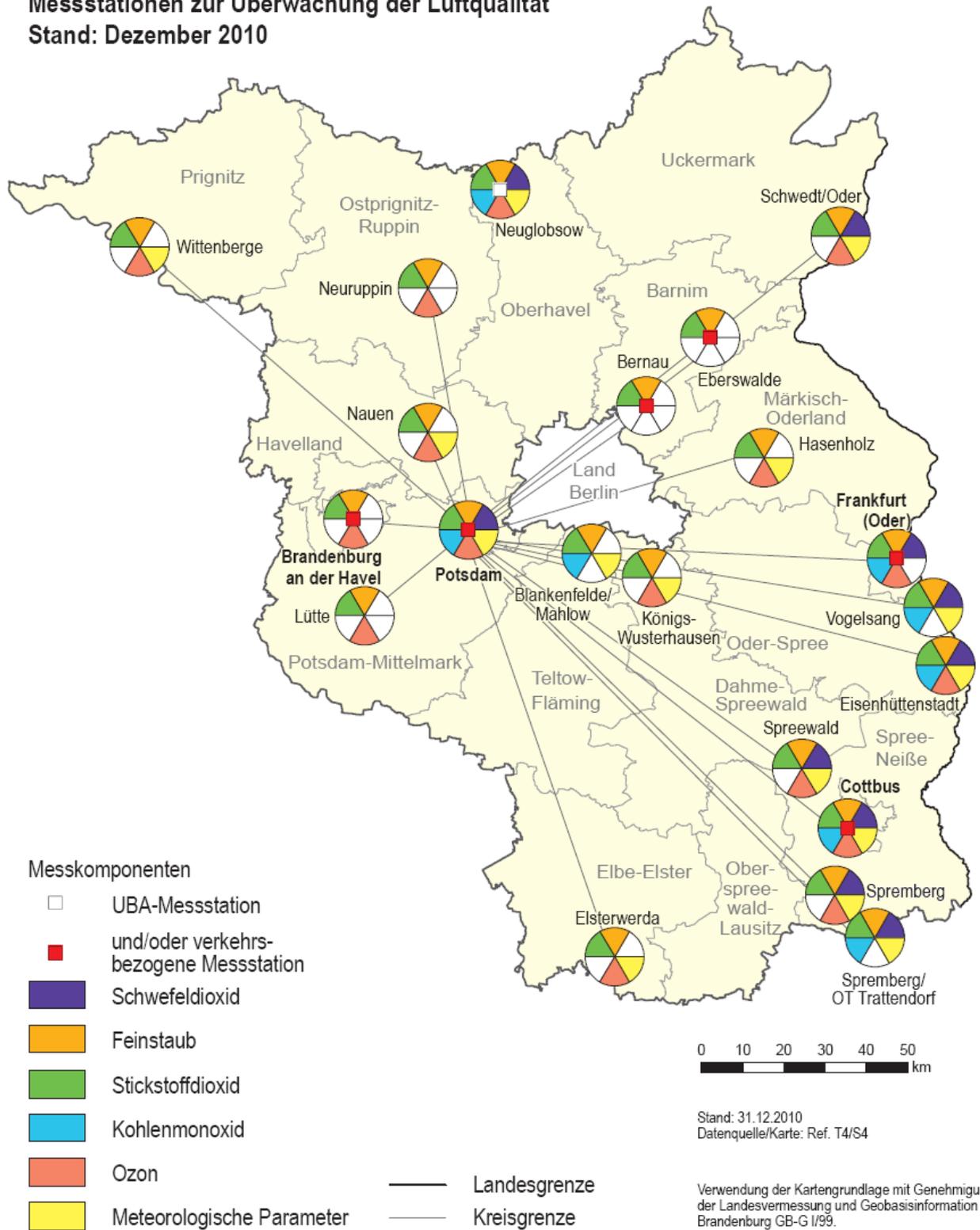
In Tabelle 6-2 sind die Eingangsdaten für die Screeningberechnungen an den Abschnitten aufgeführt, die den sieben Hotspot-Messstationen zugeordnet wurden.

**Tabelle 6-2: Eingangsdaten für die Modellierung an den Hotspots mit Messstationen**

| ID IL | Name                             | Verkehr |             |             | Typ | LOS |    |    |    | Meteo | Geometrie |    |     | Länge |
|-------|----------------------------------|---------|-------------|-------------|-----|-----|----|----|----|-------|-----------|----|-----|-------|
|       |                                  | DTV     | Anteil SNfz | Anteil LNfz |     | 1   | 2  | 3  | 4  |       | H         | B  | P   |       |
|       |                                  | Kfz/Tag | %           | %           |     | %   | %  | %  | %  |       | m         | m  | %   | m     |
| 28    | Bernau, Lohmühlenstr.            | 13600   | 7.1         | 5.0         | 3   | 5   | 95 | 0  | 0  | LIND  | 16        | 12 | 46  | 56    |
| 166   | Brandenburg, Neuendorfer Str.    | 15500   | 4.0         | 5.0         | 1   | 10  | 60 | 28 | 2  | COTT  | 16        | 14 | <20 | 107   |
| 1086  | Cottbus, Bahnhofstr.             | 34222   | 5.1         | 5.0         | 3   | 6   | 30 | 53 | 11 | COTT  | 18        | 30 | 24  | 119   |
| 1008  | Eberswalde, Breite Straße        | 18000   | 5.5         | 5.0         | 1   | 4   | 81 | 15 | 0  | LIND  | 13        | 14 | <20 | 97    |
| 5     | Frankfurt (Oder), Leipziger Str. | 30500   | 3.0         | 14.0        | 3   | 5   | 15 | 60 | 20 | RUPP  | 16        | 30 | 21  | 132   |
| 374   | Potsdam, Zeppelinstr.            | 25584   | 3.2         | 5.0         | 1   | 10  | 60 | 28 | 2  | GRUN  | 17        | 23 | 28  | 194   |
| 557   | Potsdam, Großbeerenstr.          | 12141   | 5.8         | 5.0         | 3   | 6   | 30 | 53 | 11 | GRUN  | 16        | 20 | 23  | 259   |

SNfz: Schwere Nutzfahrzeuge; Kfz über 3,5 t zul. Gesamtmasse;  
 LNfz: Leichte Nutzfahrzeuge; Kfz bis einschließlich 3,5 t zulässiger Gesamtmasse  
 Typ 1: Nebenstraße mit dichter Bebauung;  
 Typ 2: Hauptverkehrsstraße mit Lichtsignalanlage, geringe Störung;  
 Typ 3: BAB Tempolimit 60 km/h;  
 H: Höhe; B: Breite; P: Porosität

**Land Brandenburg**  
**Messtationen zur Überwachung der Luftqualität**  
**Stand: Dezember 2010**



**Abbildung 6-7: Luftgüte-Messtationen des Landes Brandenburg im Überblick (LUGV, 2010)**

### 6.5.1 Jahresmittelwert PM10

Tabelle 6-3 und Abbildung 6-8 zeigen die Mess- und Modellwerte für den PM10-Jahresmittelwert, in Abbildung 6-9 ist der dazugehörige Scatterplot der Mess- und Modellwerte für 2008 dargestellt.

Es wird deutlich, dass 2008 sowohl im Vergleich zu 2009 als auch zu 2010 an allen betrachteten Stationen niedrigere Werte für PM10 gemessen wurden. So beträgt der Mittelwert über die sieben Stationen 2008  $27.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 2009  $29.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und 2010 sogar  $31.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Für das Bezugsjahr 2008 werden die gemessenen Konzentrationen durch die Modellierung sehr gut wieder gegeben. An drei Stationen liegen die Werte dicht beieinander. Bei den anderen vier Stationen wird der Mittelwert leicht überschätzt, was im Mittel zu einer Überschätzung von knapp 6 % führt. Wie im Scatterplot in Abbildung 6-9 erkennbar, liegen alle Datenpunkte deutlich im Datenqualitätsziel von +/- 30 %.

Die Berechnung der PM10-Belastung für 2010 war im Projekt als Prognoseberechnung angelegt, weshalb ein Vergleich von Messungen und entsprechenden Modellwerten eine andere Qualität hat als ein Vergleich für das Basisjahr 2008. Wie bereits in Kapitel 4.5.2 diskutiert, wurden im Jahr 2010 auf Grund der deutlich ungünstigeren meteorologischen Situation gegenüber 2008 flächendeckend höhere PM10-Konzentrationen gemessen. Es wurden deshalb drei Varianten der Prognoseberechnungen durchgeführt, die mit den Messwerten aus 2010 verglichen wurden.

Bei diesem Vergleich zeigt sich, dass im best case (BC) die Messungen im Mittel um 15 % durch das Modell unterschätzt werden und im worst case (WC) die Unterschätzung im Mittel nur noch knapp 2 % beträgt. Dabei ist noch einmal herauszustellen, dass der worst case eine Anpassung der Prognose an die real in 2010 gemessene Situation darstellt. Die Scatterplots in Abbildung 6-9 zeigen aber, dass sowohl im best case wie auch im worst case die Wertepaare im Datenqualitätsziel von +/-30 % liegen.

**Tabelle 6-3: Tabellarischer Vergleich von PM10-Messungen und Modellwerten an Hotspots**

| Code    | Name                                | Messung PM10 |      |      | Modellierung |         |         |         |
|---------|-------------------------------------|--------------|------|------|--------------|---------|---------|---------|
|         |                                     | 2008         | 2009 | 2010 | 2008         | 2010 BC | 2010 MC | 2010 WC |
| DEBB068 | Bernau,<br>Lohmühlenstr.            | 25           | 28   | 31   | 24.8         | 23.4    | 25.3    | 27.3    |
| DEBB049 | Brandenburg,<br>Neuendorfer Str.    | 25           | 28   | 30   | 27.4         | 25.9    | 28.0    | 30.2    |
| DEBB044 | Cottbus,<br>Bahnhofstr.             | 33           | 34   | 34   | 32.9         | 31.1    | 33.5    | 35.8    |
| DEBB060 | Eberswalde,<br>Breite Straße        | 26           | 27   | 31   | 26.1         | 24.8    | 26.9    | 29.0    |
| DEBB045 | Frankfurt (Oder),<br>Leipziger Str. | 28           | 30   | 35   | 31.8         | 30.0    | 32.5    | 35.1    |
| DEBB054 | Potsdam,<br>Zeppelinstr.            | 27           | 28   | 32   | 28.8         | 27.1    | 28.9    | 30.7    |
| DEBB073 | Potsdam,<br>Großbeerenstr.          | 26           | 28   | 30   | 28.7         | 27.1    | 28.9    | 30.7    |
|         | Mittelwert                          | 27.1         | 29.0 | 31.9 | 28.6         | 27.1    | 29.1    | 31.3    |
|         | Abweichung                          |              |      |      | 5.5%         | -15.1%  | -8.5%   | -1.9%   |

BC: best case; MC: mid case; WC: worst case

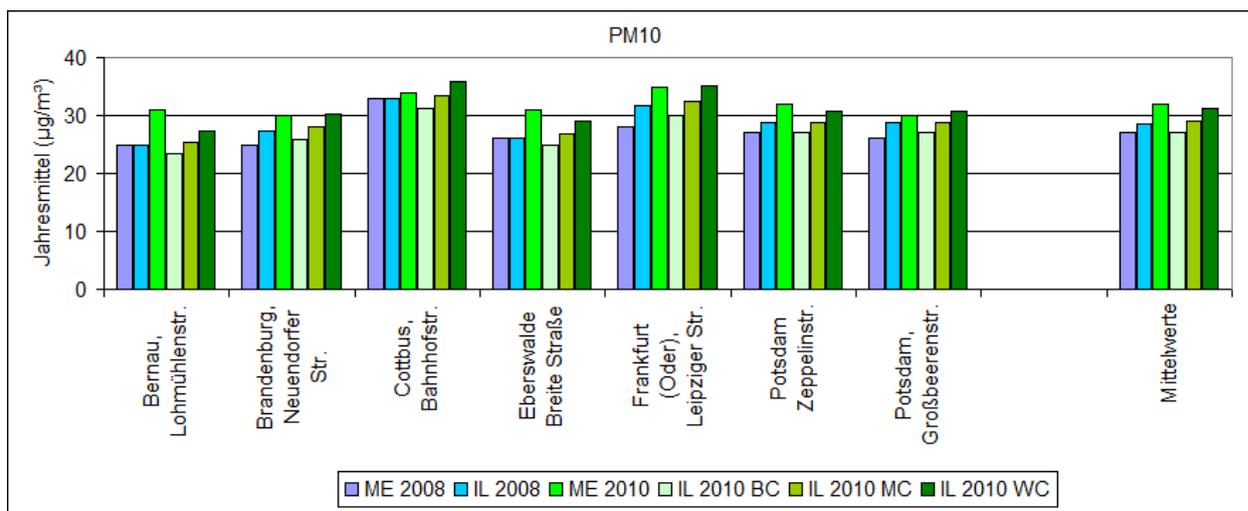


Abbildung 6-8: Vergleich Mess- und Modellwerte für den PM10-Jahresmittelwert

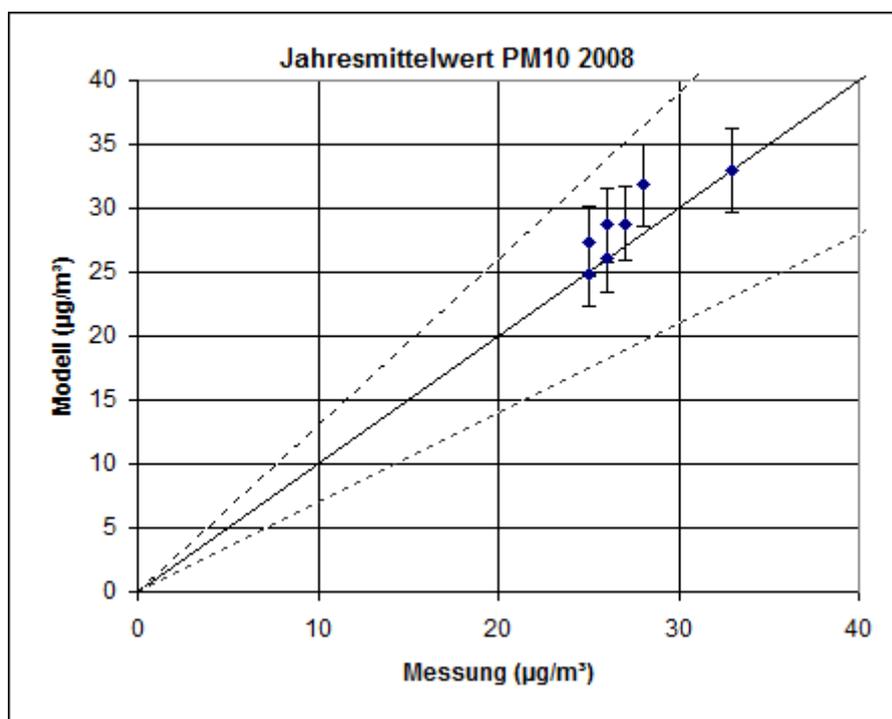
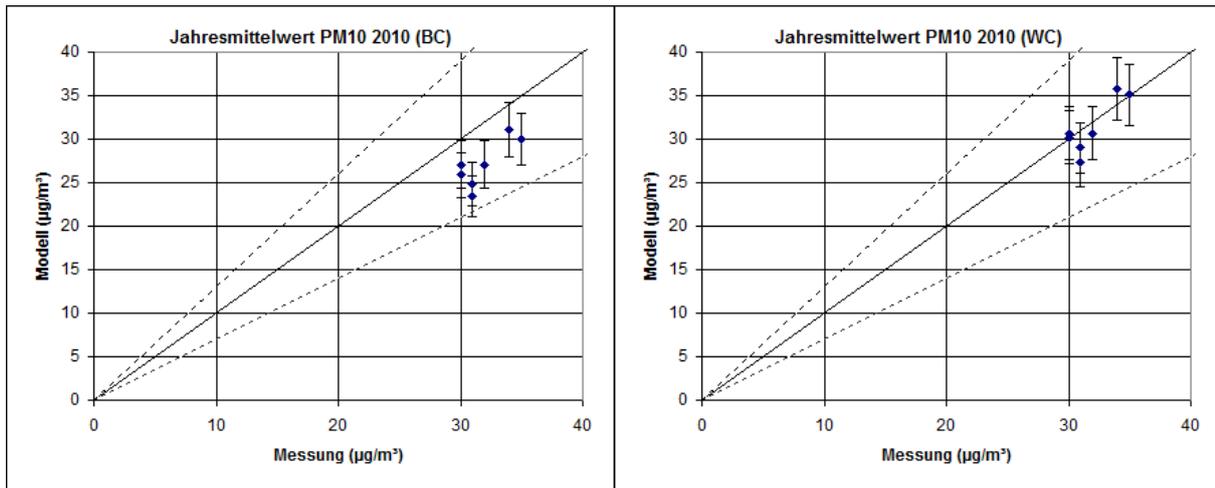


Abbildung 6-9: Scatterplot der Mess- und Modellwerte für den PM10-Jahresmittelwert 2008 mit Datenqualitätsziel +/- 30 % und Fehlerbalken am Modellwert von 10 %



**Abbildung 6-10: Scatterplot der Mess- und Modellwerte für den PM10-Jahresmittelwert 2010 mit Datenqualitätsziel +/- 30 % und Fehlerbalken am Modellwert von 10 % für den best case (links) und den worst case (rechts)**

### 6.5.2 Jahresmittelwert NO<sub>2</sub>

Tabelle 6-4 und Abbildung 6-11 zeigen die Mess- und Modellwerte für den NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert, in Abbildung 6-12 ist der dazugehörige Scatterplot der Mess- und Modellwerte für 2008 dargestellt.

Anders als bei PM10 ist beim Jahresmittelwert von NO<sub>2</sub> die Variation zwischen 2008, 2009 und 2010 nicht ausgeprägt. Die Mittelwerte über alle sieben Stationen liegen in allen drei Jahren dicht beieinander.

Die Übereinstimmung von Mess- und Modellwerten ist bei NO<sub>2</sub> nicht so gut wie bei PM10. Bei zwei Stationen (Potsdam, Zeppelinstraße und Frankfurt, Leipziger Straße) liegen die Modellwerte 2008 dicht bei den Messwerten. Bei den Stationen Cottbus, Bahnhofstraße und Potsdam, Großbeerenstraße beträgt die Abweichung weniger als 20 %, wobei in der Großbeerenstraße der Messwert um 18 % unterschätzt und in der Bahnhofstraße um 17 % überschätzt wird. In den drei Hotspots Bernau, Lohmühlenstraße, Brandenburg, Neuendorfer Straße und Eberswalde, Breite Straße liegen die Messwerte deutlich unter den modellierten NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerten, so dass die Abweichung größer als 30 % ist. Im Mittel werden die Messwerte durch die Modellierung um knapp 14 % überschätzt.

Der Vergleich der für 2010 modellierten und gemessenen NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte zeigt, dass die Übereinstimmung besser wird. Nur noch bei der Station Eberswalde, Breite Straße wird der Messwert um mehr als 30 % überschätzt.

**Tabelle 6-4: Tabellarischer Vergleich von Mess- und Modellwerten für den NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert**

| Code    | Name                             | Messung NO <sub>2</sub> |      |      | Modellierung |         |         |
|---------|----------------------------------|-------------------------|------|------|--------------|---------|---------|
|         |                                  | 2008                    | 2009 | 2010 | 2008         | 2010 BC | 2010 WC |
| DEBB068 | Bernau, Lohmühlenstr.            | 27                      | 27   | 29   | 36.9         | 35.1    | 35.6    |
| DEBB049 | Brandenburg, Neuendorfer Str.    | 31                      | 37   | 43   | 41.6         | 40.3    | 43.1    |
| DEBB044 | Cottbus, Bahnhofstr.             | 40                      | 44   | 40   | 46.7         | 45.3    | 48.6    |
| DEBB060 | Eberswalde, Breite Straße        | 29                      | 27   | 28   | 44.3         | 43.2    | 43.2    |
| DEBB045 | Frankfurt (Oder), Leipziger Str. | 38                      | 35   | 36   | 39.7         | 38.8    | 42.0    |
| DEBB054 | Potsdam, Zeppelinstr.            | 44                      | 45   | 45   | 41.5         | 40.0    | 43.4    |
| DEBB073 | Potsdam, Großbeerenstr.          | 47                      | 43   | 43   | 39.5         | 37.7    | 41.3    |
|         | Mittelwert                       | 36.6                    | 36.9 | 37.7 | 41.5         | 40.1    | 42.5    |
|         | Abweichung                       |                         |      |      | 13.4%        | 6.2%    | 12.6%   |

BC: best case; MC: mid case; WC: worst case

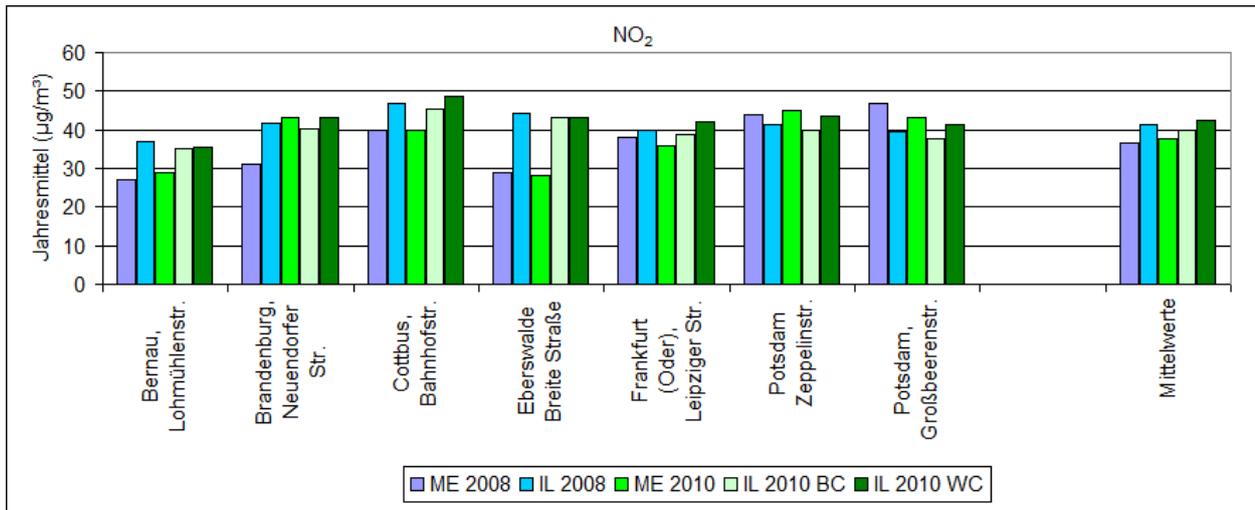


Abbildung 6-11: Mess- und Modellwerte für den NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert

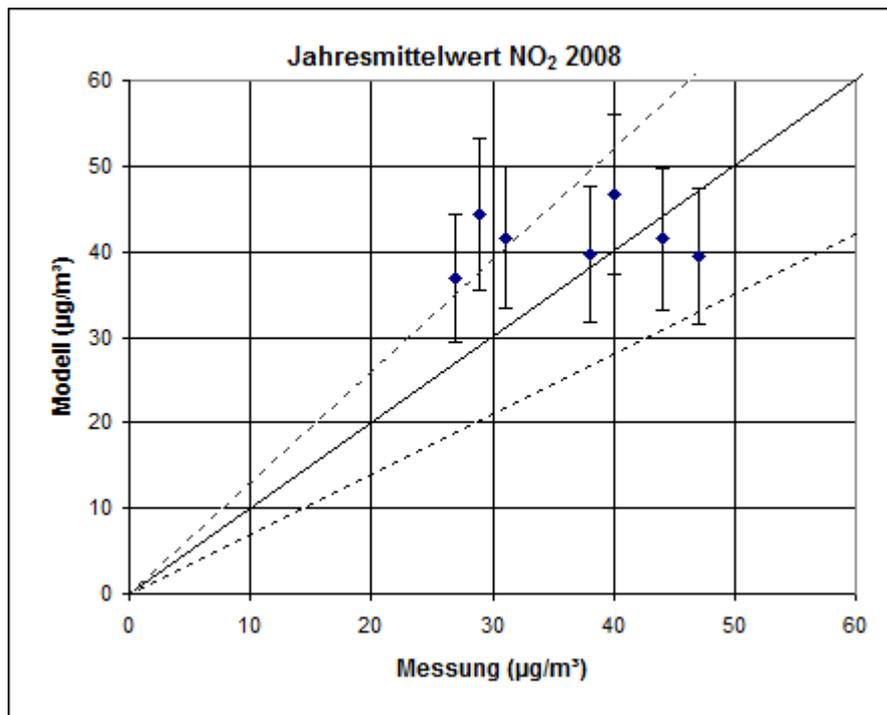
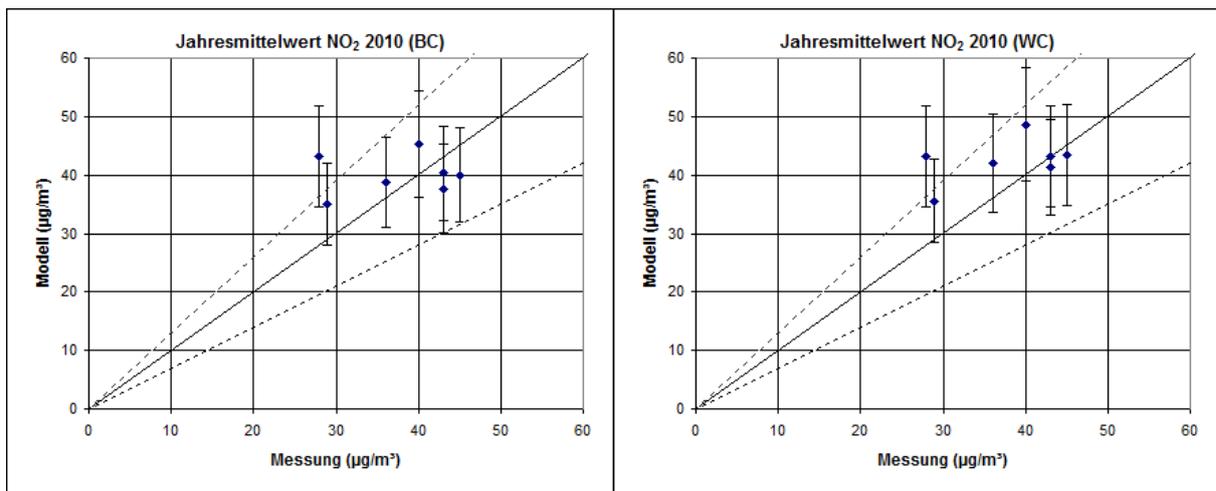


Abbildung 6-12: Scatterplot der Mess- und Modellwerte für den NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert 2008 mit Datenqualitätsziel +/- 30 % und Fehlerbalken am Modellwert von 20 %<sup>6</sup>

<sup>6</sup> Die Richtlinie 2008/50/EG fordert für die Modellierung des NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerts ein Qualitätsziel von 30 %. In Diegmann & Mahlau (1999), Diegmann & Hartmann (2006) und LUBW (2010) wird gezeigt, dass basierend auf Validierungen und Sensitivitätsbetrachtungen bei NO<sub>2</sub> von Fehlern im Bereich von 20 % bei der Screeningberechnung mit IMMIS<sup>luft</sup> ausgegangen werden muss. Da bei PM<sub>10</sub> die Zusatzbelastung nur ca. 1/3 der Gesamtbelastung beträgt, ist eine Variation um +/- 20 % nicht plausibel. Eine Fehler-toleranz von +/- 10 % muss aber immer angenommen werden.



**Abbildung 6-13: Scatterplot der Mess- und Modellwerte für den NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwert 2010 mit Datenqualitätsziel +/- 30 % und Fehlerbalken am Modellwert von 20 % für den best case (links) und den worst case (rechts)**

## 7 Zusammenfassung

Um den Einfluss des Verkehrs und seiner Entwicklung auf die Luftqualität im Land Brandenburg zu untersuchen, wurde durch den Einsatz des Screeningprogramms IM-MIS<sup>luft</sup> landesweit die Immissionsbelastung verkehrsbezogener Luftschadstoffe in bebauten Straßenräumen berechnet.

Dazu wurde eine für Brandenburg spezifische Datengrundlage erarbeitet hinsichtlich

- der Kfz-Fahrzeugflottenzusammensetzung,
- dem Emissionskataster des Kfz-Verkehrs auf der Basis des HBEFA 3.1,
- der landesweiten Vorbelastung für die Jahre 2008, 2010 und 2015,
- regionalisierter meteorologischer Eingangsdaten sowie
- der Geometrieingangsdaten der Bebauung.

Die landesweite Vorbelastung in Brandenburg wurde für 2008 durch eine Kombination von Messungen und RCG-Modellrechnungen mit FLADIS erstellt. Auf Grund der sich im Vergleich von 2010 gegenüber 2008 deutlich erhöhten PM<sub>10</sub>-Belastung und nicht geminderter NO<sub>2</sub>-Belastung wurden für die Prognose der Vorbelastung für 2010 und 2015 zwei Varianten berechnet: ein best case unter der Annahme der meteorologischen Situation von 2008 und jeweils angenommener Emissionsrückgänge von 2008 nach 2010 bzw. 2015 sowie ein worst case, bei dem die Zeitreihen der Messungen des Jahres 2008 zuerst auf das Niveau von 2010 skaliert wurden und diese dann mit den RCG-Modellwerten für 2010 bzw. 2015 kombiniert wurden.

Als Ergebnis des Screenings wurden für 27'086 Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 2'266 km an vom Straßenverkehr belasteten Innerortsstraßen mit Randbebauung die Gesamtbelastungen für die Schadstoffe NO<sub>2</sub> und PM<sub>10</sub>/PM<sub>2.5</sub> berechnet.

2008 werden für 23 Abschnitte mit einer Gesamtlänge von 2'187 m Überschreitungen des gültigen NO<sub>2</sub>-Grenzwertes in Höhe von 40 µg/m<sup>3</sup> prognostiziert. Eine Berücksichtigung einer Fehlertoleranzbereichs in Höhe von 10 % verdreifacht die Anzahl der potentiellen Straßenabschnitte mit Grenzwertüberschreitung annähernd.. Der zum Tagesgrenzwert korrespondierende PM<sub>10</sub>-Jahresmittelwert in Höhe von 30 µg/m<sup>3</sup> wird an 10 Abschnitten mit einer Gesamtlänge von 1'116 m überschritten. 10 % Fehlertoleranz bedeuten annähernd eine Verfünffachung der Abschnitte mit prognostizierter Grenzwertüberschreitung.

2010 gehen gegenüber 2008 im best case die Belastungszahlen für NO<sub>2</sub> um 35 % und für PM<sub>10</sub> um ca. 50 % zurück. Im worst case steigen die Belastungswerte für NO<sub>2</sub> von 2008 nach 2010 um ca. 40 % an. Auf Grund des sehr hohen Anstiegs der Vorbelastung für PM<sub>10</sub> von 2008 nach 2010 steigt die Überschreitungsanzahl um den Faktor 3.5 und die Überschreitungslänge um den Faktor 2.8.

Bis zum Jahr 2015 gehen die Belastungen unter der Annahme sinkender Emissionen deutlich zurück. Im best case werden keine Überschreitungen mehr prognostiziert. Im worst case treten zwei Abschnitte mit einer NO<sub>2</sub>-Grenzwertüberschreitung (Gesamtlänge ca. 200 m) und 7 Abschnitte mit einer Überschreitung des PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwerts (Gesamtlänge ca. 750 m) auf. Bei Betrachtung des mid case im Jahr 2015 wird für NO<sub>2</sub> bei zwei Abschnitten (Gesamtlänge 170 m) und für PM<sub>10</sub> bei einem Abschnitt (Länge 119 m) eine Grenzwertüberschreitung prognostiziert. Bei Berücksichtigung eines möglichen Fehlers des Modells von 20 % bei NO<sub>2</sub> und 10 % bei PM<sub>10</sub> ergeben sich im worst

case 25 Abschnitte mit NO<sub>2</sub>-Grenzwertüberschreitungen und 42 Abschnitte mit einer Überschreitung des PM<sub>10</sub>-Tagesgrenzwerts.

Eine individuelle Prüfung der ermittelten Hotspots zeigt, dass neben hohen Verkehrsstärken vor allem auch eine sehr ungünstige Bebauungssituation Ursache für die hohen Konzentrationen ist.

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurde u. a. ein Vergleich von Modell und Messung gemäß der Richtlinie 2008/50/EG (EU, 2008) an den Straßenmessstationen in Brandenburg durchgeführt. Bei PM<sub>10</sub> wird 2008 eine sehr gute Übereinstimmung mit einer mittleren Überschätzung des Messwertes durch das Modell von 6 % festgestellt. In der Prognose 2010 unterschätzt der best case die Messung im Mittel um 15 % und der worst case nur um 2 %. Bei allen PM<sub>10</sub>-Jahresmittewerten liegen die Modellwerte innerhalb einer Toleranzmarge von 30 %. Der Vergleich der NO<sub>2</sub>-Werte zeigt, dass das Modell die Messung 2008 im Mittel um 13 % und 2010 um 6 % (best case) bzw. 13 % (worst case) überschätzt. Die Streuung der Wertepaare ist aber deutlich größer als bei PM<sub>10</sub>. Bei drei Verkehrsstationen 2008 und einer Station 2010 liegen die Modellwerte oberhalb des Datenqualitätsziels von +30 %.

Mit der im Rahmen des Projekts erfolgten Übergabe der Daten und der teilweisen Integration der aufgebauten Datenbasis in die Umwelt- und Verkehrsdatenbank (USDB) des Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (LUGV) Brandenburg besteht die Möglichkeit, die den Berechnungen zugrunde liegenden Daten zu verbessern und zu aktualisieren und neue Berechnungen zum Einfluss des Verkehrs auf die Luftqualität im Land Brandenburg durchzuführen.



## 8 Literatur

- Cressie, N., 1993: Statistics for Spatial Data. Wiley-Interscience. 1993.
- Diegmann, V., 2010: Auswirkung der neuen Emissionsfaktoren bei der Berechnung der Immissionsbelastung. In: Bayerisches Landesamt für Umwelt (Hrsg.): Luftreinhalte-/ Aktionsplanung - Maßnahmen gegen Feinstaub und Stickstoffoxide. Dokumentation der Fachtagung, 12.10.2010 in Augsburg. 2010.
- Diegmann, V.; Hartmann, U., 2006: Vergleich von berechneten Luftschadstoffbelastungen mit gemessenen Luftqualitätsdaten im Straßenraum. Immissionsschutz Nr. 2, S. 73-77. 2006.
- Diegmann, V.; Mahlau, A., 1999: Vergleich von Messungen der Luftschadstoffbelastungen im Straßenraum mit Berechnungen des Screening-Modells IMMIS<sup>luft</sup>. Immissionsschutz Nr. 3, S. 76-83. 1999.
- Düring, I.; Bächlin, W., 2009: Tendenzen der NO<sub>2</sub>-Belastung im Land Brandenburg. Im Auftrag des Ministeriums für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz des Landes Brandenburg. Unter Mitarbeit von IFEU GmbH, Heidelberg, Planungsbüro Dr. Hunger, Dresden und National Environmental Research Institute (NERI), Roskilde, Dänemark. 2009.
- Düring, I.; Bössinger, R.; Lohmeyer, A., 2005: PM10-Emissionen an Außerortsstraßen. Mit Zusatzuntersuchung zum Vergleich der PM10-Konzentrationen aus Messungen an der A1 Hamburg und Ausbreitungsberechnungen. BAST-Bericht V 125. 2005.
- Düring, I.; Schmidt, W., 2011: Einbindung des HBEFA 3.1 in das FIS Umwelt und Verkehr sowie Neufassung der Emissionsfaktoren für Aufwirbelung und Abrieb des Straßenverkehrs. Unter Mitarbeit der TU Dresden, BEAK Consultants GmbH. Auftraggeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG). 2011.
- EEA, 2011: AirBase - the European air quality database. On behalf of the European Environment Agency. <http://www.eea.europa.eu/themes/air/airbase>.
- EU, 2008: Richtlinie 2008/50/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 21. Mai 2008 über Luftqualität und saubere Luft für Europa. Amtsblatt der Europäischen Union Nr. L 152, S. 1. 2008.
- Flemming, J., 2003: Immissionsfelder aus Beobachtung, Modellierung und deren Kombination. Dissertation. Freie Universität Berlin, Fachbereich Geowissenschaften. <http://www.diss.fu-berlin.de/2003/71>. 2003.
- Flemming, J.; Stern, R.; Yamartino, R. J., 2005: A new air quality regime classification scheme for O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub> and PM10 observations sites. Atmospheric Environment 39, S. 6121-6129. 2005.
- Friedrich, U., 2010: Vergleich von Emissionsberechnungen der Handbücher für Emissionsfaktoren HBEFA 3.1 bzw. 2.1 anhand einer Beispielstraße. 3. Freiburger Workshop "Luftreinhaltung und Modelle", 29.-30.6.2010, IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2010.
- Gandin, L. S., 1965: Objective Analysis of meteorological fields. Translated 1965 from Russian by Israeli Program for Scientific Translations. Jerusalem, 1965.

- Hardy, R. L., 1990: Theory and application of the multiquadratic-biharmonic method. *Comp. Math. Appl.* 19 Nr. 8/9, 1990.
- Hertel, O.; Berkowicz, R., 1989: Modelling NO<sub>2</sub> concentrations in a street canyon. DMU Luft A-131. National Environmental Research Institute, Division of Emissions and Air pollution, Denmark. 1989.
- INFRAS, 2010: Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs. HBEFA Version 3.1. Dokumentation in Vorbereitung. Auftraggeber: UBA Berlin, BAFU Bern, UBA Wien u. a. 2010.
- IVU Umwelt, 2002: Automatische Klassifizierung der Luftschadstoff-Immissionsmessungen aus dem LIMBA-Meßnetz. FE-Vorhaben FKZ 200 42 265. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2002.
- IVU Umwelt, 2004: Ausbreitungsrechnungen als Beitrag zur Ursachenanalyse im Ballungsraum Rhein-Main. Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2004.
- IVU Umwelt, 2006a: Maßnahmen zur Reduzierung von Feinstaub und Stickstoffdioxid. FKZ 204 42 222. Veröffentlichung UBA-Texte 22/07. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Unter Mitarbeit von ifeu Heidelberg GmbH. 2006.
- IVU Umwelt, 2006b: Ausbreitungsrechnungen zum Luftreinhalteplan Lahn-Dill. Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2006.
- IVU Umwelt, 2007: IMMIS<sup>build</sup>. GIS-gestützte Abschnittsbildung für IMMIS<sup>luft</sup>. IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2007.
- IVU Umwelt, 2008: Aktualisierungen und Erweiterungen im Internetservice für ein landesweites kommunales Screening der Luftschadstoffsituation nach aktuellen EU-Richtlinien. Bestandsaufnahme und Feedback. Auftraggeber: Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen (LANUV). 2008.
- IVU Umwelt, 2009a: Benutzeranleitung FLADIS 4.0. IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2009.
- IVU Umwelt, 2009b: Ausbreitungsrechnungen als Beitrag zur Ursachenanalyse für den Luftreinhalteplan Rhein-Main. Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie. 2009.
- IVU Umwelt, 2011a: IMMIS<sup>em/luft/lärm</sup> - Handbuch zur Version 5. IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2011.
- IVU Umwelt, 2011b: Fortschreibung des Verkehrsentwicklungsplans und Aktualisierung des Luftreinhalteplans für die Landeshauptstadt Potsdam. Im Unterauftrag der VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH. Auftraggeber: Stadtverwaltung Potsdam; Ministerium für Ländliche Entwicklung, Umwelt und Verbraucherschutz (MLUV) des Landes Brandenburg. 2011.
- IVU Umwelt, 2011c: Ausbreitungsrechnungen für die Gebiete Mittel- und Nordhessen, Lahn-Dill und den Ballungsraum Kassel. Auftraggeber: Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG). 2011.
- Jörß, W.; Degel, M., 2010: „Energieszenarien für PAREST“. Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“. 2010.

- Jörß, W.; Handke, V., 2007: Emissionen und Maßnahmenanalyse Feinstaub 2000 - 2020. Forschungsbericht FKZ 204 42 202/2. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. UBA-Texte 38/07. 2007.
- Jörß, W.; Kugler, U.; Theloke, J., 2010: Emissionen im PAREST-Referenzszenario 2005 - 2020. PAREST-Hintergrundbericht. Institut für Zukunftsstudien, Berlin; IER, Stuttgart und Technologiebewertung. FE-Vorhaben FKZ 206 43 200/01. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2010.
- Kerschbaumer, A.; Reimer, E., 2003: Erstellung der meteorologischen Eingangsdaten für das REM/CALGRID-Modell: Modellregion Berlin-Brandenburg. Abschlussbericht zum UBA-Forschungsvorhaben FKZ 299 43 246. 2003.
- KRdL, 2009: Planung von Immissionsmessungen - Ermittlung der Unsicherheit räumlicher Beurteilungen der Luftqualität. VDI-Richtlinie 4280 Blatt 5. Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. 2009.
- Kugler, U., Jörß, W.; Theloke, J., 2010: Verkehrsemissionsmodellierung- Modellvergleich und Alternative Szenarien. Forschungs-Teilbericht an das Umweltbundesamt, im Rahmen des PAREST-Vorhabens: FKZ 206 43 200/01 „Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung“, Institut für Energiewirtschaft und Rationelle Energieanwendung, Universität Stuttgart. 2010.
- LUBW, 2010: Modellierung verkehrsbedingter Immissionen - Anforderungen an die Eingangsdaten. Grundlage HBEFA 3.1. Leitfaden. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW). Erarbeitet von IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2010.
- LUGV, 2010: Land Brandenburg. Messstationen zur Überwachung der Luftqualität. Stand Dezember 2010. Landesamt für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz Brandenburg (LUGV). 2010  
[http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2334.de/luftguete\\_k.pdf](http://www.mugv.brandenburg.de/cms/media.php/lbm1.a.2334.de/luftguete_k.pdf)
- Mahlau, A., 2010: Abbildung des neuen HBEFA 3.1 in IMMIS. 3. Freiburger Workshop "Luftreinhaltung und Modelle", 29.-30.6.2010, IVU Umwelt GmbH, Freiburg. 2010.
- Neunhäuserer, L.; Hartmann, U., 2007: Einsatz der Datenassimilation bei der flächenhaften Darstellung von Messnetzdaten. In: Emeis, S. (Hrsg.): Mettools VI - Fachtagung des Fachausschusses Umweltmeteorologie der Deutschen Meteorologischen Gesellschaft, 24.-26.4.2007 in Garmisch-Partenkirchen. Forschungszentrum Karlsruhe, Wissenschaftliche Berichte FZKA 7300. 2007.
- PAREST, 2010: Builtjes, P.; Jörß, W.; Stern, R.; Theloke, J.; Strategien zur Verminderung der Feinstaubbelastung (PAREST). Zusammenfassender Abschlussbericht. FE-Vorhaben FKZ 206 43 200/01. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. 2010.
- Reimer, E.; Scherer, B., 1992: An operational meteorological diagnostic system for regional air pollution analysis and long-term modelling. In: Van Dop, H.; Kallos, G. (Ed.): Air Pollution Modelling and its Applications IX. 1992.
- Sartelet, K.; Debry, E.; Fahey, K.; Roustan, Y.; Tombette, M.; Sportisse, B., 2007: Simulation of aerosols and gas-phase species over Europe with the POLYPHEMUS system. part I: model-to-data comparison for 2001. Atmospheric Environment 41 6116-6131. 2007.

- 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“. 2003.
- Stern, R., 2006a: Großräumige PM10-Ausbreitungsmodellierung: Abschätzung der gegenwärtigen Immissionsbelastung in Europa und Prognose bis 2010. S. 85-102. In: KRdL (Hrsg.): Feinstaub und Stickstoffdioxid. Wirkung, Quellen, Luftreinhaltepläne, Minderungsmaßnahmen. Herausgeber: Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN - Normenausschuss KRdL. Beuth Verlag, 2006.
- Stern, R., 2006b: Der Beitrag des Ferntransports zu den PM10- und den NO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Deutschland unter besonderer Betrachtung der polnischen Emissionen: Eine Modellstudie. Abschlussbericht zu dem F&E-Vorhaben 204 42 202/03 „Analyse und Bewertung der Immissionsbelastung durch Feinstaub in Deutschland durch Ferntransporte“ und zu dem F&E-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“. 2006.
- Stern, R.; Builtjes, P.; Schaap, M.; Timmermans, R.; Vautard, R.; Hodzic, A.; Memmesheimer, M.; Feldmann, H.; Renner, E.; Wolke, R.; Kerschbaumer, A., 2008: A model inter-comparison study focussing on episodes with elevated PM10 concentrations. *Atmospheric Environment* 42 S. 4567-4588. 2008.
- Vautard, R.; Builtjes P.; Thunis, P.; Cuvelier, K.; Bedogni, M.; Bessagnet, B.; Honoré, C.; Moussiopoulos, N.; Schaap, M.; Stern, R.; Tarrason, L.; van Loon, M., 2007: Evaluation and intercomparison of Ozone and PM10 simulations by several chemistry-transport models over 4 European cities within the City-Delta project, 2007. *Atmospheric Environment* 41 173-188. 2007.
- Whyatt, J. D.; Metcalfe, S. E.; Nicholson, J.; Derwent, R. G.; Page, T.; Stedman, J. R., 2007: Regional scale modelling of particulate matter in the UK, source attribution and an assessment of uncertainties. *Atmospheric Environment* 41 3315–3327. 2007.
- Wiegand, G.; Diegmann, V. 1994: Modellierung der Immissionsbelastung inerter Schadstoffe in Innenstädten durch den Kfz-Verkehr auf der Basis von Häufigkeitsverteilungen. In: Ossing, F. (Hrsg.): EDV für Verkehrskonzepte in Stadt und Region. Praxis der Umweltinformatik, Band 3. Metropolis Verlag, Marburg, 1994.

# A Kennzeichenerfassung Potsdam/Cottbus

(Autor Planungsbüro Dr.-Ing. D. Hunger)



LAND  
BRANDENBURG

Ministerium für Umwelt-, Gesundheit- und Verbraucherschutz



## Kennzeichenerfassung Cottbus / Potsdam

Vorstellung 29.11.2010

Dr.-Ing. Ditmar Hunger    Planungsbüro Stadt – Verkehr – Umwelt    Dresden / Berlin    **SVU**

Kennzeichenerfassung Cottbus / Potsdam - Vorstellung 29.11.2010    2

---

### Zeitreihe/Entwicklung der Kennzeichenerfassung

|      |   |   |
|------|---|---|
| 2008 |  | <p><b>im Rahmen des Projektes:</b><br/>„Tendenzen der NO<sub>2</sub>-Belastung in Brandenburg“</p> <p>Abfragedatensatz 8.000 Kennzeichen<br/>Kameraaufzeichnung / manuelle Auswertung</p>   |
| 2009 |  | <p><b>im Rahmen des Projektes:</b><br/>„Einfluss des Verkehrs und seiner Auswirkungen auf die Luftqualität in Brandenburg (Verkehrsgutachten)“</p> <p>Abfragedatensatz 8.000 Kennzeichen<br/>automatische Kennzeichenauswertung</p> |
| 2010 |  | <p>parallele Erfassung der Fahrzeugklassen<br/>zusätzliche Erfassung des Bus- und Schwerverkehrs<br/>in der Großbeerenstraße (Potsdam)</p> <p>Abfragedatensatz 10.738 Kennzeichen</p>   |
| 2011 |   |   |

Dr.-Ing. Ditmar Hunger    Planungsbüro Stadt – Verkehr – Umwelt    Dresden / Berlin    **SVU**

Kennzeichenerfassung Cottbus / Potsdam - Vorstellung 29.11.2010 3

**automatische Erhebungsmethodik – seit 2009**





- kompakte, hochleistungsfähige Infrarot-Kennzeichenkamera (integrierte Infrarotbeleuchtung)
- Systemssoftware zur Kennzeichenauswertung (Video-Trigger, OCR)
- robusten Algorithmus → zuverlässige Erkennung
- verschlüsselte Speicherung des Kennzeichenklartextes und von Informationen zur Messstelle

Dr.-Ing. Ditmar Hunger      Planungsbüro Stadt – Verkehr – Umwelt      Dresden / Berlin      SVU

Kennzeichenerfassung Cottbus / Potsdam - Vorstellung 29.11.2010 4

**Plausibilitätsprüfung und Aufbereitung entsprechend KBA-Vorgabe**



**Ausschluss bzw. Korrektur von:**

- unvollständigen Kennzeichen
- doppelt erkannten Kennzeichen
- falsch erkannten Kennzeichen
- ausländischen Fahrzeugen

↓

**Aufbereitung der Kennzeichen für die KBA-Datenanfrage**

| Kennzeichenart                            | Kennzeichen  | Darstellung im Feld Kennzeichen |   |   |   |   |   |   |   |   |
|---|--------------|---------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|
|   |              | 1                               | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
| alphanumerisches Kennzeichen              | FL - A - 1   | F                               | L | A |   |   |   |   |   | 1 |
| alphanumerisches Kennzeichen              | PLO - AX 123 | P                               | L | O | A | X |   | 1 | 2 | 3 |
| Behördenkennzeichen ohne BU – numerisch   | FL - 1       | F                               | L |   |   |   |   |   |   | 1 |
| Behördenkennzeichen ohne BU – numerisch   | M - 3000     | M                               |   |   |   |   | 3 | 0 | 0 | 0 |
| Deutscher Bundestag                       | BD 1 - 1     | B                               | D |   |   | 1 |   |   |   | 1 |
| Bundes-Wasser- und Schifffahrtsverwaltung | BW - 5 199   | B                               | W |   |   | 5 |   | 1 | 9 | 9 |
| Bundesgrenzschutz                         | BG – 24 120  | B                               | G |   | 2 | 4 | 0 | 1 | 2 | 0 |

| Plz. Nr. | Platzname | Stellen-anz. | Stellen-anz. | Feld-Bezeichnung | Feld-Form | Feld-Bezeichnung | Bezeichnung | Bezeichnung | Feldinhalt | Bemerkungen                                  |
|----------|-----------|--------------|--------------|------------------|-----------|------------------|-------------|-------------|------------|--|
| 001      | DEUTSCH   | 0001         | 0004         | 0004             | C         | V                |             |             |            | Kennzeichen                                  |
| 002      | DEUT      | 0010         | 0010         | 0004             | C         | V                |             |             |            | Verkehrsüberwachungsnummer                   |
| 003      | FRANZ     | 0014         | 0020         | 0020             | C         | L                | S           | S           |            | Fahrzeug-Identifikationsnummer               |
| 004      | Zust      | 0030         | 0030         | 0030             | C         | V                |             |             |            | Nummer der Zulassungsbescheinigung I         |
| 005      | AUPTOL    | 0050         | 0050         | 0010             | C         | V                |             |             |            | Auftraggeber                                 |
| 006      | MMS       | 0050         | 0050         | 0010             | C         | V                |             |             |            | Werkstatt-Nummer (MS)                        |
| 007      | ZHDEUT    | 0060         | 0060         | 0060             | C         | L                | S           | S           |            | Zug-Entscheid. (1) Behörden-Kennung (2)      |
| 008      | PROVAL    | 0060         | 0060         | 0060             | C         | L                | S           | S           |            | Einwohner (1) Wohnort (2) Kreiscode (3) TRAM |
| 009      | AUFRM     | 0064         | 0060         | 0060             | C         | V                |             |             |            | Kennzeichen (Übergabe = 00)                  |
| 010      | OCSTAT    | 0066         | 0100         | 0066             | C         | V                | S           | S           |            | Datum der FAT (JULIANTT)                     |
| 011      | VERLJ     | 0104         | 0100         | 0064             | C         | V                | S           | S           |            | Verkehrsart                                  |
| 012      | SCDD      | 0108         | 0110         | 0068             | C         | V                | S           | S           |            | Fahrercode                                   |

**Zusammenfassung und Codierung**

Dr.-Ing. Ditmar Hunger      Planungsbüro Stadt – Verkehr – Umwelt      Dresden / Berlin      SVU

Kennzeichenerfassung Cottbus / Potsdam - Vorstellung 29.11.2010 5

### Gewährleistung der Anforderungen des Datenschutzes




**Information der Verkehrsteilnehmer**

- Hinweisschilder am Erhebungsquerschnitt
- vorab Presseinformationen

**Sicherer Datentransport**

- passwortgeschützte Datenspeicherung
- passwortgeschützte Datenübergabe KBA
- 256Bit AES-Verschlüsselung

**Frühest mögliche Anonymisierung**

- lediglich Speicherung von Bildausschnitten (Kennzeichenbereich)
- frühest mögliche Löschung der Rohdaten

Dr.-Ing. Ditmar Hunger      Planungsbüro Stadt – Verkehr – Umwelt      Dresden / Berlin      SVU

Kennzeichenerfassung Cottbus / Potsdam - Vorstellung 29.11.2010 6

### Datenumfang / Rücklaufdaten

|      | Datenabfrage   | Datenrücklauf                                     |
|------|--|---|
| 2008 | 8.000 Kennzeichen<br>davon: 580 Lkw<br>189 Busse                       | 7.300 Kennzeichen<br><b>Rücklaufquote 91,2 %</b>  |
| 2009 | 8.000 Kennzeichen  | 7.617 Kennzeichen<br><b>Rücklaufquote 95,2 %</b>  |
| 2010 | 10.738 Kennzeichen<br>davon: 574 Lkw<br>325 Busse<br>1.378 Lieferwagen | 10.576 Kennzeichen<br><b>Rücklaufquote 98,5 %</b> |

Dr.-Ing. Ditmar Hunger      Planungsbüro Stadt – Verkehr – Umwelt      Dresden / Berlin      SVU



## B Flottenzusammensetzungen

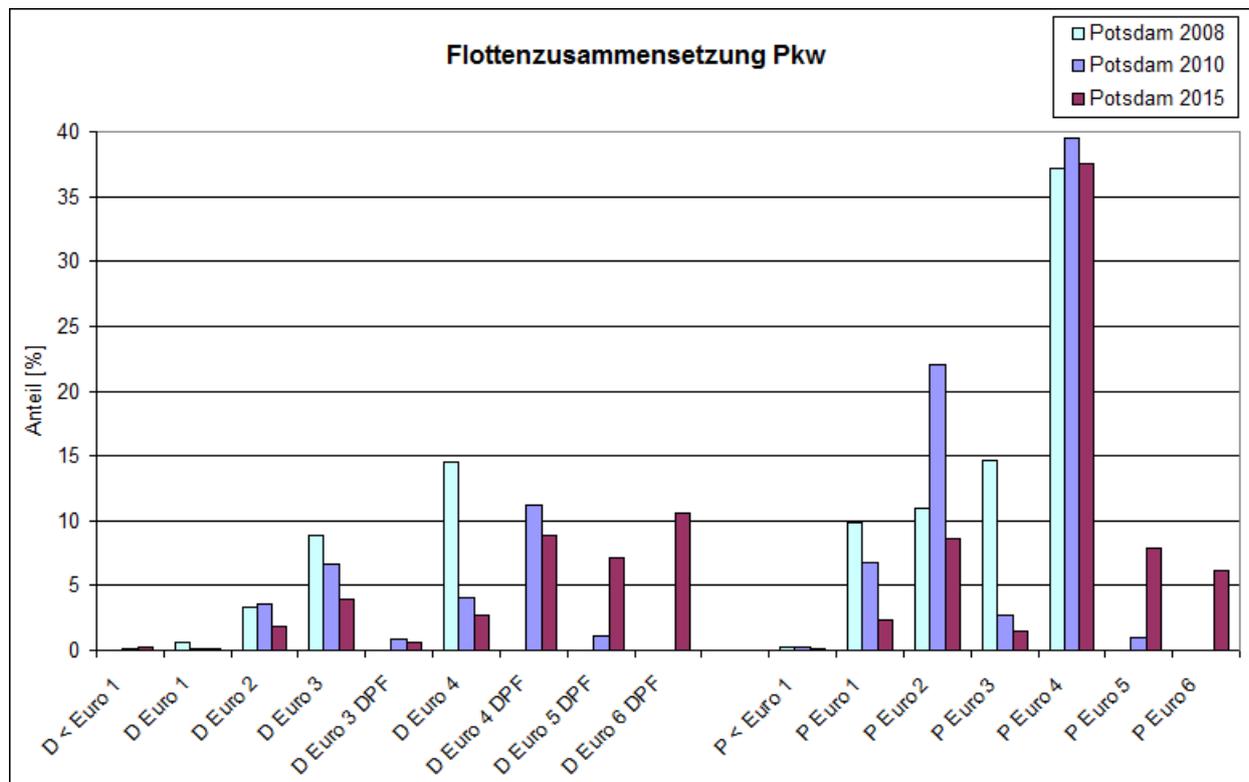


Abbildung B-1: Flottenzusammensetzung Pkw

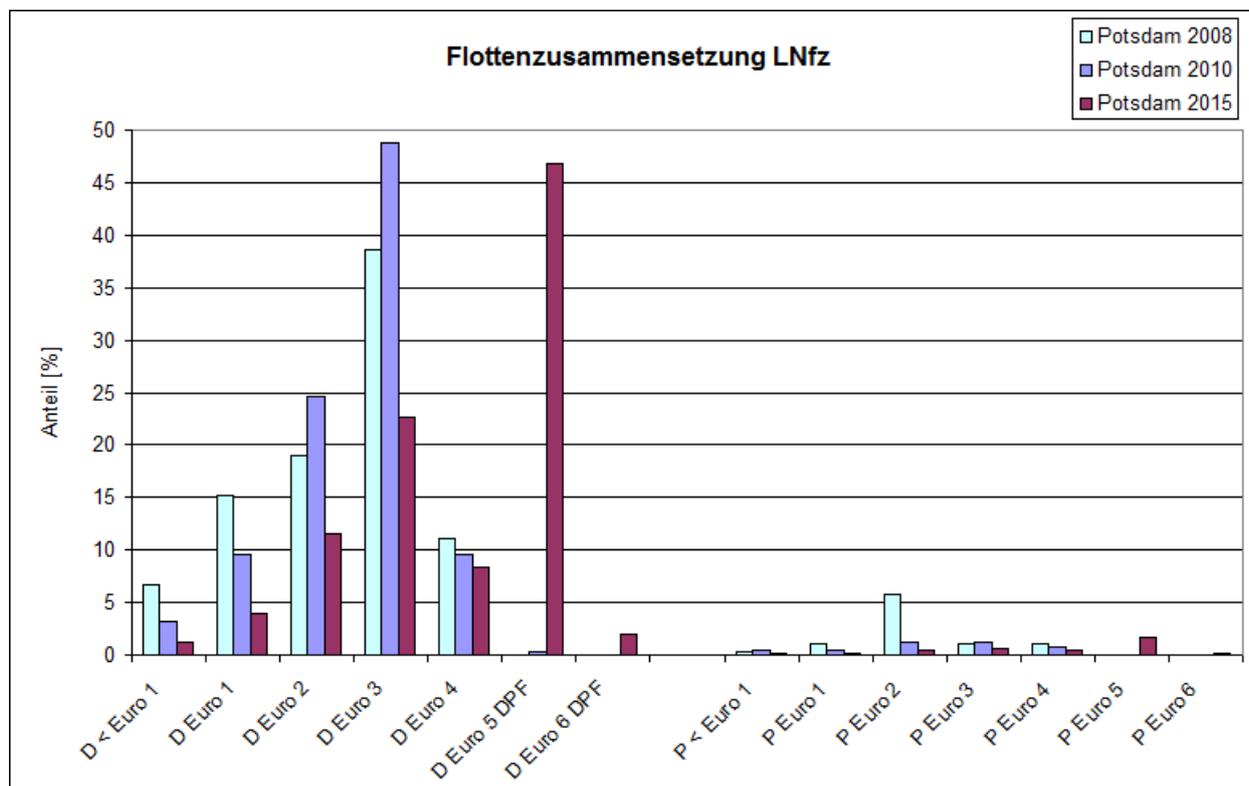


Abbildung B-2: Flottenzusammensetzung leichte Nutzfahrzeuge

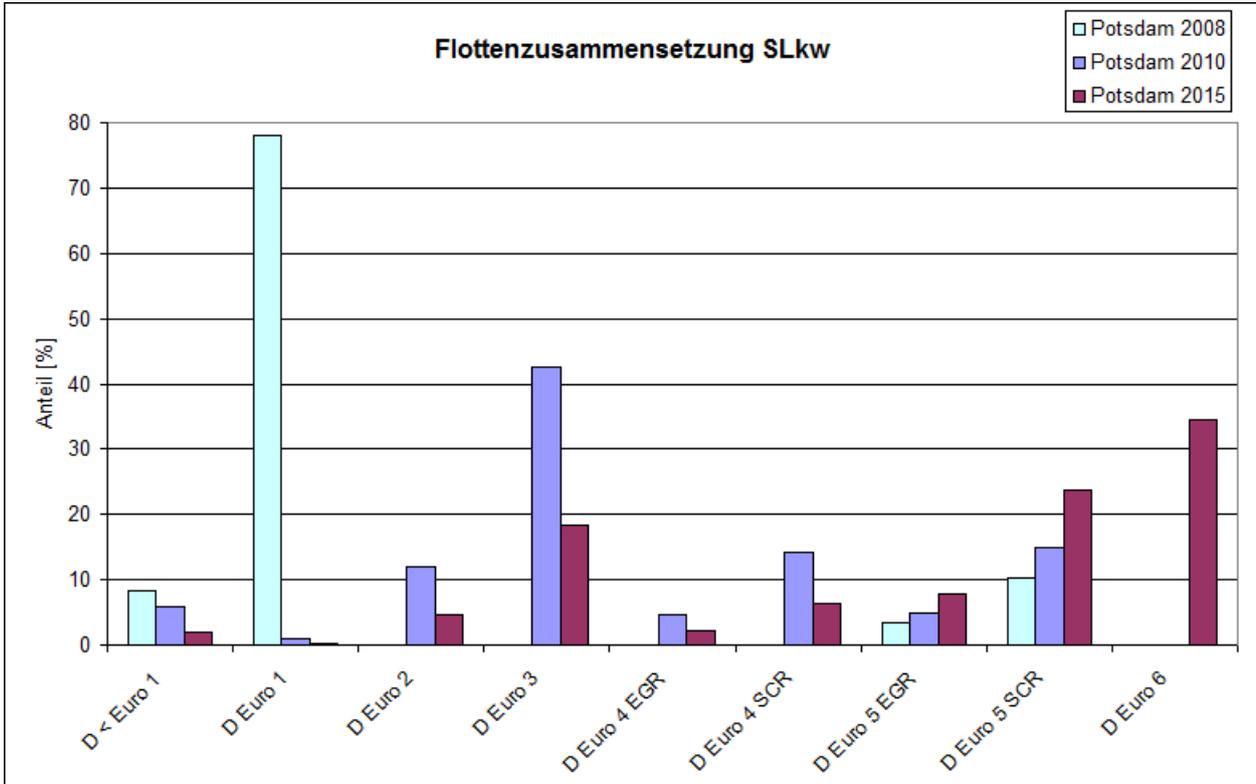


Abbildung B-3: Flottenzusammensetzung schwere Nutzfahrzeuge

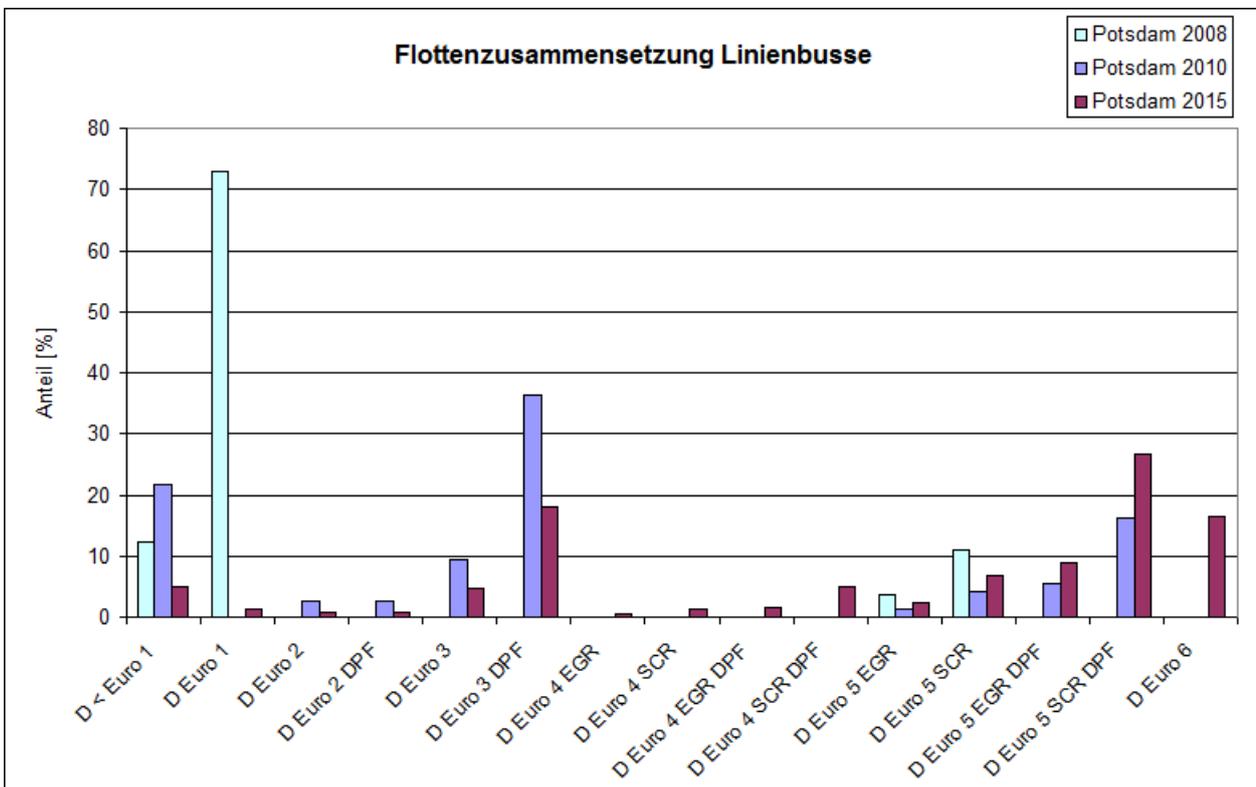


Abbildung B-4: Flottenzusammensetzung Linienbusse

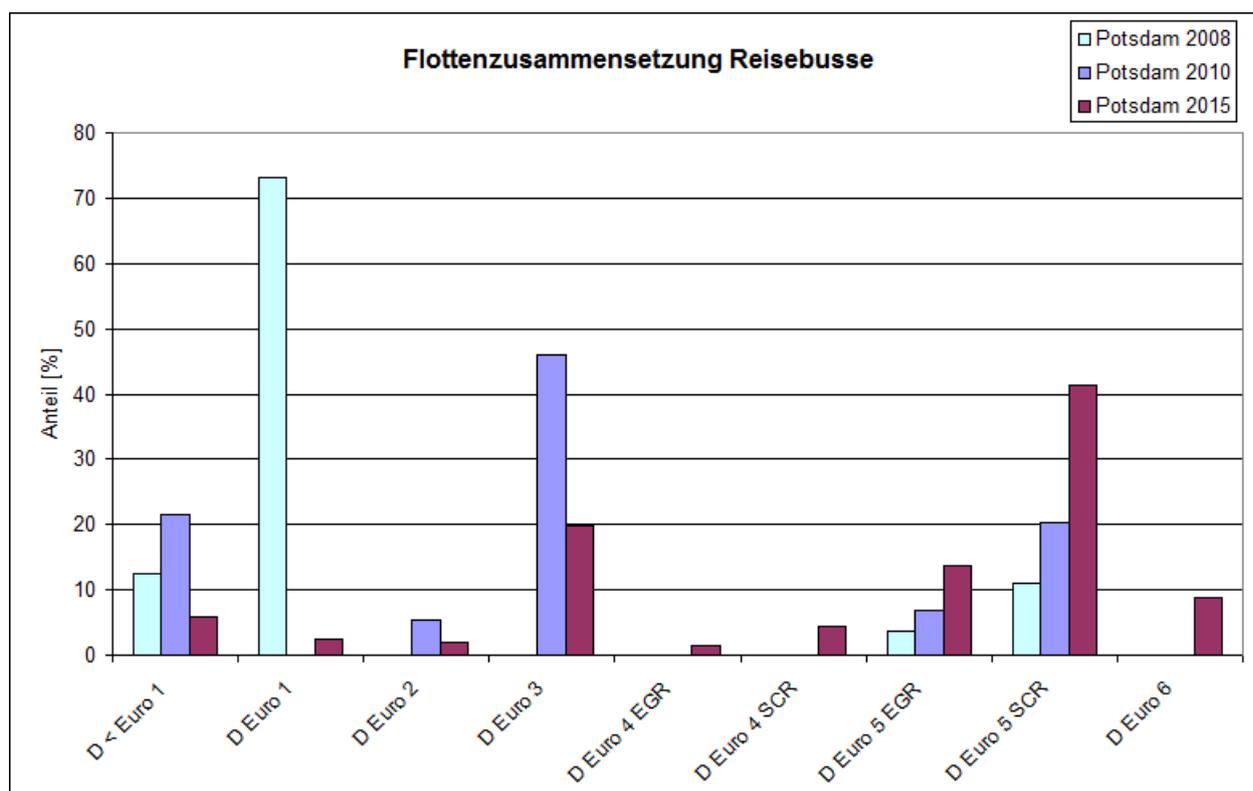


Abbildung B-5: Flottenzusammensetzung Reisebusse



## C Aktualisierung der Verkehrsdatenbasis

### C.1 Einführung

Sowohl die Berechnungen der landesweiten Kfz-Emissionen für die RCG-Berechnungen als auch der Kfz-Emissionen für das landesweite Screening mit IMMIS<sup>luft</sup> basierten ursprünglich auf der Datenbank bb05\_20091125.shp (*USDB November 2009*), die vom LUGV am 25.11.2009 zur Verfügung gestellt wurde. Diese Datenbank enthält 65'241 Abschnitte und führt als eindeutiges ID-Feld das Feld "ID".

Im Laufe der Projektbearbeitung bestand seitens des LUGV der Wunsch, die Datenbasis der Kfz-Daten für die Screening-Berechnungen mit IMMIS<sup>luft</sup> zu aktualisieren. Dazu wurde am 21.09.2011 die Datenbank bb05\_ivu\_lang.shp (*USDB September 2011*) zur Verfügung gestellt. Diese Datenbank enthält 67'285 Abschnitte und führt als eindeutiges ID-Feld das Feld "ID\_0809".

Die Verknüpfung der beiden Netze ist über das Feld "ID\_09" in *USDB September 2011* möglich, welches auf das Feld "ID" in *USDB November 2009* verweist. Dabei können mehrere Abschnitte in *USDB September 2011* die selbe ID\_09 führen, so dass eine eindeutige Zuordnung nicht möglich ist. Eine entsprechender JOIN der *USDB September 2011* an die *USDB November 2009* zeigt, dass 5'916 Abschnitte in *USDB November 2009* keine Entsprechung in *USDB September 2011* haben. Davon haben 1'784 Abschnitte in der *USDB November 2009* einen DTV>0.

Für die Weiterverarbeitung der *USDB November 2009* wurde im Rahmen des Projekts vor der gewünschten Aktualisierung der Verkehrsdaten das Netz generalisiert, so dass für die Emissionsberechnung und Ableitung der IMMIS<sup>luft</sup>-Abschnitte ein Netz mit 23'329 Abschnitten (*IMMIS<sup>em</sup>-Netz*) gebildet wurde, das Grundlage der weiteren Untersuchungen ist. Dieses *IMMIS<sup>em</sup>-Netz* ist über eine entsprechende Matching-Tabelle mit dem *USDB November 2009*-Netz verbunden. Ein Schema der Netzverknüpfungen ist in Abbildung C-1 dargestellt.

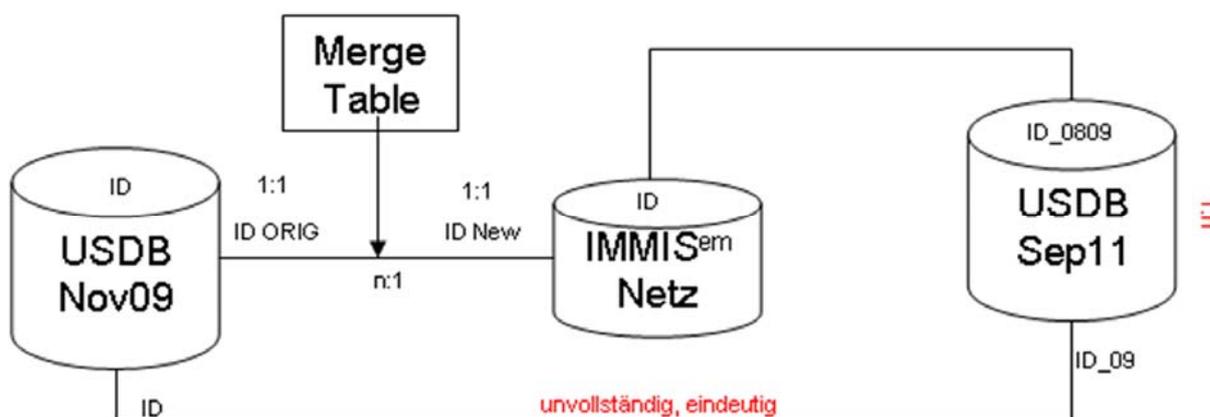


Abbildung C-1: Schema der Verknüpfungen der beiden USDB-Netze und des IMMIS<sup>em</sup>-Netzes

Für die Übertragung der Verkehrsdaten aus dem Netz *USDB September 2011* an das *IMMIS<sup>em</sup>-Netz* wurde folgende Übertragung angewendet:

- Herstellen einer Verknüpfung zwischen dem *IMMIS<sup>em</sup>-Netz* und dem Netz *USDB September 2011*. Diese Verknüpfung ist unvollständig, d.h. im *IMMIS<sup>em</sup>-Netz* existieren Abschnitte, die auf kein Netzelement in der *USDB September 2011* verweisen und nicht eindeutig, d. h. für einige Abschnitte im *IMMIS<sup>em</sup>-Netz* werden mehrere Abschnitte aus der *USDB September 2011* zugewiesen.
  - Unvollständigkeit: Bei Abschnitten im *IMMIS<sup>em</sup>-Netz* ohne Zuordnung zur *USDB September 2011* werden die alten Kfz-Daten im *IMMIS<sup>em</sup>-Netz* beibehalten.
  - Mehrdeutigkeit: In den Fällen bei denen ein *IMMIS<sup>em</sup>-Abschnitt* mit mehreren Abschnitten des *USDB September 2011-Netz* verbunden sind, wird als Auswahlkriterium der Abschnitt aus *USDB September 2011* mit dem höchsten DTV-Wert zugeordnet.
- Im Ergebnis liegt ein *IMMIS<sup>em</sup>-Netz* (*IMMIS<sup>em</sup>-Netz November 2011*) vor, das auf die ID\_0809 der *USDB September 2011* verweist. Soweit kein Verweis möglich ist, ist dieses Feld mit dem Wert "0" belegt. In diesem Netz sind folgende Attribute aus der *USDB September 2011* übertragen worden, soweit eine Verknüpfung zu diesem Netz gegeben ist:
  - [DTV] = [DTV\_KFZ]
  - [BUS] = [AN\_BUS] \* 100
  - [LLKW] = [AN\_LNFZ] \* 100
  - [KRAD] = [AN\_KRAD] \* 100
  - [SLKW] = [AN\_SNFZ\_OB] \* 100 wenn [AN\_BUS] > 0  
sonst = [AN\_SNFZ] \* 100
  - [SPUREN] = [STREIFEN] wenn [STREIFEN] > 0

## C.2 Vergleiche

Für die aktualisierte Verkehrsdatenbasis ergeben sich die in Tabelle C-1 aufgeführten Vergleichszahlen.

**Tabelle C-1: Vergleich der Kfz-Fahrleistungen nach Aktualisierung mit der USDB vom September 2011**

|                   | IMMIS <sup>em</sup> -Netz<br>November 2011 |         |         | Änderung zu IMMIS <sup>em</sup> -Netz<br>(USDB Nov. 09) |
|-------------------|--|---------|---------|---|
| Länge Straßennetz | 14'636.726                                 | km      | Anteile | 0.00%   |
| Fahrleistung KFZ  | 2.45E+10                                   | km/Jahr | 100.00% | -10.61%   |
| Fahrleistung PKW  | 2.07E+10                                   | km/Jahr | 84.59%  | -9.33%  |
| Fahrleistung LLKW | 9.87E+08                                   | km/Jahr | 4.03%   | -34.26%   |
| Fahrleistung SLKW | 2.47E+09                                   | km/Jahr | 10.08%  | -7.39%  |
| Fahrleistung BUS  | 1.16E+08                                   | km/Jahr | 0.47%   | 0.63%   |
| Fahrleistung KRAD | 2.04E+08                                   | km/Jahr | 0.83%   | -24.28%   |

Die Änderungen der DTV-Werte und der Anzahl LNfz ist in Abbildung C-2 dargestellt.

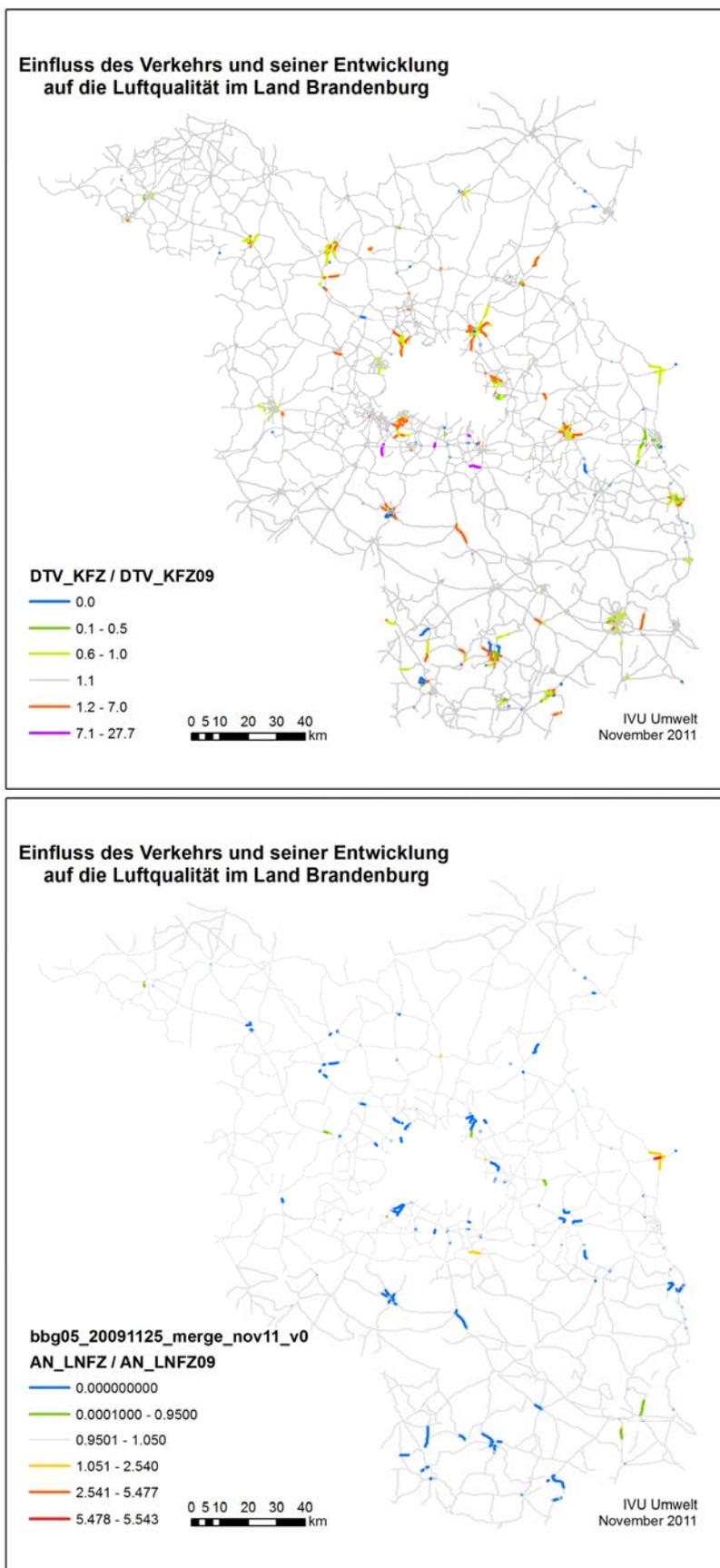


Abbildung C-2: Änderungen der DTV-Werte und der Anzahl LNfz



## **D RCG-Ergebnisse 2008**

Die Modellergebnisse von RCG wurden mit FLADIS auf das Gebiet von Brandenburg und das Koordinatensystem UTM 33 mit dem System FLADIS projiziert.

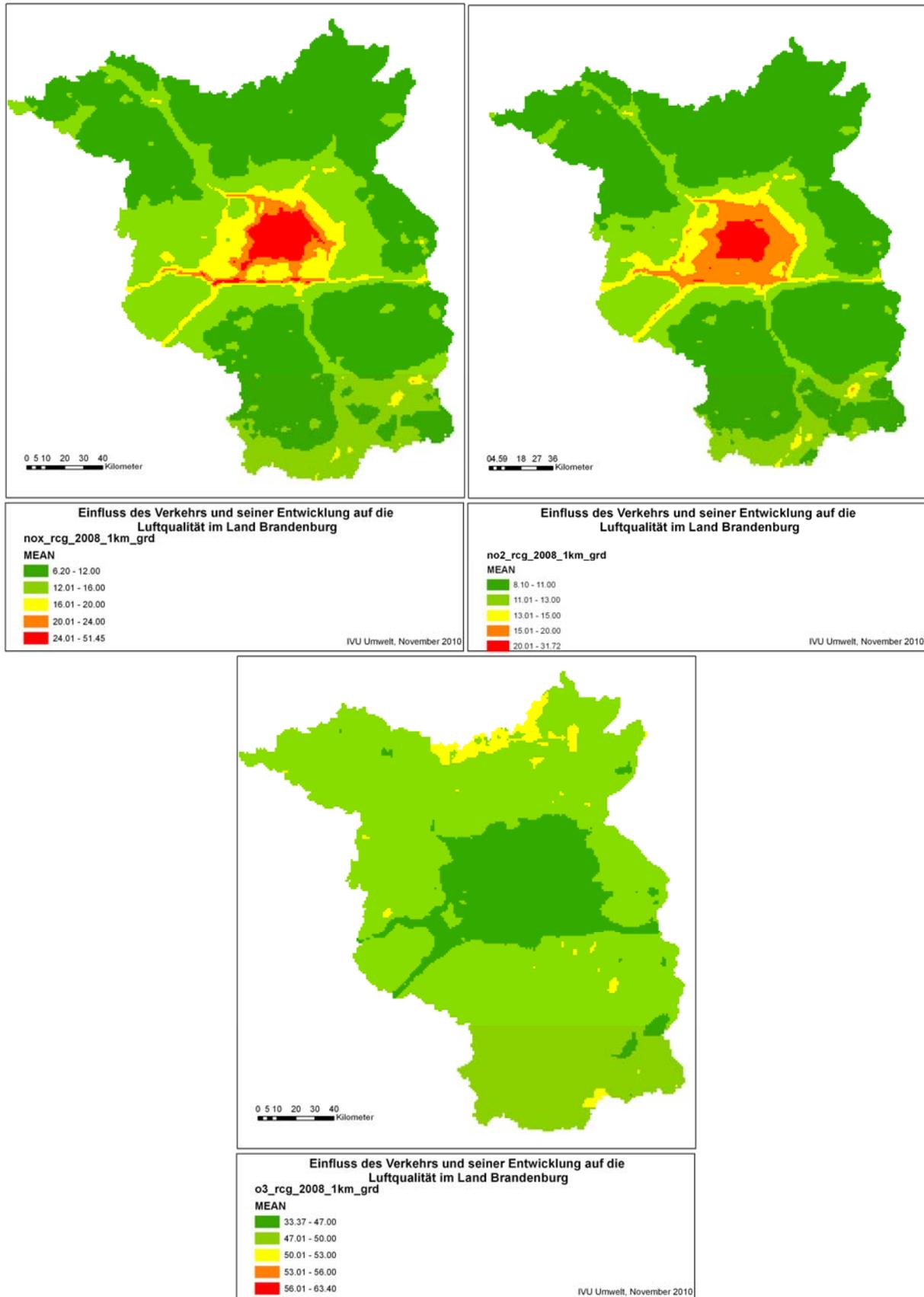


Abbildung D-1: NO<sub>x</sub>-, NO<sub>2</sub>- und O<sub>3</sub>-Jahresmittelwert 2008 in µg/m<sup>3</sup> Modellergebnis RCG

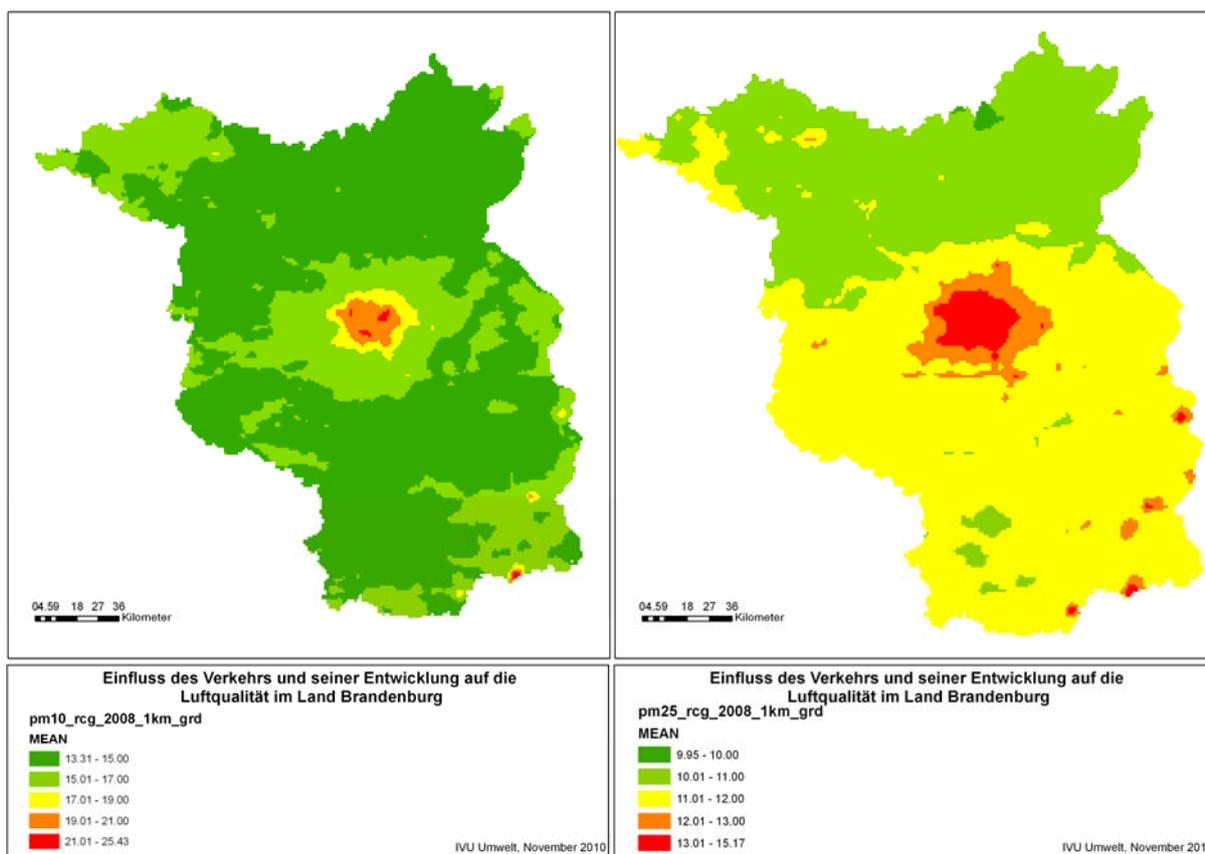


Abbildung D-2: PM10- und PM2.5-Jahresmittelwert 2008 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  Modellergebnis RCG



## **E Ergebnisse der Interpolation 2008**

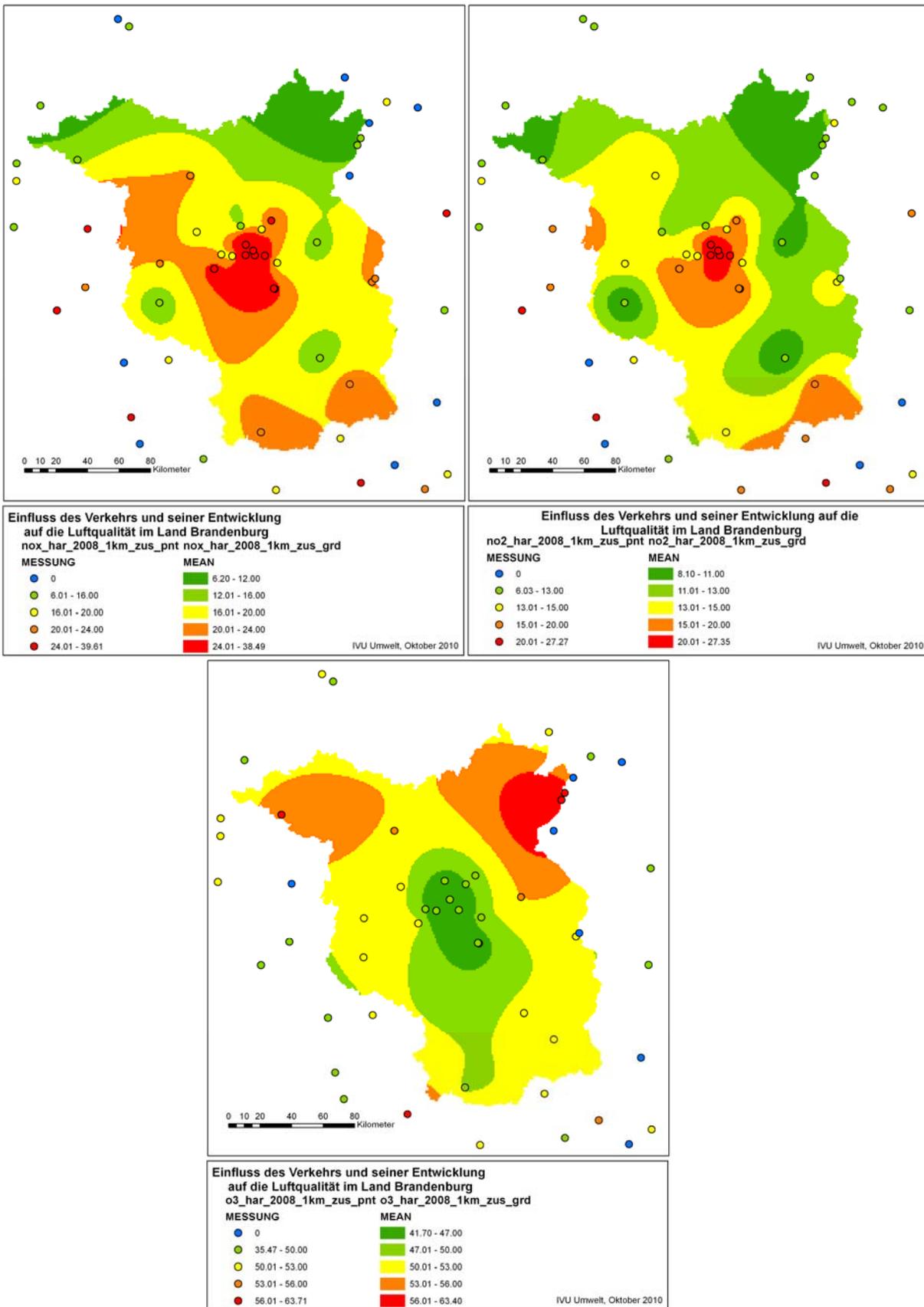
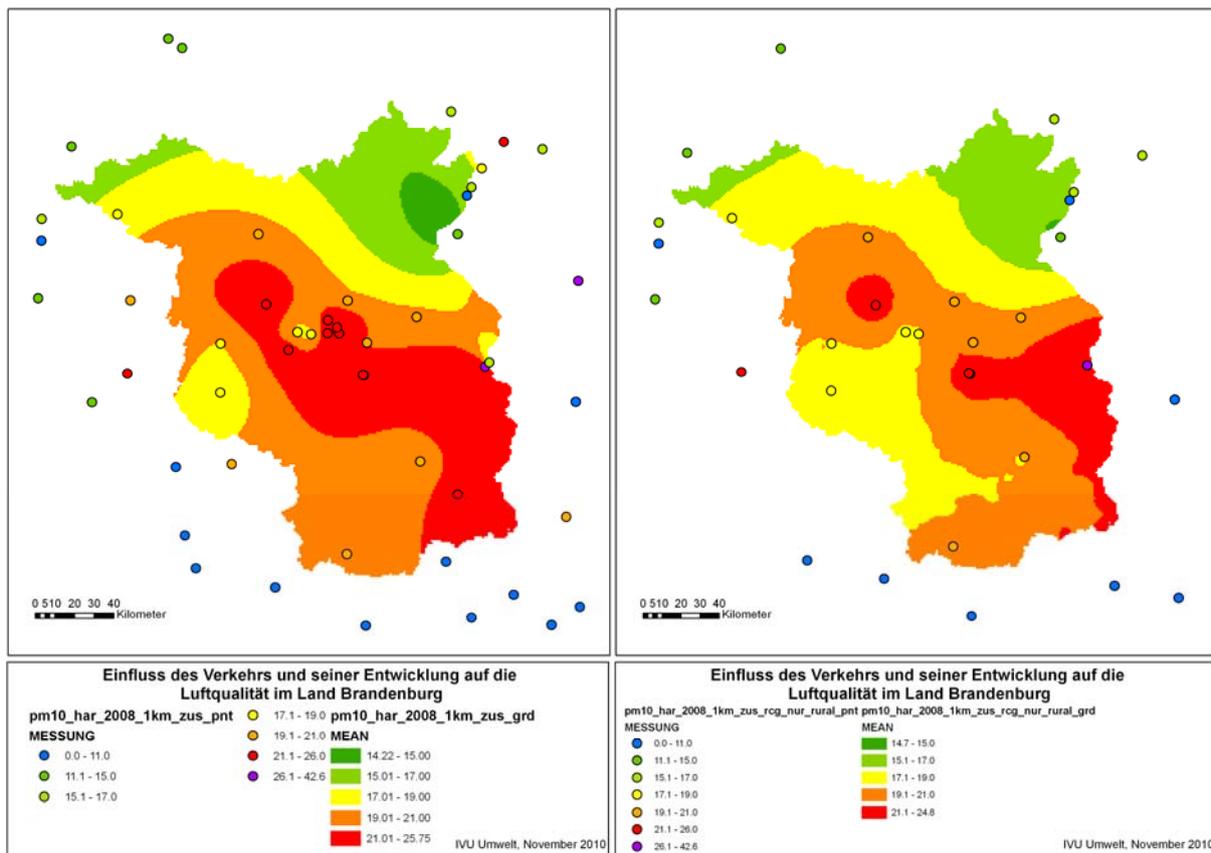


Abbildung E-1: NO<sub>x</sub>-, NO<sub>2</sub>- und Ozon-Jahresmittelwert 2008 in µg/m<sup>3</sup> ermittelt durch Interpolation der stündlichen Messdaten



**Abbildung E-2: PM10-Jahresmittelwert 2008 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ermittelt durch Interpolation der stündlichen Messdaten von allen (links) sowie von ländlichen und Vorort-Hintergrundstationen (rechts)**

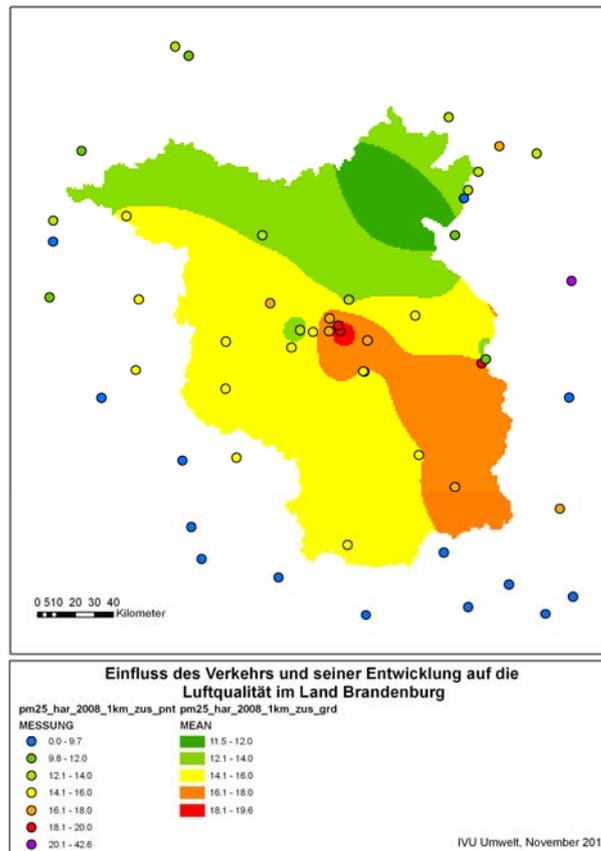
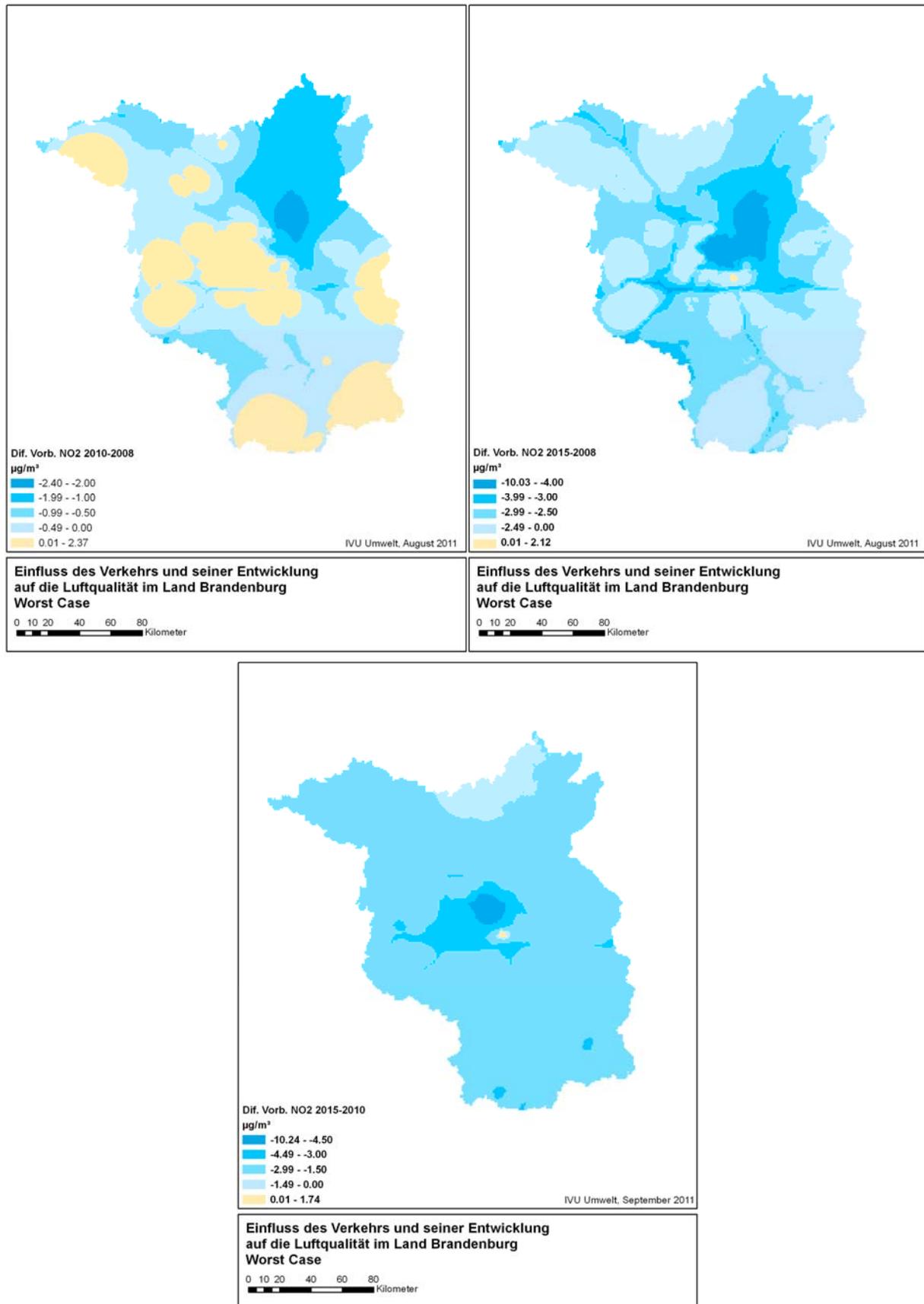
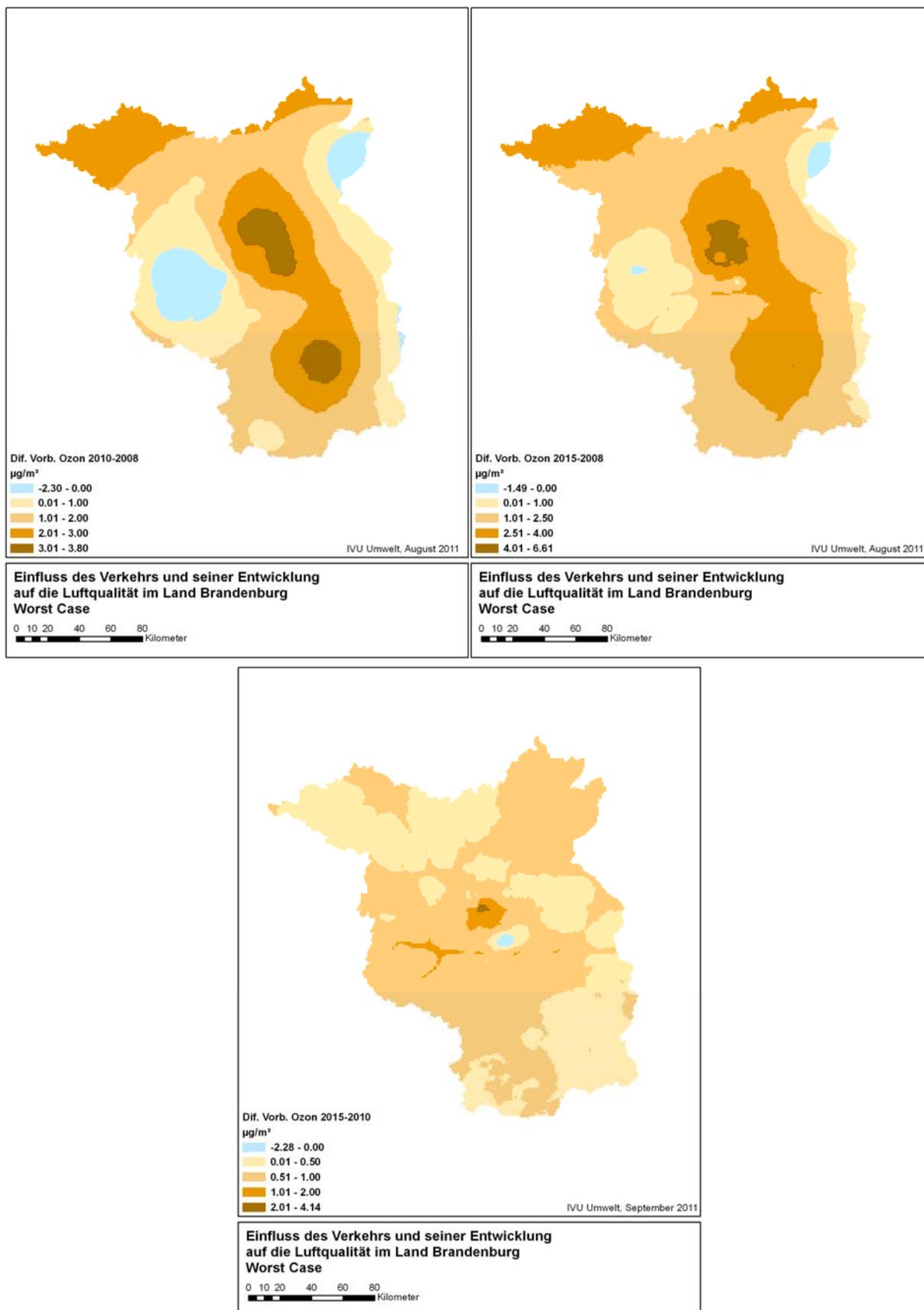


Abbildung E-3: PM2.5-Jahresmittelwert 2008 in  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ermittelt durch Interpolation der stündlichen Messdaten

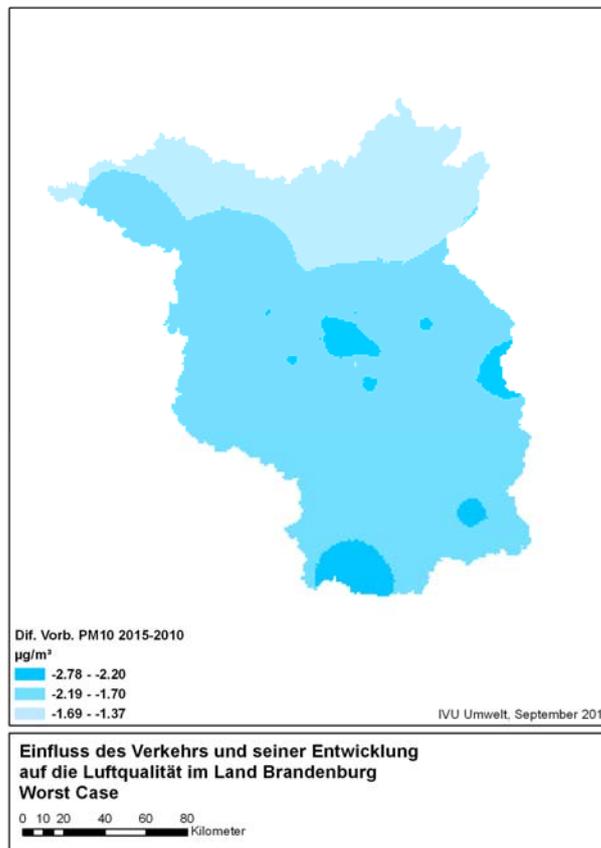
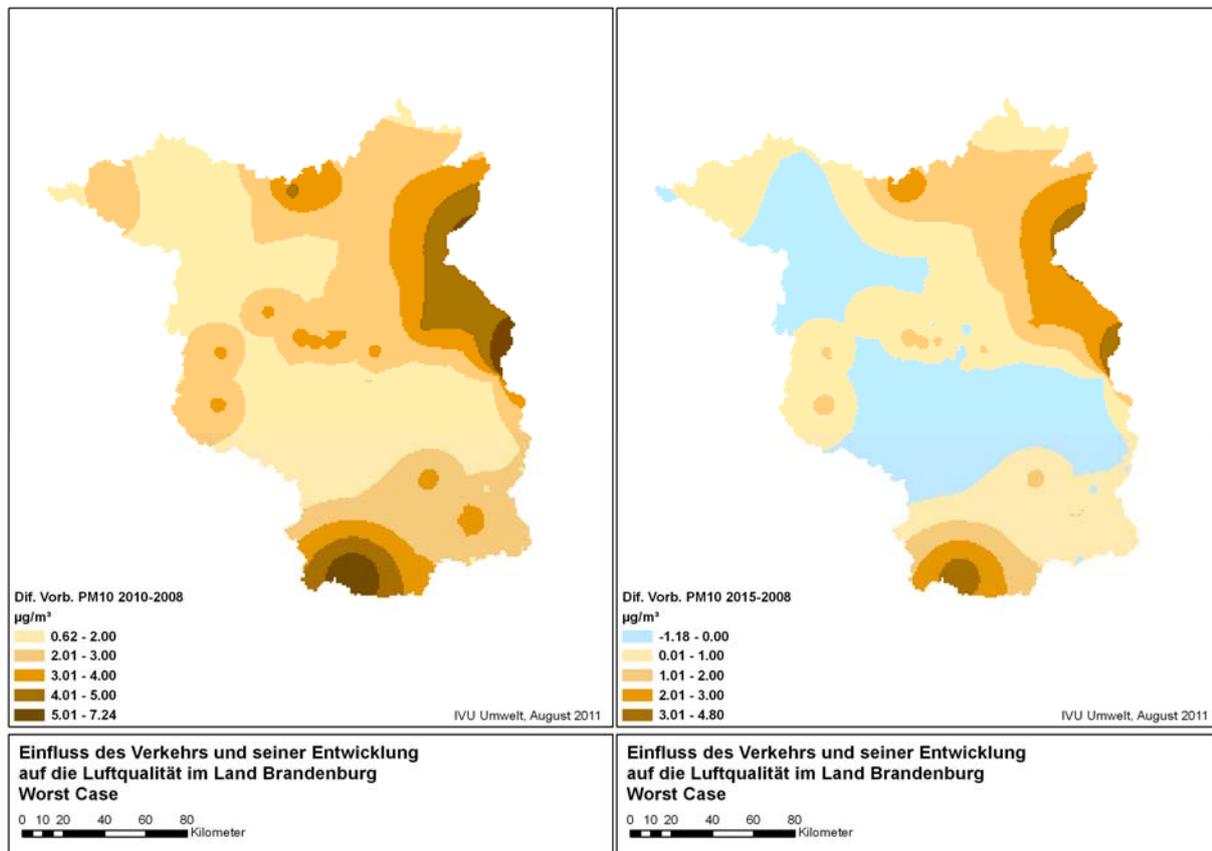
## **F            Differenzen der Vorbelastung**



**Abbildung F-1: Differenzen der NO<sub>2</sub>-Vorbelastung im worst case. Oben links: 2010 zu 2008. Oben rechts: 2015 zu 2008. Unten: 2015 zu 2010.**



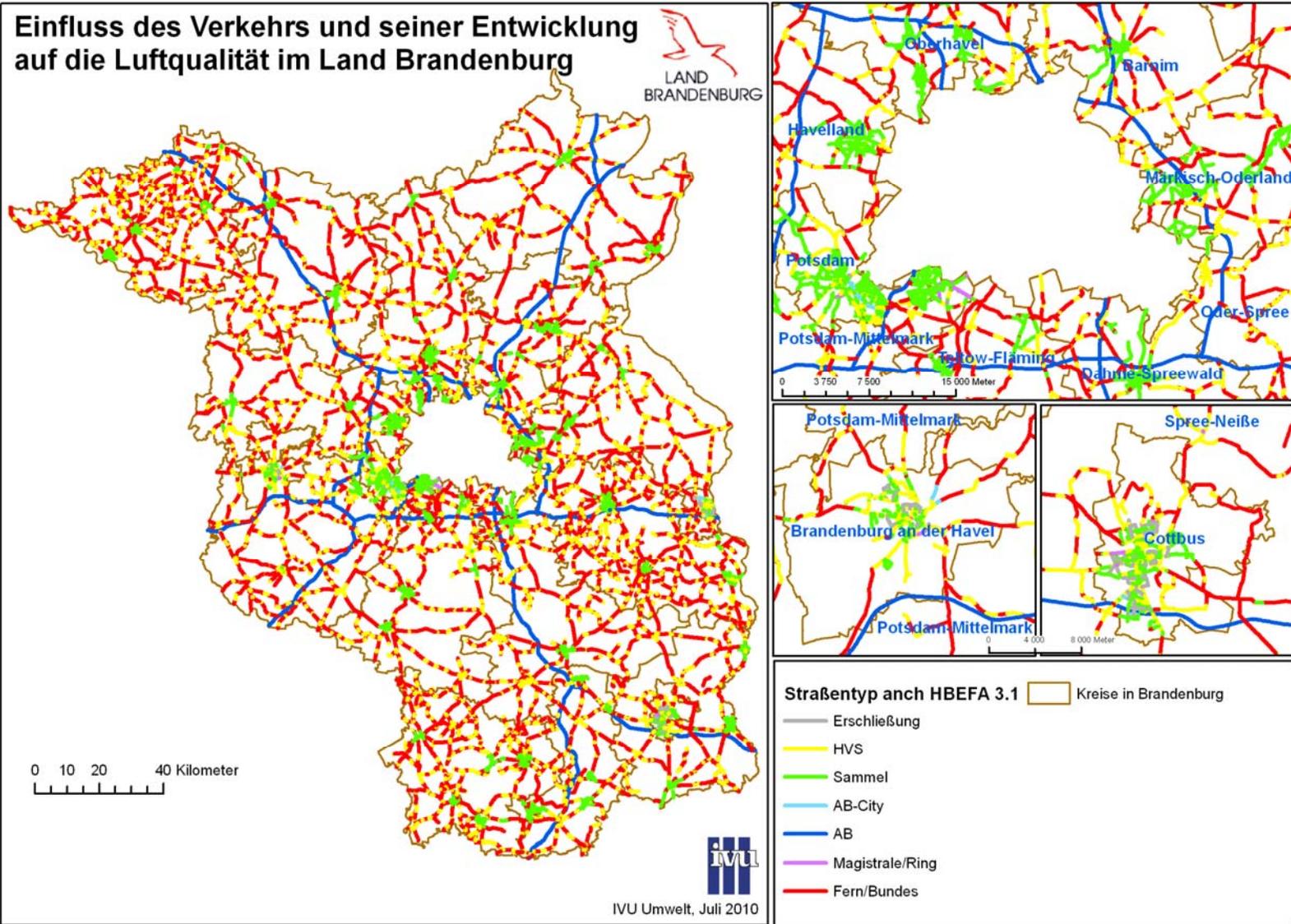
**Abbildung F-2: Differenzen der Ozon-Vorbelastung im worst case. Oben links: 2010 zu 2008. Oben rechts: 2015 zu 2008. Unten: 2015 zu 2010.**



**Abbildung F-3: Differenzen der PM10-Vorbelastung im worst case. Oben links: 2010 zu 2008. Oben rechts: 2015 zu 2008. Unten: 2015 zu 2010.**

## Attributierung des Verkehrsnetzes

**G**



**Abbildung G-1: Straßentyp**

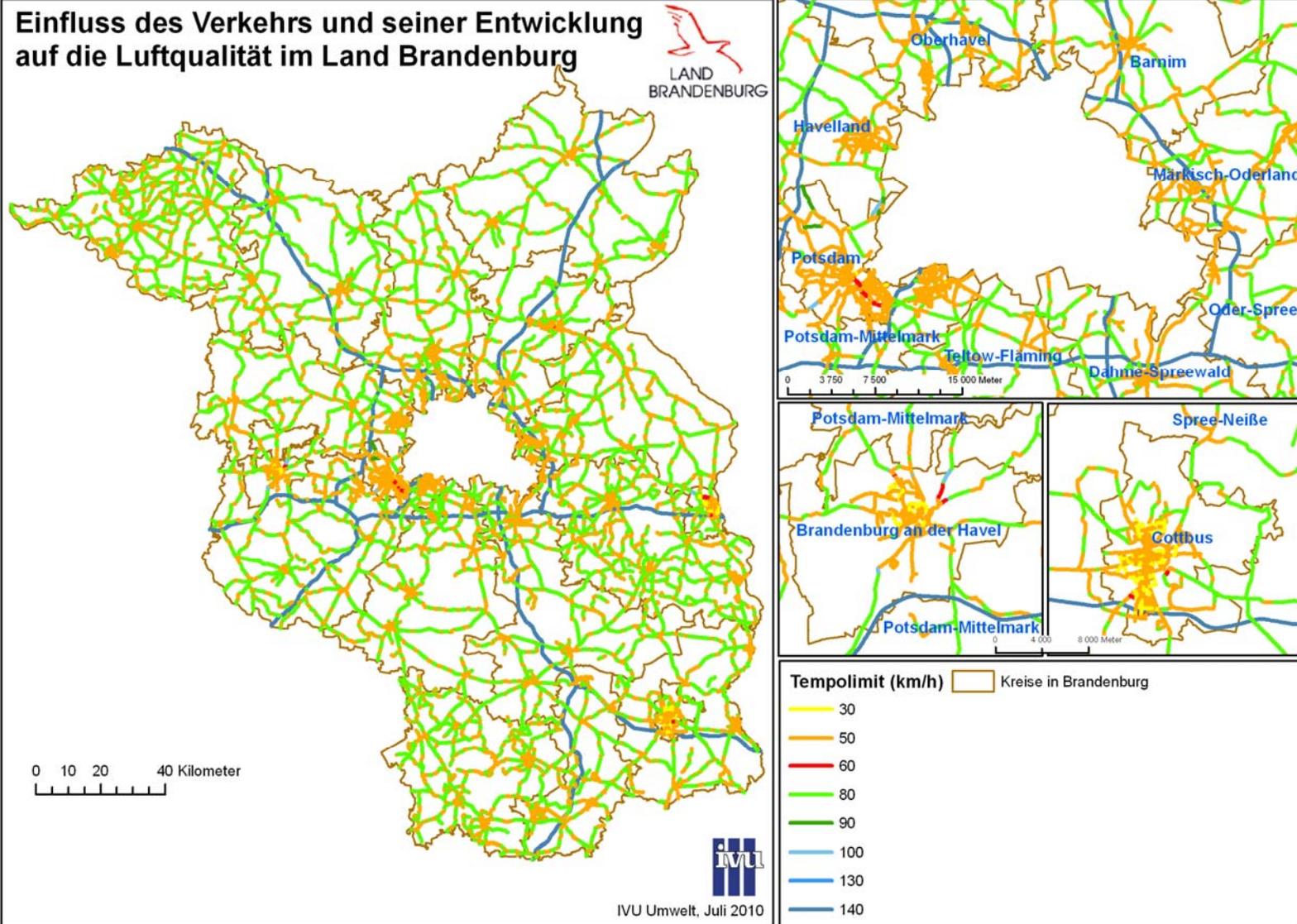
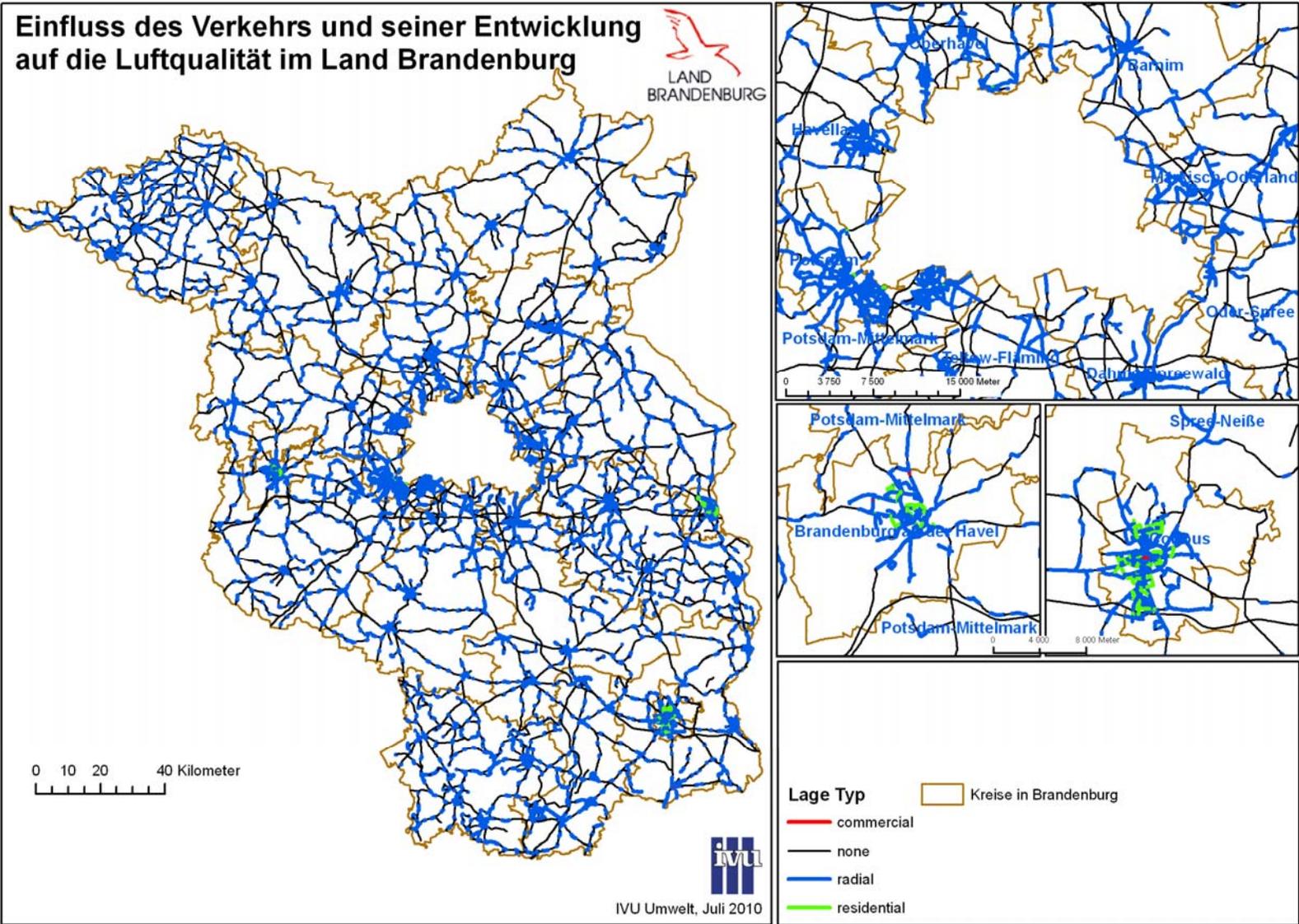


Abbildung G-2: Tempolimit



**Abbildung G-3: Typisierung der Lage für Kaltstartberechnung**

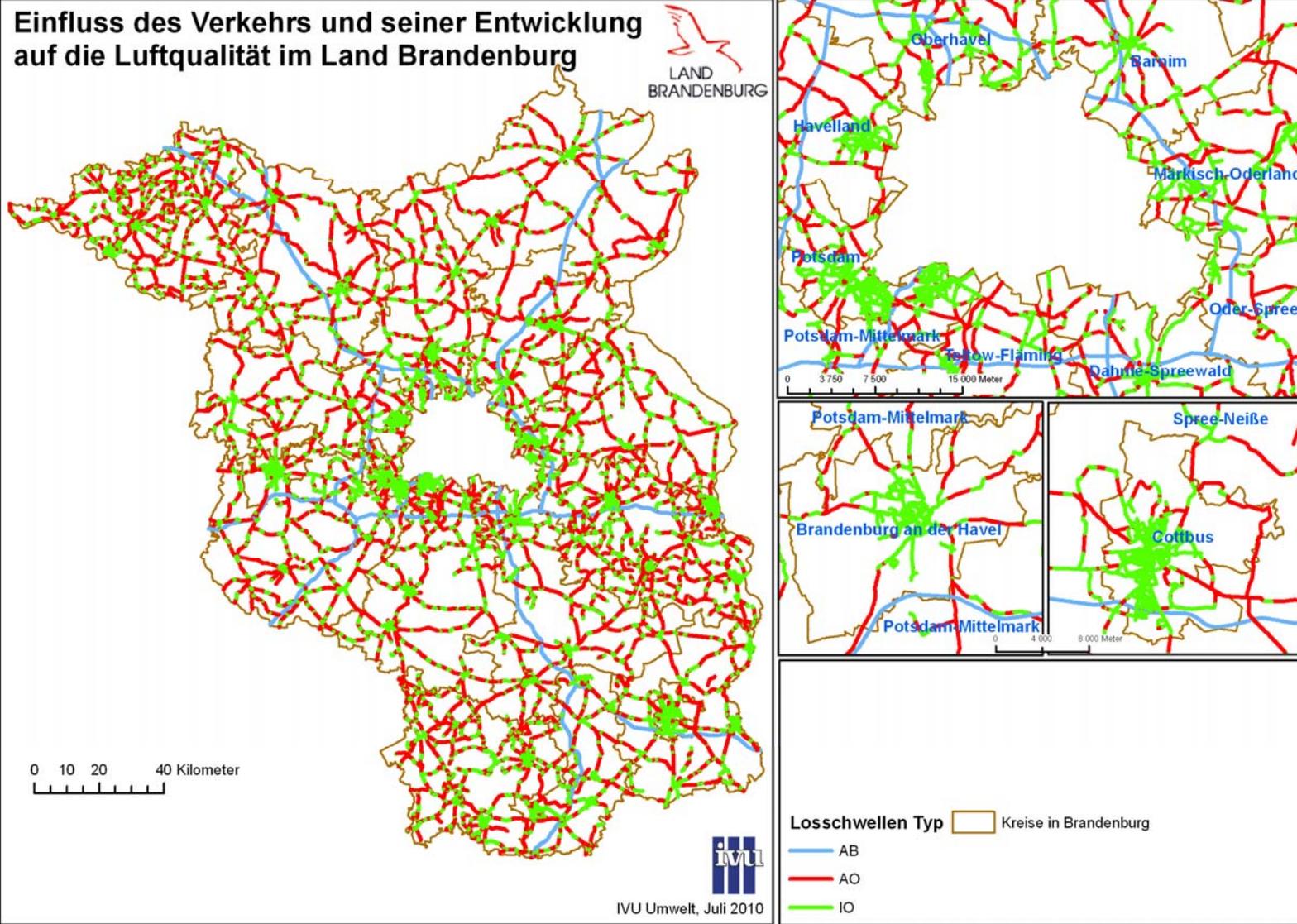


Abbildung G-4: Typisierung für die LOS-Schwellen

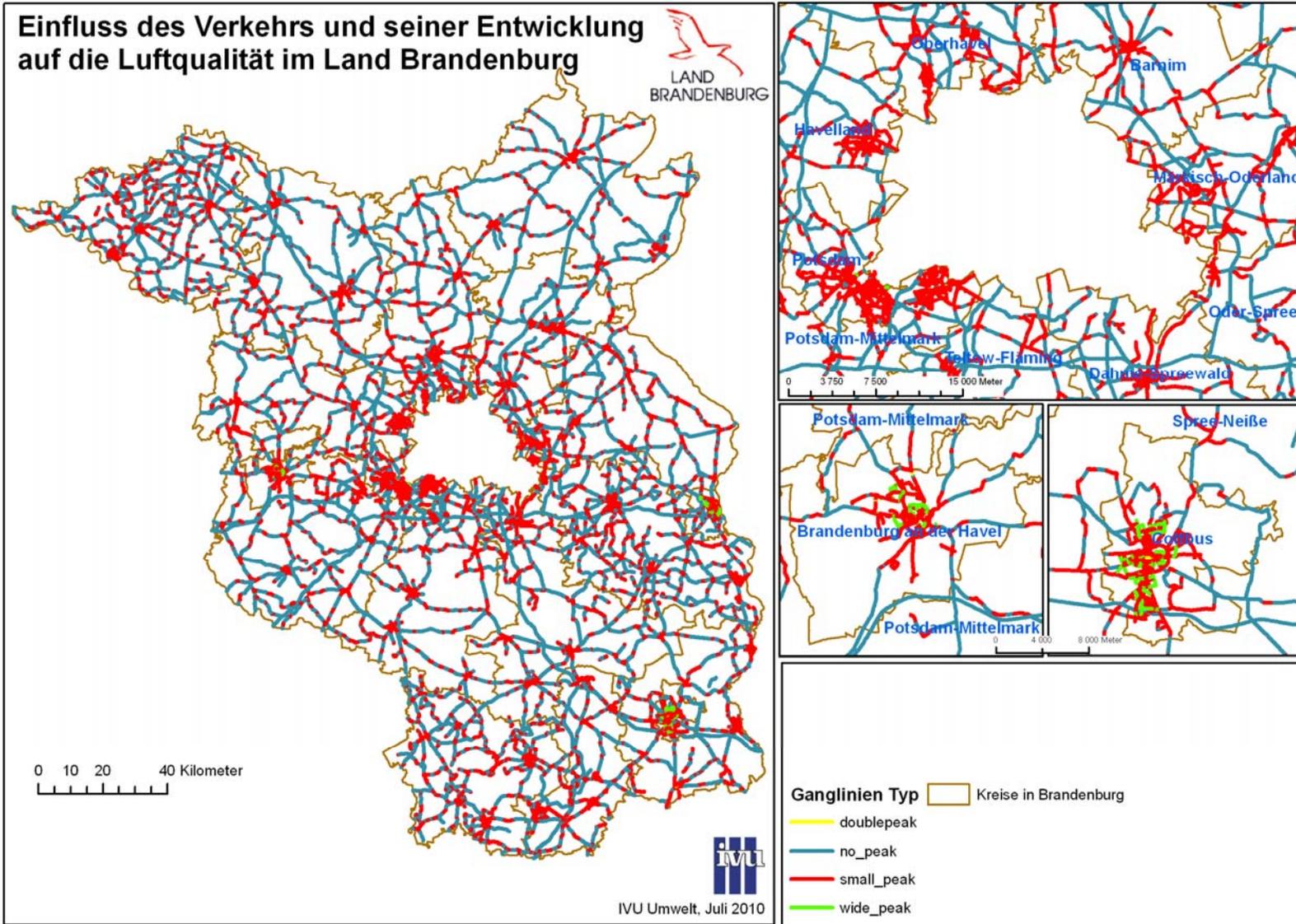


Abbildung G-5: Typisierung der Verkehrsganglinie für die LOS-Berechnung

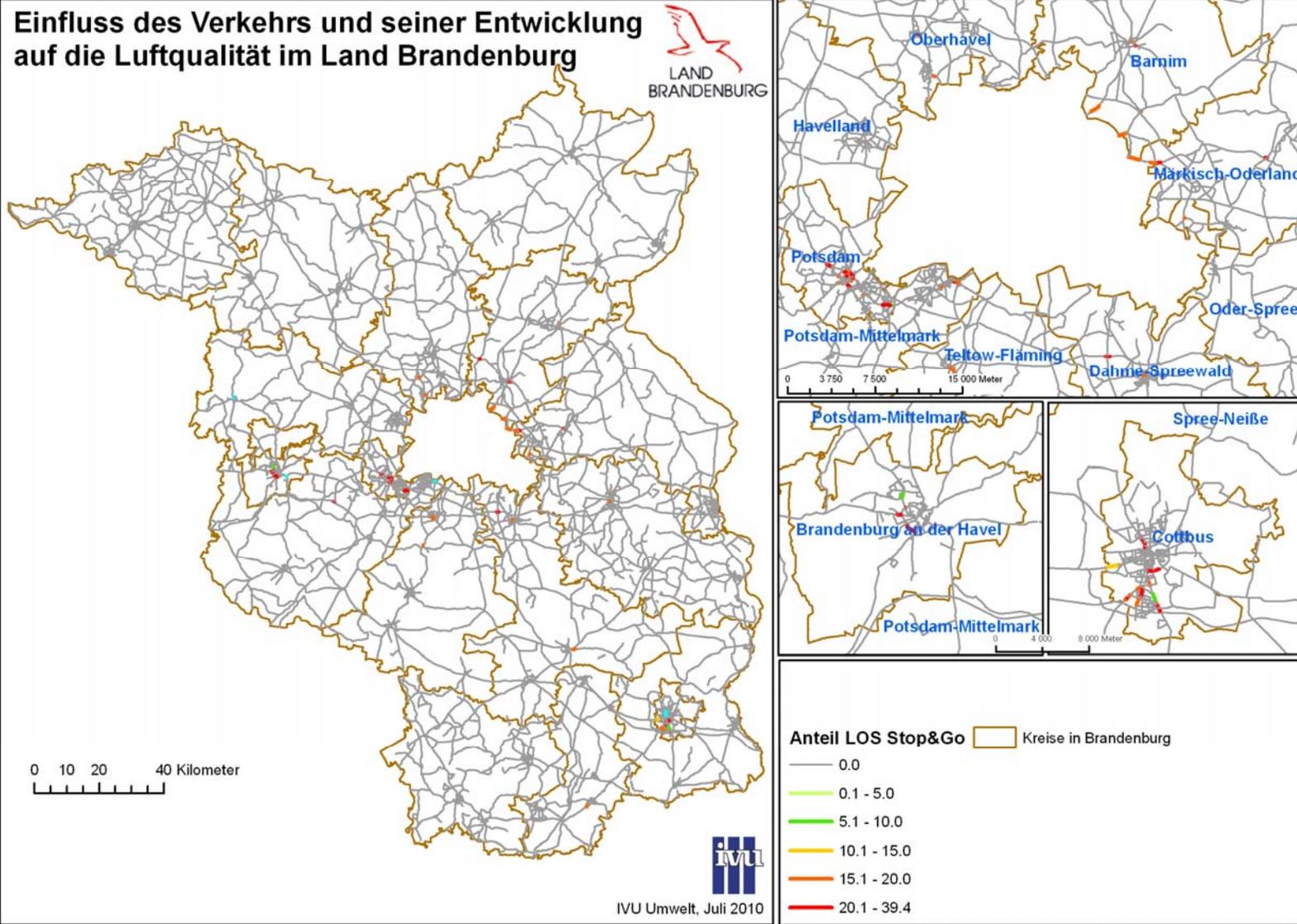


Abbildung G-6: Anteil LOS Stop&Go

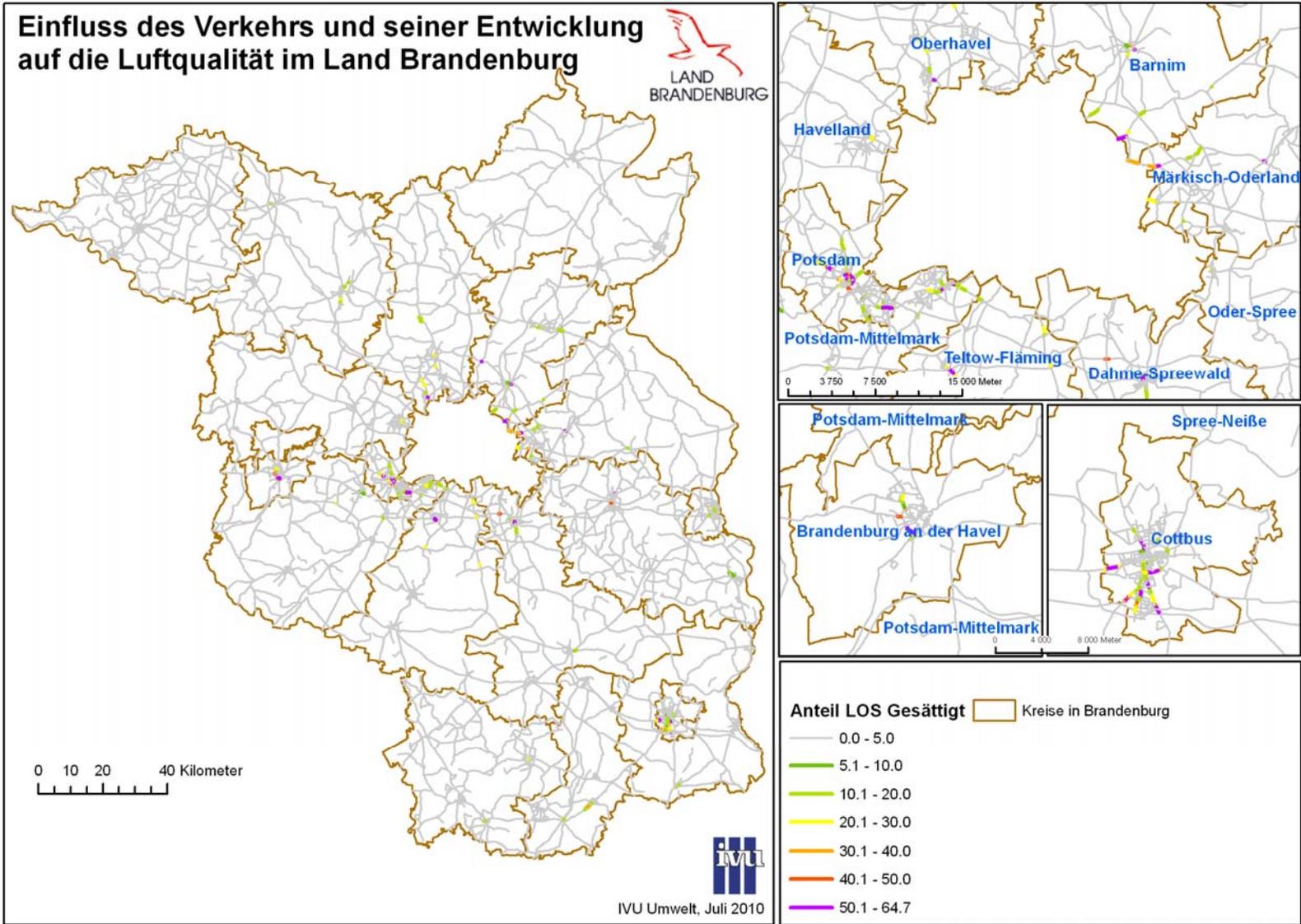


Abbildung G-7: Anteil LOS Gesättigt

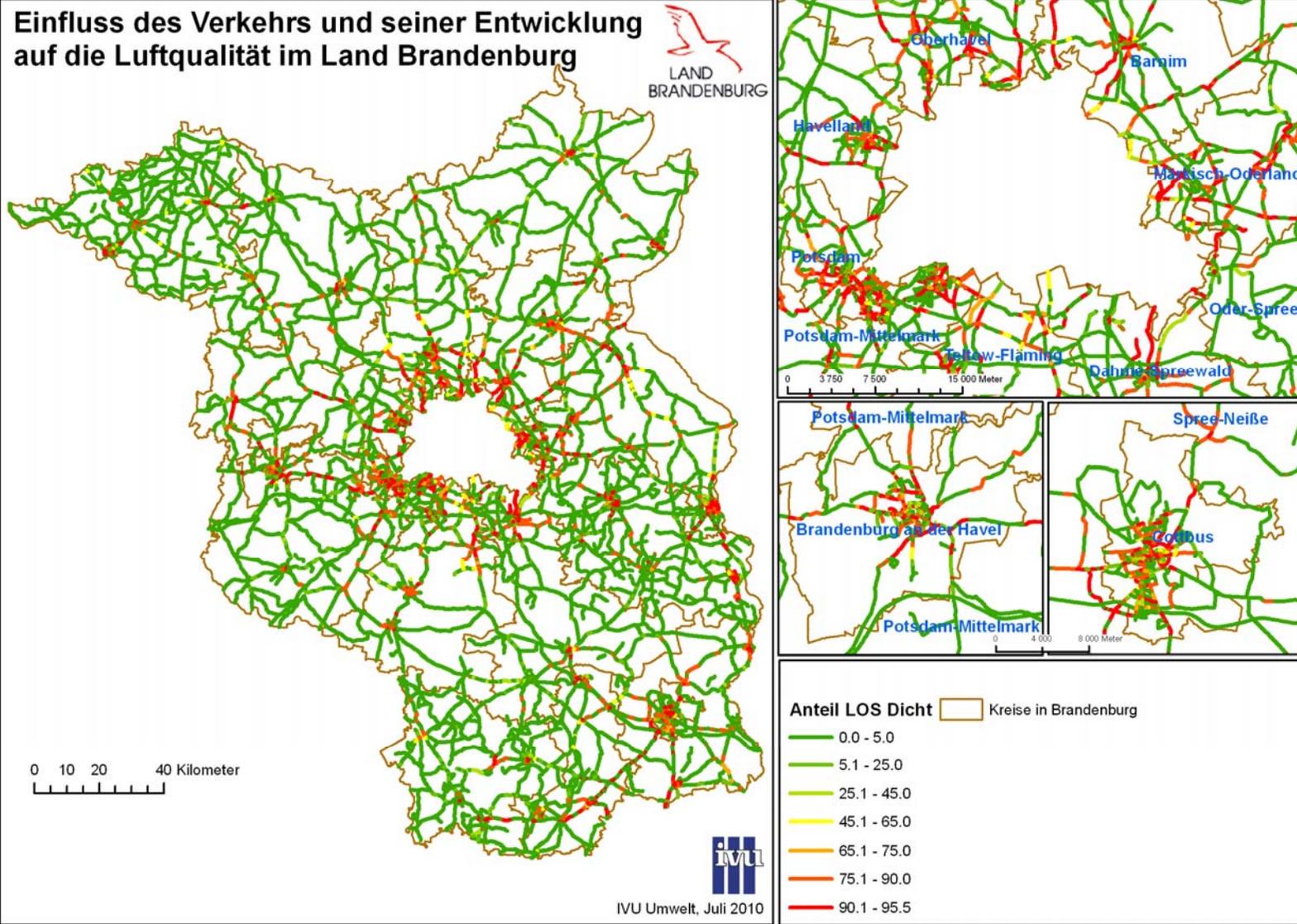


Abbildung G-8: Anteil LOS Dicht

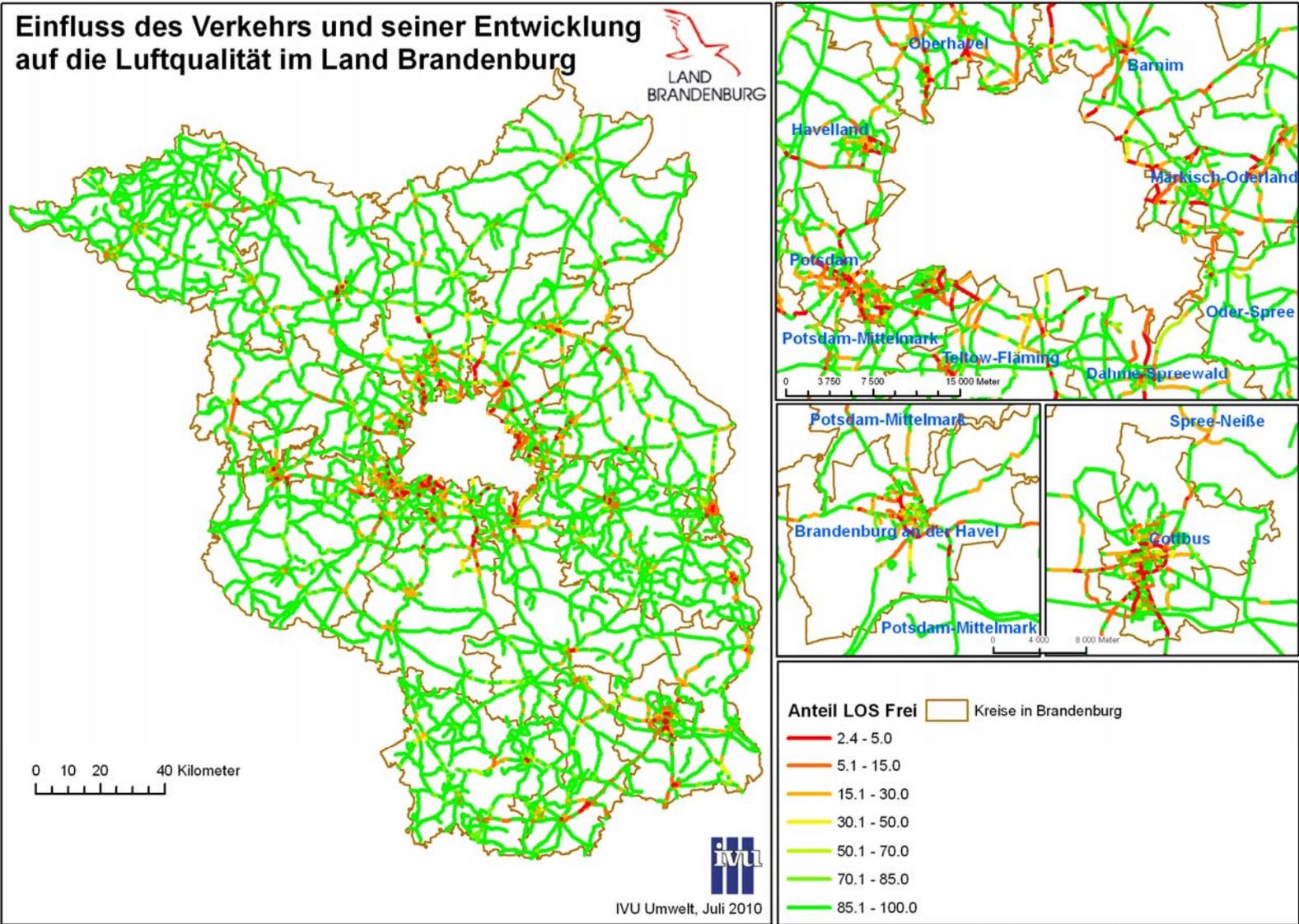


Abbildung G-9: Anteil LOS Frei

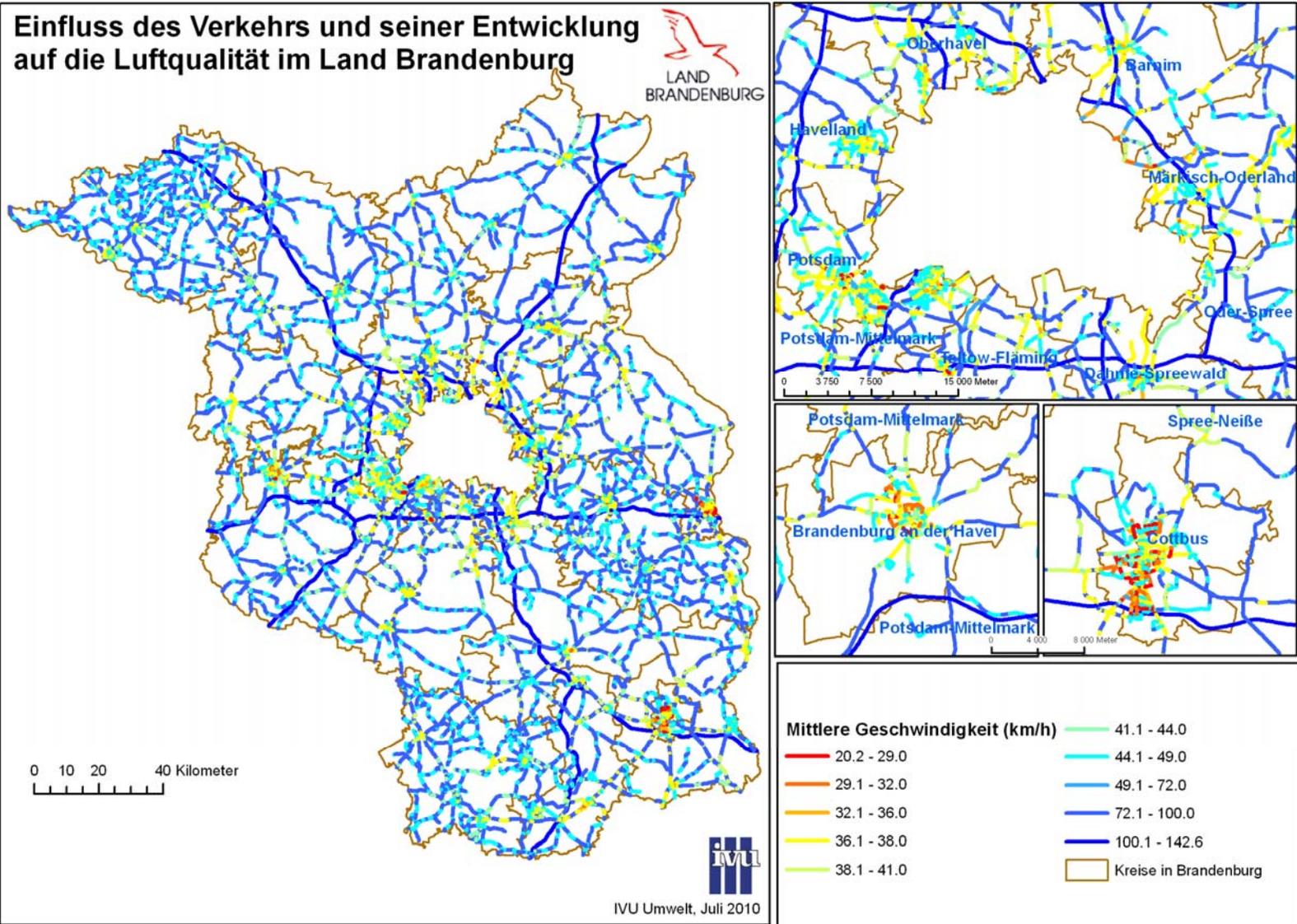


Abbildung G-10: Mittlere Geschwindigkeiten für Pkw als Ergebnis der LOS-Berechnung

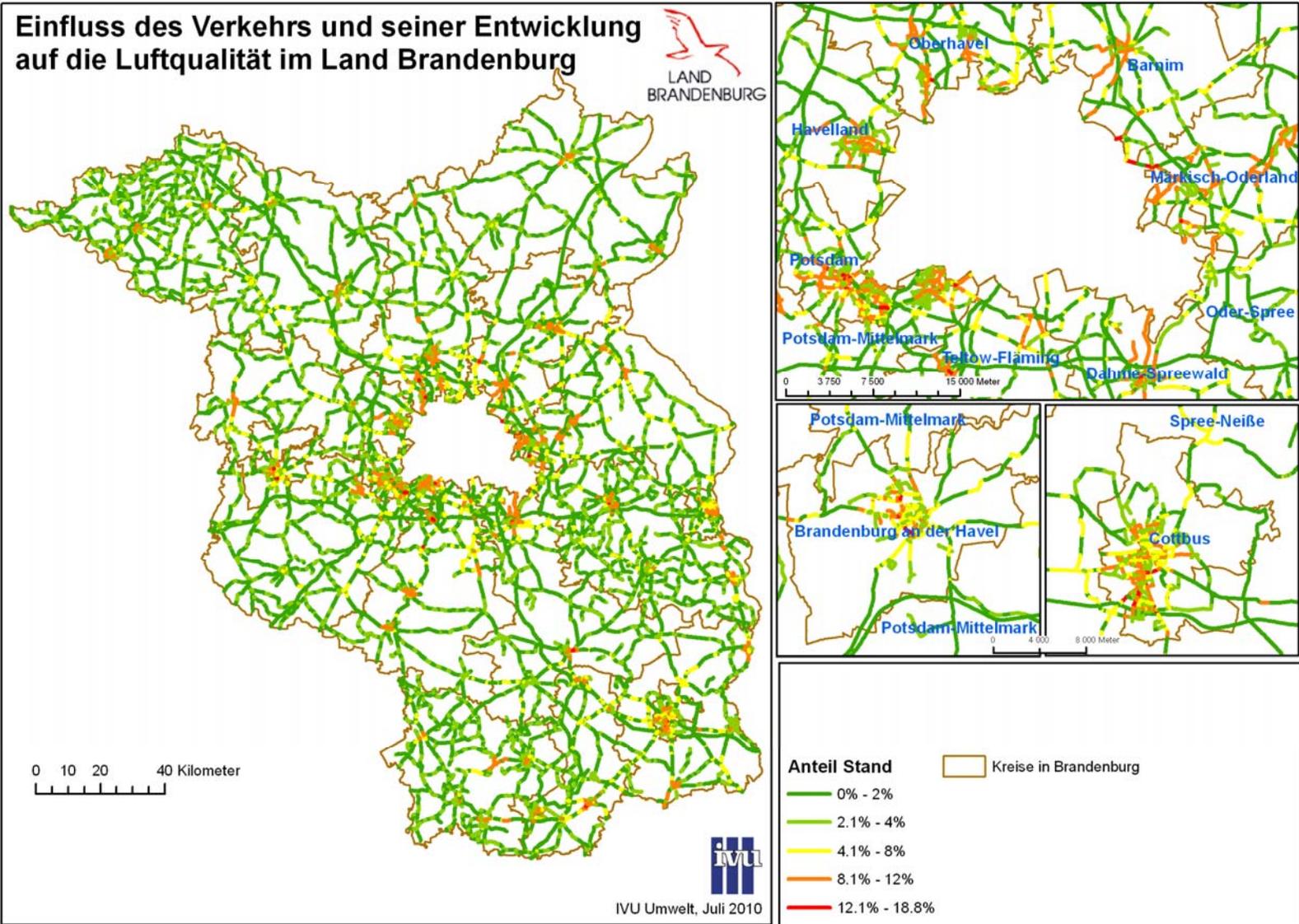


Abbildung G-11: Standanteile für Pkw als Ergebnis der LOS-Berechnung

# H Hotspots 2008

**Tabelle H-1: Liste der Hotspots 2008 – Eingangsdaten und Ergebnisse der Emissionsberechnung**

| Abschnitt |                     |                    | Verkehr |             |             |             |            |             | Level of Service |    |    |    | Steigung | Emissionen |                 |                 |          |      |           |       |            |
|-----------|---------------------|--------------------|---------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|------------------|----|----|----|----------|------------|-----------------|-----------------|----------|------|-----------|-------|------------|
| ID        | Stadt               | Straße             | DTV     | Anteil SNfz | Anteil LNFz | Anteil Krad | Anteil Bus | Straßen-typ | Geschwin-digkeit | 1  | 2  | 3  |          | 4          | NO <sub>2</sub> | NO <sub>x</sub> | Partikel | PM10 | PM10 AWAR | PM2.5 | PM2.5 AWAR |
|           |                     |                    | Kfz/Tag | %           | %           | %           | %          |             |                  | %  | %  | %  |          | %          |                 |                 |          |      |           |       |            |
| 1086      | Cottbus             | Bahnhofstr.        | 34222   | 5.1         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 6  | 30 | 53 | 11       | 0.0        | 3.56            | 25.82           | 0.93     | 3.22 | 2.29      | 2.17  | 1.24       |
| 297       | Potsdam             | Behlertstr.        | 21388   | 3.6         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 5  | 10 | 50 | 35       | 0.0        | 2.36            | 16.11           | 0.59     | 2.05 | 1.46      | 1.38  | 0.79       |
| 7990      | Teltow              | Potsdamer Str.     | 26100   | 4.5         | 9.7         | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 5  | 10 | 50 | 35       | 0.0        | 3.19            | 22.24           | 0.93     | 2.88 | 1.96      | 1.98  | 1.06       |
| 836       | Cottbus             | Karl-Marx-Str.     | 26620   | 3.9         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 6  | 30 | 53 | 11       | 0.0        | 2.62            | 18.05           | 0.68     | 2.27 | 1.60      | 1.54  | 0.86       |
| 298       | Potsdam             | Behlertstr.        | 21388   | 3.6         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 5  | 10 | 50 | 35       | 0.0        | 2.36            | 16.11           | 0.59     | 2.05 | 1.46      | 1.38  | 0.79       |
| 5         | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | 30500   | 3.0         | 14.0        | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 5  | 15 | 60 | 20       | 0.0        | 3.43            | 21.79           | 1.10     | 2.91 | 1.82      | 2.08  | 0.98       |
| 127       | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | 25000   | 3.0         | 14.0        | 0.0         | 0.0        | 1           | 50               | 20 | 70 | 10 | 0        | 0.0        | 2.47            | 15.29           | 0.82     | 1.83 | 1.01      | 1.36  | 0.54       |
| 479       | Cottbus             | K.-Liebknecht-Str. | 22551   | 6.3         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 6  | 30 | 53 | 11       | 0.0        | 2.46            | 18.74           | 0.65     | 2.32 | 1.67      | 1.55  | 0.90       |
| 103       | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | 30500   | 3.0         | 14.0        | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 5  | 15 | 60 | 20       | 0.0        | 3.43            | 21.79           | 1.10     | 2.91 | 1.82      | 2.08  | 0.98       |
| 21        | Potsdam             | Breite Str.        | 40473   | 2.8         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 6  | 30 | 53 | 11       | 0.0        | 3.79            | 24.61           | 0.96     | 3.13 | 2.18      | 2.13  | 1.17       |
| 419       | Potsdam             | Kurfürstenstr.     | 24961   | 1.8         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 6  | 30 | 53 | 11       | 0.0        | 2.23            | 13.59           | 0.55     | 1.75 | 1.20      | 1.20  | 0.65       |
| 382       | Altlandsberg        | Berliner Str.      | 15000   | 4.8         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 4  | 81 | 15 | 0        | 0.0        | 1.46            | 10.21           | 0.39     | 1.15 | 0.77      | 0.80  | 0.41       |
| 649       | Cottbus             | Bahnhofstr.        | 34616   | 4.2         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 1           | 50               | 10 | 60 | 28 | 2        | 0.0        | 3.23            | 22.17           | 0.85     | 2.51 | 1.66      | 1.74  | 0.89       |
| 7989      | Teltow              | Potsdamer Str.     | 26100   | 4.5         | 9.7         | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 5  | 10 | 50 | 35       | 0.0        | 3.19            | 22.24           | 0.93     | 2.88 | 1.96      | 1.98  | 1.06       |
| 860       | Cottbus             | F.-Mehring-Str.    | 15735   | 5.6         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 1           | 50               | 10 | 60 | 28 | 2        | 0.0        | 1.56            | 11.32           | 0.42     | 1.25 | 0.83      | 0.86  | 0.45       |
| 724       | Potsdam             | Leipziger Str.     | 8770    | 4.0         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 1           | 50               | 9  | 91 | 0  | 0        | 0.0        | 0.81            | 5.45            | 0.22     | 0.60 | 0.39      | 0.42  | 0.21       |
| 374       | Potsdam             | Zeppelinstr.       | 25584   | 3.2         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 1           | 50               | 10 | 60 | 28 | 2        | 0.0        | 2.29            | 14.93           | 0.59     | 1.73 | 1.13      | 1.21  | 0.61       |
| 7325      | Teltow              | Potsdamer Str.     | 25400   | 5.6         | 9.6         | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 6  | 30 | 53 | 11       | 0.0        | 2.87            | 20.74           | 0.85     | 2.62 | 1.77      | 1.81  | 0.96       |
| 1787      | Altlandsberg        | Am Markt           | 15000   | 4.8         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 4  | 81 | 15 | 0        | 0.0        | 1.46            | 10.21           | 0.39     | 1.15 | 0.77      | 0.80  | 0.41       |
| 385       | Potsdam             | Zeppelinstr.       | 24158   | 3.4         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 1           | 50               | 10 | 60 | 28 | 2        | 0.0        | 2.18            | 14.37           | 0.57     | 1.65 | 1.09      | 1.15  | 0.59       |
| 383       | Altlandsberg        | Berliner Allee     | 15000   | 4.8         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 3           | 50               | 4  | 81 | 15 | 0        | 0.0        | 1.46            | 10.21           | 0.39     | 1.15 | 0.77      | 0.80  | 0.41       |
| 11939     | Luckenwalde         | Zinnaer Str.       | 9850    | 9.4         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 1           | 50               | 7  | 93 | 0  | 0        | 0.0        | 1.12            | 9.08            | 0.32     | 0.91 | 0.60      | 0.64  | 0.32       |
| 166       | Brandenburg (Havel) | Neuendorfer Str.   | 15500   | 4.0         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 1           | 50               | 10 | 60 | 28 | 2        | 0.0        | 1.43            | 9.75            | 0.38     | 1.11 | 0.73      | 0.77  | 0.39       |
| 5806      | Pritzwalk           | Havelberger Str.   | 13505   | 8.0         | 5.2         | 1.9         | 2.7        | 3           | 50               | 5  | 95 | 0  | 0        | 0.0        | 2.16            | 15.57           | 0.49     | 1.36 | 0.87      | 0.96  | 0.47       |
| 1008      | Eberswalde          | Breite Str.        | 18000   | 5.5         | 5.0         | 0.0         | 0.0        | 1           | 50               | 4  | 81 | 15 | 0        | 0.0        | 1.79            | 12.81           | 0.48     | 1.40 | 0.92      | 0.98  | 0.50       |
| 6052      | Pritzwalk           | Havelberger Str.   | 11409   | 8.1         | 5.2         | 1.9         | 2.7        | 1           | 50               | 7  | 93 | 0  | 0        | 0.0        | 1.81            | 13.09           | 0.41     | 1.14 | 0.73      | 0.81  | 0.40       |

**Tabelle H-2: Liste der Hotspots 2008 – Eingangsdaten und Ergebnisse der Immissionsberechnung**

| Abschnitt |                     |                    |       | Verkehr |             | Bebauungsgeometrie |        |              |                 | Vorbelastung    |      |                |      |       | Gesamtbelastung |      |                            |       |
|-----------|---------------------|--------------------|-------|---------|-------------|--------------------|--------|--------------|-----------------|-----------------|------|----------------|------|-------|-----------------|------|----------------------------|-------|
| ID        | Stadt               | Straße             | Meteo | DTV     | Anteil SNfz | Höhe               | Breite | Lückenanteil | Abschnittslänge | NO <sub>2</sub> | NOX  | O <sub>3</sub> | PM10 | PM2.5 | NO <sub>2</sub> | PM10 | #Tage >50µg/m <sup>3</sup> | PM2.5 |
|           |                     |                    |       | Kfz/Tag | %           |                    |        |              |                 |                 |      |                |      |       |                 |      |                            |       |
| 1086      | Cottbus             | Bahnhofstr.        | COTT  | 34222   | 5.1         | 18                 | 30     | 24           | 119             | 15.8            | 22.6 | 50.3           | 21.6 | 16.2  | 46.7            | 32.9 | 47                         | 24    |
| 297       | Potsdam             | Behlerstr.         | GRUN  | 21388   | 3.6         | 18                 | 21     | 30           | 49              | 17.2            | 25.0 | 49.2           | 21.0 | 14.3  | 48.1            | 32.5 | 45                         | 22    |
| 7990      | Teltow              | Potsdamer Str.     | COTT  | 26100   | 4.5         | 10                 | 20     | 29           | 149             | 17.1            | 24.8 | 44.7           | 20.0 | 15.0  | 47.3            | 32.3 | 44                         | 23    |
| 836       | Cottbus             | Karl-Marx-Str.     | COTT  | 26620   | 3.9         | 20                 | 20     | 30           | 60              | 15.7            | 22.4 | 50.2           | 21.6 | 16.2  | 45.3            | 32.2 | 44                         | 23    |
| 298       | Potsdam             | Behlerstr.         | GRUN  | 21388   | 3.6         | 12                 | 20     | 31           | 134             | 17.2            | 25.0 | 49.2           | 21.0 | 14.3  | 46.7            | 31.8 | 42                         | 22    |
| 5         | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | RUPP  | 30500   | 3.0         | 16                 | 30     | 21           | 132             | 14.3            | 19.9 | 50.0           | 22.6 | 17.1  | 39.7            | 31.8 | 42                         | 24    |
| 127       | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | RUPP  | 25000   | 3.0         | 17                 | 21     | 25           | 139             | 14.6            | 20.5 | 49.8           | 23.7 | 17.1  | 38.9            | 31.4 | 41                         | 23    |
| 479       | Cottbus             | K.-Liebknecht-Str. | COTT  | 22551   | 6.3         | 18                 | 26     | 20           | 113             | 15.8            | 22.6 | 50.3           | 21.6 | 16.2  | 43.1            | 31.3 | 40                         | 23    |
| 103       | Frankfurt (Oder)    | Leipziger Str.     | RUPP  | 30500   | 3.0         | 18                 | 31     | 38           | 139             | 14.1            | 19.7 | 50.1           | 23.7 | 17.0  | 34.3            | 30.7 | 38                         | 22    |
| 21        | Potsdam             | Breite Str.        | GRUN  | 40473   | 2.8         | 17                 | 34     | 38           | 81              | 17.0            | 24.8 | 49.7           | 21.2 | 14.2  | 44.1            | 30.6 | 38                         | 21    |
| 419       | Potsdam             | Kurfürstenstr.     | GRUN  | 24961   | 1.8         | 16                 | 24     | 22           | 134             | 16.9            | 24.5 | 49.6           | 21.1 | 14.2  | 42.4            | 29.8 | 35                         | 20    |
| 382       | Altlandsberg        | Berliner Str.      | RUPP  | 15000   | 4.8         | 12                 | 11     | 18           | 88              | 14.9            | 20.9 | 48.0           | 19.3 | 14.6  | 45.8            | 29.7 | 34                         | 22    |
| 649       | Cottbus             | Bahnhofstr.        | COTT  | 34616   | 4.2         | 19                 | 30     | 32           | 160             | 15.8            | 22.6 | 50.3           | 21.6 | 16.2  | 41.3            | 29.5 | 34                         | 22    |
| 7989      | Teltow              | Potsdamer Str.     | COTT  | 26100   | 4.5         | 8                  | 20     | 44           | 58              | 17.1            | 24.8 | 44.7           | 20.0 | 15.0  | 40.7            | 29.2 | 32                         | 21    |
| 860       | Cottbus             | F.-Mehring-Str.    | COTT  | 15735   | 5.6         | 15                 | 15     | 29           | 68              | 15.8            | 22.6 | 50.3           | 21.6 | 16.2  | 40.2            | 29.1 | 32                         | 21    |
| 724       | Potsdam             | Leipziger Str.     | GRUN  | 8770    | 4.0         | 16                 | 11     | 21           | 60              | 16.9            | 24.6 | 49.6           | 21.1 | 14.3  | 42.8            | 28.9 | 32                         | 20    |
| 374       | Potsdam             | Zeppelinstr.       | GRUN  | 25584   | 3.2         | 17                 | 23     | 28           | 194             | 16.3            | 23.4 | 49.9           | 20.9 | 14.1  | 41.5            | 28.8 | 31                         | 20    |
| 7325      | Teltow              | Potsdamer Str.     | COTT  | 25400   | 5.6         | 15                 | 24     | 40           | 60              | 17.1            | 24.8 | 44.7           | 20.0 | 15.0  | 40.0            | 28.7 | 31                         | 21    |
| 1787      | Altlandsberg        | Am Markt           | RUPP  | 15000   | 4.8         | 13                 | 11     | 23           | 77              | 14.6            | 20.4 | 48.2           | 19.1 | 14.4  | 43.4            | 28.7 | 31                         | 21    |
| 385       | Potsdam             | Zeppelinstr.       | GRUN  | 24158   | 3.4         | 17                 | 20     | 39           | 118             | 15.8            | 22.5 | 50.2           | 20.7 | 14.0  | 40.0            | 28.2 | 29                         | 19    |
| 383       | Altlandsberg        | Berliner Allee     | RUPP  | 15000   | 4.8         | 10                 | 11     | 26           | 41              | 15.4            | 21.9 | 47.7           | 19.4 | 14.7  | 41.1            | 27.8 | 28                         | 20    |
| 11939     | Luckenwalde         | Zinnaer Str.       | COTT  | 9850    | 9.4         | 14                 | 9      | 45           | 93              | 11.9            | 16.0 | 50.0           | 18.6 | 13.4  | 41.6            | 27.6 | 27                         | 20    |
| 166       | Brandenburg (Havel) | Neuendorfer Str.   | COTT  | 15500   | 4.0         | 16                 | 14     | 19           | 107             | 14.3            | 20.0 | 50.0           | 18.7 | 14.7  | 41.6            | 27.4 | 27                         | 21    |
| 5806      | Pritzwalk           | Havelberger Str.   | LIND  | 13505   | 8.0         | 14                 | 12     | 20           | 69              | 11.2            | 14.9 | 51.8           | 16.8 | 12.6  | 49.7            | 27.0 | 25                         | 20    |
| 1008      | Eberswalde          | Breite Str.        | LIND  | 18000   | 5.5         | 13                 | 14     | 18           | 97              | 12.0            | 16.2 | 51.3           | 15.9 | 12.4  | 44.3            | 26.1 | 23                         | 20    |
| 6052      | Pritzwalk           | Havelberger Str.   | LIND  | 11409   | 8.1         | 11                 | 11     | 34           | 56              | 11.2            | 14.9 | 51.8           | 16.8 | 12.6  | 41.3            | 24.3 | 18                         | 18    |