


Wirkungsabschätzung weiterer Maßnahmen für den Ballungsraum Stuttgart

 Teilbericht Analyse und Trendprognose



Wirkungsabschätzung weiterer Maßnahmen für den Ballungsraum Stuttgart

 Teilbericht Analyse und Trendprognose

- HERAUSGEBER** LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz
Baden-Württemberg, Postfach 100163, 76231 Karlsruhe,
www.lubw.baden-wuerttemberg.de
- BEARBEITUNG** AVISO GmbH
Am Hasselholz 15, 52074 Aachen
Dr.-Ing. Christiane Schneider, Dipl.-Ing. Arnold Niederau, Michael Nacken
- Ingenieurbüro Matthias Rau
Bottwarbahnstraße 4, 74081 Heilbronn
Dipl.-Ing. Matthias Rau
- REDAKTION** LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg
Postfach 100163, 76231 Karlsruhe
Referat 33 – Luftqualität
Dr. Sebastian Scheinhardt, Tina zur Heiden
- STAND** Mai 2015
- BERICHTSUMFANG** 61 Seiten

Nachdruck - auch auszugsweise - ist nur mit Zustimmung der LUBW unter Quellenangabe und Überlassung von Belegexemplaren gestattet.

| | |
|--|-----------|
| ZUSAMMENFASSUNG | 5 |
| 1 EINLEITUNG | 7 |
| 2 UNTERSUCHUNGSGEBIET | 8 |
| 3 TRENDPROGNOSE | 10 |
| 4 VERKEHRSDATEN | 11 |
| 5 GRUNDLAGEN DER EMISSIONSBERECHNUNGEN | 14 |
| 5.1 Emissionsberechnungsmodell roadTEIM | 14 |
| 5.2 Emissionsfaktoren | 14 |
| 5.2.1 Flottenzusammensetzung 2013 bis 2020 | 15 |
| 5.2.2 Detailinformationen zu den Euro 3/III-Schichten | 18 |
| 5.2.3 Partikelfilternachrüstung im Ballungsraum Stuttgart | 20 |
| 5.2.4 Abgas-Emissionsfaktoren | 22 |
| 5.2.5 Emissionsfaktoren PM10 durch Aufwirbelung und Abrieb | 27 |
| 6 EMISSIONEN | 28 |
| 6.1 Ballungsraum Stuttgart | 28 |
| 6.2 Stadtgebiet Stuttgart | 32 |
| 7 GRUNDLAGEN DER IMMISSIONSBERECHNUNGEN | 35 |
| 7.1 Screening-Modell | 35 |
| 7.1.1 Grundsätzliches zu einem Screening-Modell | 35 |
| 7.1.2 Möglichkeiten und Grenzen des Screening-Modells | 36 |
| 7.2 Vorgehen im konkreten Fall | 36 |
| 7.2.1 Festlegung der Bebauungsstrukturen | 36 |
| 7.2.2 Ermittlung von Transmissionskoeffizienten | 39 |
| 7.2.3 Umfang der Berechnungen | 39 |
| 8 BESTIMMUNG STATISTISCHER KENNGRÖßEN FÜR NO₂ UND PM10 FÜR DIE NETZBERECHNUNGEN MIT DEM SCREENING-MODELL | 41 |
| 8.1 Beurteilungswerte | 41 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 8.2 | Ermittlung der Jahresmittelwerte | 42 |
| 8.2.1 | Windstatistik | 42 |
| 8.2.2 | Hintergrundbelastung | 44 |
| 8.2.3 | Ermittlung der Jahresmittelwerte der Gesamtbelastung | 44 |
| 8.3 | Abschätzung der Kurzzeitwerte der Gesamtbelastung | 45 |
| 9 | ERGEBNISSE DER IMMISSIONSBERECHNUNGEN | 47 |
| 9.1 | Darstellung der Ergebnisse | 47 |
| 9.2 | Ballungsraum Stuttgart | 47 |
| 9.3 | Stadtgebiet Stuttgart | 50 |
| 10 | DETAILBETRACHTUNG AM NECKARTOR | 52 |
| 10.1 | Emissionen | 52 |
| 10.2 | Immissionen | 56 |
| | LITERATUR | 58 |
| | ANHANG | 61 |

Zusammenfassung

Durch die schrittweise eingeführten Umweltzonen ergab sich im Ballungsraum Stuttgart ein Gebiet mit mehreren kleinen Fahrverbotszonen. Mit Einführung der regionalen Umweltzone „Ludwigsburg und Umgebung“ im Januar 2013 und der Ausweisung der regionalen Umweltzone „Leonberg/Hemmingen und Umgebung“ zum Dezember 2013 wurde begonnen, die einzelnen Zonen zusammenzuschließen. Eine Ausdehnung der Fahrverbote auf den gesamten Ballungsraum Stuttgart wäre ein nächster Schritt.

Da die Grenzwerte der 39. BImSchV, insbesondere für Stickstoffdioxid NO₂ und Feinstaub PM₁₀, weiterhin nicht an allen Messpunkten in Baden-Württemberg eingehalten werden können, muss über weiterführende Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität nachgedacht werden. In einer Umweltzone wäre auch die Einführung neuer Plakettenregelungen mit damit verbundenen Fahrverboten denkbar.

Um eine Wirkungsabschätzung derartiger Maßnahmen durchführen zu können, wurde im vorliegenden Bericht zunächst eine Beschreibung der aktuellen Emissions- und Immissionsituation im relevanten Straßennetz vorgenommen. Des Weiteren wurden auf Basis der schon ergriffenen Maßnahmen und der damit zu erwartenden Flottenerneuerung Prognosen für die erwartete Trendentwicklung bis 2020 durchgeführt. Die Untersuchungen dienen als Grundlage für die Wirkungsabschätzung weiterer verkehrlicher Maßnahmen, um die Luftqualität im Ballungsraum Stuttgart zu verbessern.

Emissionen

Bilanziert für den Ballungsraum Stuttgart ergeben sich für die NO_x-, NO₂- und PM₁₀-Abgasemissionen, trotz der Zunahmen der Jahresfahrleistung, von 2013 bis 2020 deutliche Reduktionen, die bei -45 %, -32 % bzw. -60 % liegen. Die Ursache hierfür ist vor allem in der kontinuierlichen Verbesserung des Abgasverhaltens der Fahrzeugflotte zu sehen. Etwas verstärkt wird diese Entwicklung noch durch die angenommene Ausdehnung des Umweltzonengebietes bis 2020.

Da die verkehrsbedingten PM₁₀-Gesamtemissionen von den Emissionen durch Aufwirbelung und Abrieb dominiert werden und für diese bis 2020 analog der Jahresfahrleistung eine Erhöhung prognostiziert wird (+7 %), ergibt sich für die PM₁₀-Gesamtemissionen von 2013 bis 2020 nur eine Abnahme von knapp -7 %.

Für die PM₁₀-Gesamtemissionen liegt die Reduktion in der Trendentwicklung von 2013 bis 2020 bei -7 %, d.h. sie fällt deutlich geringer aus als für die NO_x-Emissionen.

Immissionen

Die mit dem Screening-Modell ISIS berechneten Immissionskonzentrationen liegen für den Basisfall 2013 auf etwa 180 km des insgesamt 710 km langen relevanten Streckennetzes im Ballungsraum Stuttgart (d.h. auf ca. 25 %) über dem Immissionsgrenzwert für das Jahresmittel von NO₂ in Höhe von 40 µg/m³. Für PM₁₀ zeigt sich ein deutlich günstigeres Bild.

Für das Berechnungsjahr 2020 (Trendfall 2020) zeigen sich deutliche Minderungen bei den höheren NO₂-Immissionskonzentrationen. Gegenüber dem Basisszenario 2013 reduziert sich die Gesamtlänge mit Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für Szenario 2020b auf knapp 100 km, entsprechend einer Reduktion um etwa 44 %. Berücksichtigt man zusätzlich eine Abnahme der großflächigen Vorbelastung bis zum Jahr

2020, reduziert sich die Streckenlänge mit Immissionskonzentrationen von über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel auf 14,4 km.

Bei PM10 liegen die Immissionskonzentrationen sowohl für den Basisfall als auch die Trendfälle auf einer verschwindend geringen Streckenlänge im Ballungsraum Stuttgart über dem zulässigen Grenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für das Jahresmittel. Eine Überschreitung des Schwellenwertes von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bei der mit hoher Wahrscheinlichkeit die maximal zulässigen 35 Überschreitungen des Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht eingehalten werden können, ist im Basisfall auf einer Streckenlänge von 12,3 km zu erwarten. Für den Trendfall 2020 mit der prognostizierten Vorbelastung des Jahres 2020 reduziert sich diese Streckenlänge auf 2,7 km.

Detailbetrachtung Am Neckartor

Einen der höchstbelasteten Hotspots in Stuttgart stellt die Messstelle Am Neckartor dar. Für diesen Streckenabschnitt wurde zusätzlich eine ergänzende Detailbetrachtung durchgeführt. In der Trendentwicklung ergeben sich für diesen Streckenabschnitt von 2013 bis 2020 (Szenario 2020b) Emissionsminderungen von -42 % für NO_x , -49 % für PM10-Abgas und -9 % für PM10-Gesamt. Der Beitrag der Diesel-Pkw zu den NO_x -Emissionen liegt bei 50 % im Bezugsjahr 2014 und variiert für die verschiedenen Szenarien nur geringfügig.

Die Ergebnisse der Immissionsermittlungen für den Hotspot Am Neckartor zeigen für den Jahresmittelwert von NO_2 in der Trendentwicklung eine Minderung bis 2020 von knapp $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (bei konstanter Hintergrundbelastung), für PM10 von $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Bei reduzierter Hintergrundbelastung in 2020 ergeben sich Minderungen im Vergleich zu 2013 von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für NO_2 und von $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für PM10. Damit wird auch für 2020 sowohl für NO_2 als auch für PM10 noch keine Einhaltung des Grenzwertes ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für das Jahresmittel NO_2) bzw. Äquivalentwertes ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ für PM10) prognostiziert.

1 Einleitung

Durch die schrittweise eingeführten Umweltzonen ergab sich im Ballungsraum Stuttgart ein Gebiet mit mehreren kleinen Fahrverbotszonen (seit 01.01.2013 dürfen nur noch Fahrzeuge mit grüner Plakette einfahren). Mit Einführung der regionalen Umweltzone „Ludwigsburg und Umgebung“ im Januar 2013 und der Ausweisung der regionalen Umweltzone „Leonberg/Hemmingen und Umgebung“ zum Dezember 2013 wurde begonnen, die einzelnen Zonen zusammenzuschließen. Eine Ausdehnung der Fahrverbote auf den gesamten Ballungsraum Stuttgart wäre ein nächster Schritt.

Da die Grenzwerte der 39. BImSchV, insbesondere für Stickstoffdioxid NO₂ und Feinstaub PM10, weiterhin nicht an allen Messpunkten in Baden-Württemberg eingehalten werden können, muss über weiterführende Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität nachgedacht werden. In einer Umweltzone wäre auch die Einführung neuer Plakettenregelungen mit damit verbundenen Fahrverboten denkbar.

Um eine Wirkungsabschätzung derartiger Maßnahmen durchführen zu können, wurde im vorliegenden Bericht zunächst eine Beschreibung der aktuellen Emissions- und Immissionsituation im relevanten Straßennetz vorgenommen. Des Weiteren wurden Prognosen für die erwartete Trendentwicklung bis 2020 durchgeführt. Die Untersuchungen dienen als Grundlage für die Wirkungsabschätzung weiterer Maßnahmen, um die Luftqualität im Ballungsraum Stuttgart zu verbessern.

2 Untersuchungsgebiet

Als Untersuchungsgebiet wird der Ballungsraum Stuttgart (wie in [LUBW 2010] definiert) betrachtet (vgl. Abbildung 2-1). Er umfasst insgesamt 30 Kommunen, wobei in einigen davon bereits seit dem 01.01.2013, zumindest für Teilgebiete, eine Umweltzone existiert. Die aktuellen Ausdehnungen der einzelnen Umweltzonen sind in Abbildung 2-1 gekennzeichnet.

In die Umweltzonengebiete dürfen im Jahr 2013 nur noch Fahrzeuge mit einer grünen Plakette gemäß Kennzeichnungsverordnung (35. BImSchV, vgl. Tabelle 2-1) einfahren. Die genauen Einführungstermine für die grünen Umweltzonen sind in Abbildung 2-1 angegeben.

Tabelle 2-1: Kennzeichnungsverordnung (35. BImSchV), Stand: 10. Okt. 2006 mit Änderung Nov. 2007

| KennzeichnungsVO vom 10. Oktober 2006 mit Änderung Stand November 2007 | | SG 1 ³⁾ ohne Plakette | SG 2 ³⁾ rot mit Ziffer 2 | SG 3 ³⁾ gelb mit Ziffer 3 | SG 4 ³⁾ grün mit Ziffer 4 |
|--|---------------------------------------|-------------------------------------|--|---|---|
| Pkw /INfz | sNfz | | | | |
| Diesel Euro 1 ¹⁾ und davor | Diesel Euro I ¹⁾ und davor | | | | |
| Diesel Euro 2 ¹⁾ | Diesel Euro II ¹⁾ | | | | |
| Diesel Euro 3 ¹⁾ | Diesel Euro III ¹⁾ | | | | |
| Diesel Euro 4 | Diesel Euro IV, V, EEV ²⁾ | | | | |
| Otto vor Euro 1 (ohne Gkat Anlage XXIII ⁴⁾) | | | | | |
| Otto ab Euro 1, Gkat Anlage XXIII ⁴⁾ , Elektro-, Brennstoffzellenfahrzeug | | | | | |

¹⁾ Die Ausrüstung mit einem Partikelminderungssystem entsprechend der StVZO kann zu einer Heraufsetzung der Schadstoffgruppe führen (Anlage XXVI für Pkw und Anlage XXVII für INfz und sNfz)

²⁾ EEV = Enhanced Environmentally Friendly Vehicle

³⁾ Schadstoffgruppe

⁴⁾ Nachträglich wurden Fahrzeuge, die von der Anlage XXIII erfasst werden (Emissionsschlüsselnr. 01, 02), und Fahrzeuge, die durch die 52. Ausnahmereverordnung zur StVZO erfasst werden (Emissionsschlüsselnr. 77) den Euro1-Fzgen gleichgestellt.



Abbildung 2-1: Untersuchungsgebiet Ballungsraum Stuttgart (mit Kennzeichnung der Gemeindegrenzen, Linienquellen (Straßenverkehr) und der Ausdehnung der Umweltzonen. Stand: Nov. 2013¹

¹ Zum 02.12.2013 trat zusätzlich die Umweltzone Leonberg/Hemmingen in Kraft, die im vorliegenden Gutachten noch keine Berücksichtigung findet

3 Trendprognose

Es wurden für das relevante Straßennetz (vgl. Kap. 4) Emissions- und Immissionsberechnungen für die Trendentwicklung von 2013 bis 2020 durchgeführt. Dabei wurden die folgenden Berechnungsfälle unterschieden:

2013 (Basisjahr):

Für das Jahr 2013 wurden die Emissionen unter Berücksichtigung der zu diesem Zeitpunkt existierenden Umweltzonen (vgl. Abbildung 2-1) berechnet. Fahrzeuge der Schadstoffgruppen 1, 2 und 3 dürfen nicht in die Umweltzonen einfahren, die auf Euro 4 nachgerüsteten Dieselfahrzeuge hingegen schon. Dies wurde bei der Ermittlung der charakteristischen Flottenzusammensetzung berücksichtigt (vgl. Kap. 5.2), auf deren Basis die Emissionsfaktoren ermittelt wurden.

2014 (Trend):

Für die Trendprognose 2014 wurden die gleichen Randbedingungen bezüglich der Ausdehnung und Aussperrungstiefe der Umweltzonen verwendet wie für die Berechnung 2013 (Basisjahr). Es wurde zusätzlich eine Prognose der Fahrleistungsentwicklung 2013 nach 2014 und die Flottenzusammensetzung 2014 für die Emissionsberechnungen berücksichtigt.

2020b (Trend: Ausdehnung der Umweltzone auf den Ballungsraum Stuttgart, außer Autobahnen):

Unter Berücksichtigung der Prognose der Fahrleistungsentwicklung und der Flottenzusammensetzung bis 2020 entspricht dieser Berechnungsfall der Trendprognose 2020, wobei hier die Ausdehnung der Umweltzone auf den Ballungsraum Stuttgart (außer Bundesautobahnen (BAB)) angesetzt wurde.

4 Verkehrsdaten

Das relevante Straßennetz, für das die Emissionen und Immissionen berechnet wurden, ist dem Landesemissionskataster Straßenverkehr Baden-Württemberg entnommen worden [AVISO 2013]. Pro Streckenabschnitt sind damit die Verkehrsdaten (Bezugsjahr 2010) und weitere für die Emissionsberechnung relevanten Attribute gegeben. Insgesamt besteht das relevante Straßennetz im Untersuchungsgebiet aus ca. 3.000 Streckenabschnitten. Einen Überblick über die durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken im Bezugsjahr 2010 auf diesen Strecken zeigt Abbildung 4-1.

Fahrleistungsentwicklung 2010 - 2013

Die Ergebnisse der automatischen Dauerzählstellen [DZSBW 2013] an Außerortsstraßen in Baden-Württemberg für den Zeitraum 2010 bis 2013 sind in Tabelle 4-1 aufgeführt. Demnach lagen die Zunahmen der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken auf Autobahnen und Bundesstraßen von 2010 bis 2011 bei ca. 3 %, von 2011 bis 2012 dagegen kam es zu geringen Abnahmen (-1,8 % bzw. -0,5 %). Von 2012 bis 2013 haben sich dann wieder geringfügige Zunahmen für die Verkehrsstärken ergeben (+1,1 % bzw. +0,2 %).

Tabelle 4-1: Entwicklung der durchschnittlichen täglichen Verkehrsstärken (DTV) an den automatischen Dauerzählstellen an Außerortsstraßen in Baden-Württemberg für die Jahre 2010 bis 2013 [DZSBW 2013] (SV = Schwerverkehr)

| | Alle Tage (Mo-So) | | | Werktage (Mo-Fr) | | | | | |
|---------------|-------------------|-------------|-------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Kfz | | | Kfz | | | SV | | |
| | 2011 / 2010 | 2012 / 2011 | 2013 / 2012 | 2011 / 2010 | 2012 / 2011 | 2013 / 2012 | 2011 / 2010 | 2012 / 2011 | 2013 / 2012 |
| Autobahnen | 3,0% | -1,8% | 1,1% | 3,1% | -1,8% | 1,0% | 3,5% | -2,9% | 1,6% |
| Bundesstraßen | 2,9% | -0,5% | 0,2% | 3,0% | -0,1% | 0,1% | 4,5% | -2,6% | -0,1% |
| Landesstraßen | 2,4% | -0,6% | 0,6% | 2,5% | 0,1% | 0,8% | 4,2% | -4,2% | 0,2% |

Die in Tabelle 4-1 ausgewiesenen Entwicklungen wurden zur Fortschreibung der Verkehrsdaten von 2010 auf 2013 angesetzt. Für die übrigen Außerorts- und Innerortsstraßen wurden die Entwicklungsfaktoren aus dem Landesemissionskataster unverändert beibehalten.

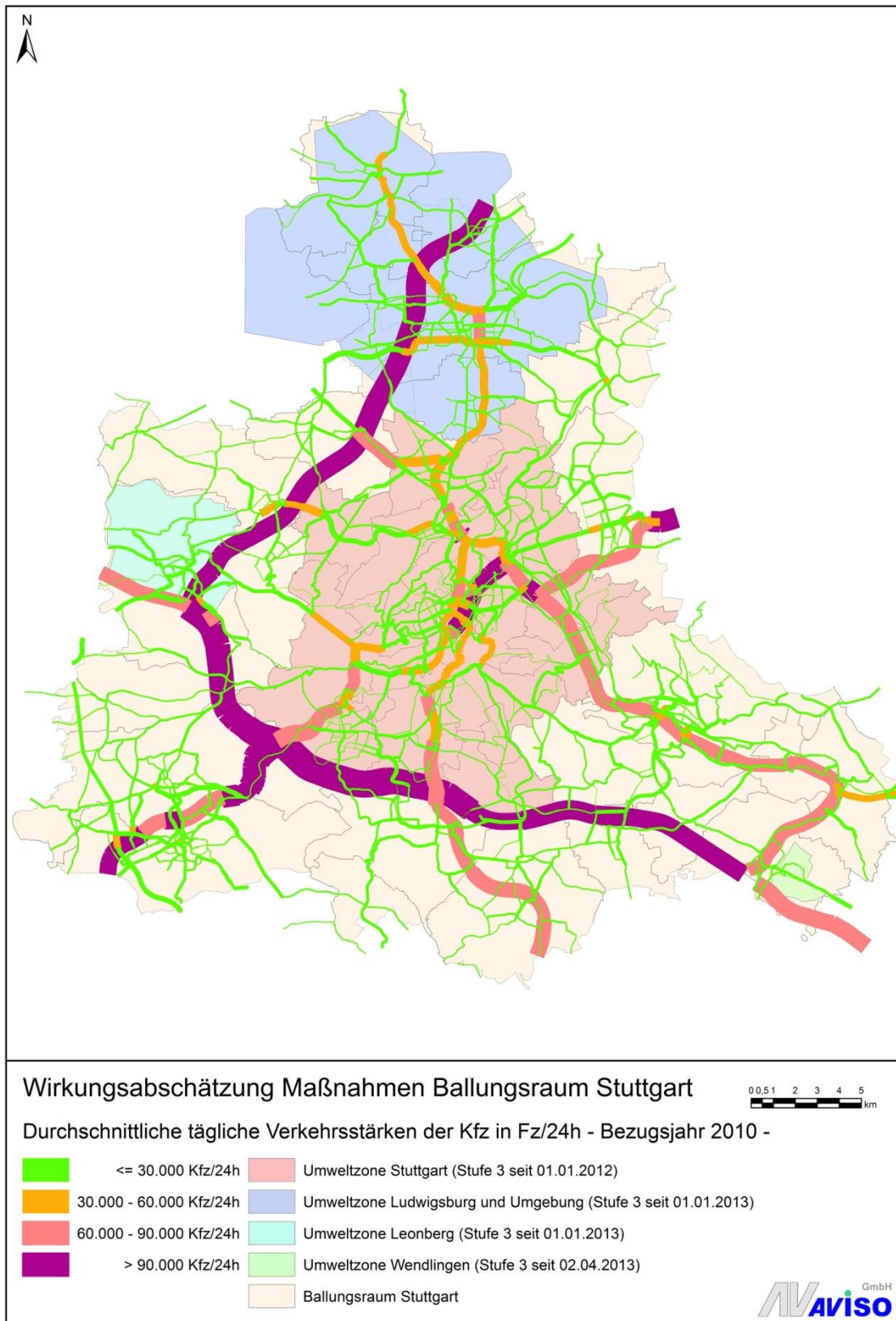


Abbildung 4-1: Durchschnittliche tägliche Kfz-Verkehrsstärken (DTV), Untersuchungsgebiet Ballungsraum Stuttgart, Bezugsjahr 2010. Quelle: [AVISO 2013]. Stand: Nov. 2013²

² Zum 02.12.2013 trat zusätzlich die Umweltzone Leonberg/Hemmingen in Kraft, die im vorliegenden Gutachten noch keine Berücksichtigung findet

Prognose der Fahrleistungsentwicklung 2013 - 2014 - 2020

Um Berechnungen für die Prognosehorizonte 2014 und 2020 durchführen zu können, werden Faktoren zur Prognose der Fahrleistungsentwicklung benötigt. Hierzu wurden die entsprechenden Faktoren zur Fahrleistungsentwicklung aus [AVISO 2013] übernommen und aktualisiert.

Die unter Berücksichtigung der realen Entwicklung von 2010 bis 2013 abgeleiteten Fahrleistungsentwicklungsfaktoren für die Prognosejahre 2014 und 2020 sind in der folgenden Tabelle aufgeführt. Zusätzlich sind dort auch nochmals die Faktoren für die Entwicklung 2010 – 2013 mit aufgeführt.

Die Fahrleistungsentwicklung der Pkw für die Innerortsstraßen war in [AVISO 2013] separat anhand der Prognose der Fahrzeugbestandsentwicklung bis 2025, differenziert nach Landkreis und Stadtkreis und weiteren Annahmen zur Entwicklung der spezifischen Fahrleistungen, abgeleitet worden. Diese Entwicklungsfaktoren wurden unverändert aus [AVISO 2013] übernommen.

Tabelle 4-2: Fahrleistungsentwicklungsfaktoren für Baden-Württemberg für die Prognosejahre 2014 und 2020, differenziert nach Fahrzeugarten und Straßenklassen (bezogen auf das Jahr 2010)

| | | 2010 | 2013 | 2014 | 2020 |
|--|--------------------------|------|---------------------------------|--------|--------|
| BAB | Pkw | 1 | 1,0226 | 1,0351 | 1,1105 |
| | INfz | 1 | 1,0226 | 1,0351 | 1,1105 |
| | sNfz | 1 | 1,0211 | 1,0501 | 1,2245 |
| | Krad | 1 | 1,0226 | 1,0351 | 1,1105 |
| BStr. | Pkw | 1 | 1,0259 | 1,0358 | 1,0950 |
| | INfz | 1 | 1,0259 | 1,0358 | 1,0950 |
| | sNfz | 1 | 1,0168 | 1,0353 | 1,1462 |
| | Krad | 1 | 1,0259 | 1,0358 | 1,0950 |
| LStr. | Pkw | 1 | 1,0240 | 1,0298 | 1,0646 |
| | INfz | 1 | 1,0240 | 1,0298 | 1,0646 |
| | sNfz | 1 | 1,0002 | 1,0143 | 1,0988 |
| | Krad | 1 | 1,0240 | 1,0298 | 1,0646 |
| Innerorts | Pkw | 1 | je nach LKR/SKR unterschiedlich | | |
| | INfz | 1 | 1,0240 | 1,0298 | 1,0646 |
| | sNfz¹⁾ | 1 | 1,0002 | 1,0002 | 1,0386 |
| | sNfz²⁾ | 1 | 1,0002 | 1,0002 | 1,0002 |
| | Krad | 1 | wie PKW | | |
| 1) für die Städte mit Einwohner < 80.000 | | | | | |
| 2) für die Städte mit Einwohner ≥ 80.000 | | | | | |

5 Grundlagen der Emissionsberechnungen

5.1 Emissionsberechnungsmodell roadTEIM

Zur Ermittlung der Emissionen pro Streckenabschnitt wurde das Emissionsberechnungsmodell *roadTEIM* eingesetzt. Das Modell besteht aus den folgenden drei Hauptmodulen:

- (1) Das Emissionsfaktorenmodul basiert im Wesentlichen auf den Daten der HBEFA-Emissionsfaktorendatenbank (auf Fahrzeugschichtebene). Ergänzende Daten für weitere in HBEFA nicht enthaltene Schadstoffe und Schichten sind integriert. Des Weiteren wird zur Ermittlung der charakteristischen Emissionsfaktoren pro Fahrzeugart, insbesondere für die Personenkraftwagen (Pkw) und leichten Nutzfahrzeuge (INfz), die regionale Flottenzusammensetzung berücksichtigt. Die Emissionsfaktoren werden pro Fahrzeugart für ausgewählte Bezugsjahre für alle relevanten Verkehrssituationen und Verkehrszustände (Level of Service) berechnet. Dabei wird ein Kaltstarteinfluss auf die Emissionshöhe berücksichtigt (in Abhängigkeit von typischen Fahrtweitenverteilungen, Außentemperatur und Motortemperatur bzw. Abstellzeit).
- (2) Im Verkehrsmodul werden pro Streckenabschnitt die zeitlich aufgelösten Daten der Verkehrsstärken (differenziert nach Fahrzeugarten) und des Verkehrsablaufs (Geschwindigkeit und Verkehrsablaufbedingungen in Abhängigkeit vom Störungsgrad von frei fließend bis Stop&Go) ermittelt. Standardmäßig werden Stundenwerte für die Tagesgruppen Mo-Fr, Sa und So berechnet. Auf Basis dieser Daten werden pro Streckenabschnitt die charakteristischen Verkehrssituationen gemäß der Definition in HBEFA für jede Tagesstunde abgeleitet.
- (3) Im Emissionsmodul werden die Emissionen pro Streckenabschnitt und Fahrzeugart auf Basis der Ergebnisse des Verkehrsmoduls und des Emissionsfaktorenmoduls berechnet. Die Ergebnisse liegen stundenfein vor und werden zusätzlich zu Jahreswerten aggregiert. Die Daten können im Weiteren u.a. als Eingangsdaten für Immissionsberechnungen verwendet werden.

Die verkehrlichen Eingangsdaten für die Emissionsberechnung wurden in Kap. 4 erläutert. Die Beschreibung der Eingangsdaten zur Ermittlung der Emissionsfaktoren findet sich im Folgenden.

5.2 Emissionsfaktoren

Wesentliche Datengrundlage zur Ermittlung der Emissionsfaktoren stellt das Handbuch für Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs in der Version 3.1 (HBEFA3.1) dar [HBEFA 2010]. Eine Beta-Version für die Version 3.2 war zum Zeitpunkt der Projektbearbeitung noch in der Testphase. Es wurden daher noch die Schichtemissionsfaktoren des HBEFA3.1 für die Ermittlung der Emissionsfaktoren verwendet. In dieser Version beruhen die Daten für Euro 5- und Euro 6-Fahrzeuge noch auf Daten weniger vermessener Fahrzeuge. Auf Basis der bereits vorliegenden Erkenntnisse zu HBEFA3.2 wurde eine Abschätzung von Korrekturfaktoren für die Euro 5- und Euro 6-Emissionsfaktoren durchgeführt und diese bei der Verwendung von HBEFA3.1 berücksichtigt. Damit sind wesentliche Aspekte der neueren Daten, die in HBEFA3.2 enthalten sind, bei den Berechnungen (die auf Basis HBEFA3.1 durchgeführt wurden) berücksichtigt worden.

Die HBEFA-Datenbank enthält pro Fahrzeugart für jede einzelne Fahrzeugschicht (unterschieden nach Motorkonzept, Euronormstufe, Hubraum, Gewichtsklasse etc.) pro Verkehrssituation sogenannte Schichtemissi-

onsfaktoren für verschiedene Abgaskomponenten. Die Schichtemissionsfaktoren geben die charakteristischen spezifischen Abgasemissionen für die betrachtete Verkehrssituation in Gramm pro Fahrzeug und Kilometer ($\text{g}/(\text{Fzg}\cdot\text{km})$) an. Diese wurden im Rahmen umfangreicher europäischer Projekte ermittelt, wobei zunächst typische Real-World-Fahrzyklen definiert und daraus die sogenannten Verkehrssituationen abgeleitet worden waren.

5.2.1 FLOTTENZUSAMMENSETZUNG 2013 BIS 2020

Fahrzeugbestandszusammensetzung

In HBEFA sind zur Ermittlung der Emissionsfaktoren je Fahrzeugart typische bundesmittlere Flottenzusammensetzungen für Autobahnen, Außerortsstraßen oder Innerortsstraßen hinterlegt. Da sich die Flottenzusammensetzung, insbesondere für die Pkw und INfz, regional aber durchaus von der bundesmittleren Flottenzusammensetzung unterscheiden kann, wurden für die Pkw und INfz im Rahmen der vorliegenden Untersuchung (analog zum Vorgehen in [AVISO 2013]) regionale Flottenzusammensetzungen auf Zulassungsbezirksebene berücksichtigt. Die charakteristische Bestandszusammensetzung für das Untersuchungsgebiet wurde aus der Zusammensetzung des gemeldeten Kfz-Bestands, differenziert nach Fahrzeugschichten, abgeleitet.

Um den für das Untersuchungsgebiet in den betrachteten Bezugsjahren repräsentativen statischen Kfz-Bestand entsprechend der Bestandsschichtung der vorhandenen Schichtemissionsfaktoren einteilen zu können, wurden in [AVISO 2013] die Bestandsdaten aus einer Sonderauswertung zum 01.01.2012 des Kraftfahrtbundesamtes (KBA), gegliedert nach Fahrzeugart, Antriebsart, Emissionsschlüssel, Hubraum, Gewichtsklasse und Jahr der Erstzulassung, für das Land Baden-Württemberg (auf Kreisebene) herangezogen. Die standardmäßig vom KBA veröffentlichten Daten enthalten diese Informationen zum größten Teil nicht.

Die auf Ebene der Emissionskonzepte³ zusammengefassten Bestandsdaten zum 01.01.2012 sind beispielhaft für den Zulassungsbezirk Stuttgart in Tabelle 5-1 aufgeführt. Die pro Schadstoffgruppe gemäß Kennzeichnungsverordnung aggregierten Bestandsdaten finden sich zusätzlich in Tabelle 5-2. Es zeigt sich, dass zum Stand 01.01.2012 mit Ausnahme einiger Diesel-Pkw fast noch keine Euro 6-Fahrzeuge zugelassen waren, so dass der Anteil der Euro 6-Fahrzeuge am Gesamtbestand deutlich unter 1 % lag.

³ Die Zuordnung zu den Euronormstufen orientiert sich hier am Emissionsverhalten der Fahrzeuge und erfolgt damit analog zur Kennzeichnungsverordnung; dadurch ergeben sich Unterschiede zu den vom KBA in den Veröffentlichungen ausgewiesenen Werten, da dort teilweise (insbesondere für die älteren Euro-Normklassen) andere Zuordnungskriterien (z.B. steuerrechtliche) verwendet werden

Tabelle 5-1: Bestandszusammensetzung Zulassungsbezirk Stuttgart 01.01.2012, differenziert nach Euronormstufen
(Datenquelle: KBA-Sonderauswertung)

| Fahrzeug | Antrieb | Euro1 | Euro2 | Euro3 | Euro4 | Euro5 | Euro6 | konv | Old | sonst. GKAT | GKAT US | Summe |
|------------|----------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|-------|----------------|---------|---------|
| PKW | Otto | 6.791 | 21.712 | 36.301 | 80.794 | 30.638 | 2 | 1.331 | 2.554 | 34 | 4.486 | 184.643 |
| | Diesel | 325 | 2.368 | 17.118 | 37.856 | 31.854 | 541 | 412 | 126 | | | 90.600 |
| | sonstige | 26 | 208 | 394 | 1.116 | 439 | | 172 | | | 8 | 2.363 |
| INfz <3,5t | Otto | 65 | 163 | 61 | 242 | 36 | | 94 | 34 | | | 695 |
| | Diesel | 179 | 385 | 2.079 | 4.351 | 1.557 | | 169 | 2 | | | 8.722 |
| | sonstige | 2 | 4 | 5 | 51 | 10 | | 76 | 1 | | | 149 |
| Lkw | Otto | 2 | | 2 | | | | 8 | 2 | | | 14 |
| | Diesel | 51 | 336 | 783 | 481 | 973 | | 203 | 15 | | | 2.842 |
| | sonstige | | | | | | | 23 | 1 | | | 24 |
| Sattelzug | Otto | | | | | | | 1 | | | | 1 |
| | Diesel | 3 | 25 | 177 | 47 | 438 | | 27 | 1 | | | 718 |
| Bus | Otto | | | | | | | | 1 | | | 1 |
| | Diesel | | 118 | 240 | 59 | 210 | | 10 | 6 | | | 643 |
| | sonstige | | | | | | | 6 | | | | 6 |

| Fahrzeug | Antrieb | Euro1 | Euro2 | Euro3 | Euro4 | Euro5 | Euro6 | konv | Old | sonst. GKAT | GKAT US | Summe |
|------------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|----------------|---------|-------|
| PKW | Otto | 2,4% | 7,8% | 13,1% | 29,1% | 11,0% | 0,0% | 0,5% | 0,9% | 0,0% | 1,6% | 67% |
| | Diesel | 0,1% | 0,9% | 6,2% | 13,6% | 11,5% | 0,2% | 0,1% | 0,0% | | | 33% |
| | sonstige | 0,0% | 0,1% | 0,1% | 0,4% | 0,2% | | 0,1% | | | 0,0% | 1% |
| INfz <3,5t | Otto | 0,7% | 1,7% | 0,6% | 2,5% | 0,4% | | 1,0% | 0,4% | | | 7% |
| | Diesel | 1,9% | 4,0% | 21,7% | 45,5% | 16,3% | | 1,8% | 0,0% | | | 91% |
| | sonstige | 0,0% | 0,0% | 0,1% | 0,5% | 0,1% | | 0,8% | 0,0% | | | 2% |
| Lkw | Otto | 0,1% | | 0,1% | | | | 0,3% | 0,1% | | | 0% |
| | Diesel | 1,8% | 11,7% | 27,2% | 16,7% | 33,8% | | 7,0% | 0,5% | | | 99% |
| | sonstige | | | | | | | 0,8% | 0,0% | | | 1% |
| Sattelzug | Otto | | | | | | | 0,1% | | | | 0% |
| | Diesel | 0,4% | 3,5% | 24,6% | 6,5% | 60,9% | | 3,8% | 0,1% | | | 100% |
| Bus | Otto | | | | | | | | 0,2% | | | 0% |
| | Diesel | | 18,2% | 36,9% | 9,1% | 32,3% | | 1,5% | 0,9% | | | 99% |
| | sonstige | | | | | | | 0,9% | | | | 1% |

Tabelle 5-2: Fahrzeugbestand Zulassungsbezirk Stuttgart 01.01.2012, differenziert nach Schadstoffgruppen gemäß Kennzeichnungsverordnung (Datenquelle: KBA-Sonderauswertung)

| Fahrzeug | Antrieb | 1_keine | 2_Rot | 3_Gelb | 4_Grün | 4_Old | Summe |
|------------|----------|---------|-------|--------|---------|-------|---------|
| PKW | Otto | 1.365 | | | 180.724 | 2.554 | 184.643 |
| | Diesel | 737 | 2.368 | 17.118 | 70.251 | 126 | 90.600 |
| | sonstige | 172 | | | 2.191 | | 2.363 |
| INfz <3,5t | Otto | 94 | | | 567 | 34 | 695 |
| | Diesel | 348 | 385 | 2.079 | 5.908 | 2 | 8.722 |
| | sonstige | 76 | | | 72 | 1 | 149 |
| Lkw | Otto | 8 | | | 4 | 2 | 14 |
| | Diesel | 254 | 336 | 783 | 1.454 | 15 | 2.842 |
| | sonstige | 23 | | | | 1 | 24 |
| Sattelzug | Otto | 1 | | | | | 1 |
| | Diesel | 30 | 25 | 177 | 485 | 1 | 718 |
| | sonstige | | | | | | 0 |
| Bus | Otto | | | | | 1 | 1 |
| | Diesel | 10 | 118 | 240 | 269 | 6 | 643 |
| | sonstige | 6 | | | | | 6 |

| Fahrzeug | Antrieb | 1_keine | 2_Rot | 3_Gelb | 4_Grün | 4_Old | Summe |
|------------|----------|---------|-------|--------|--------|-------|-------|
| PKW | Otto | 0,5% | | | 65,1% | 0,9% | 67% |
| | Diesel | 0,3% | 0,9% | 6,2% | 25,3% | 0,0% | 33% |
| | sonstige | 0,1% | | | 0,8% | | 1% |
| INfz <3,5t | Otto | 1,0% | | | 5,9% | 0,4% | 7% |
| | Diesel | 3,6% | 4,0% | 21,7% | 61,8% | 0,0% | 91% |
| | sonstige | 0,8% | | | 0,8% | 0,0% | 2% |
| Lkw | Otto | 0,3% | | | 0,1% | 0,1% | 0% |
| | Diesel | 8,8% | 11,7% | 27,2% | 50,5% | 0,5% | 99% |
| | sonstige | 0,8% | | | | 0,0% | 1% |
| Sattelzug | Otto | 0,1% | | | | | 0% |
| | Diesel | 4,2% | 3,5% | 24,6% | 67,5% | 0,1% | 100% |
| | sonstige | | | | | | 0% |
| Bus | Otto | | | | | 0,2% | 0% |
| | Diesel | 1,5% | 18,2% | 36,9% | 41,4% | 0,9% | 99% |
| | sonstige | 0,9% | | | | | 1% |

Die relevanten Flottenzusammensetzungen für Pkw und INfz wurden auf Basis dieser regionalen Bestandsdaten ermittelt, die letztmalig zum Stand 01.01.2012 detailliert vom KBA für Baden-Württemberg (im Rahmen der Aktualisierung des Landesemissionskatasters) beschafft worden waren.

Die für 2013 aus den detaillierten Daten für 2012 prognostizierten Bestände pro Zulassungsbezirk aus [AVISO 2013] wurden im Rahmen des aktuellen Projektes für die Pkw anhand der vom KBA regelmäßig veröffentlichten Statistiken überprüft und angepasst. Dies war nur für die Pkw möglich, da nur für diese die regelmäßig veröffentlichten Daten des KBA, differenziert nach den Euro-Normstufen (siehe auch Fußnote 3), vorliegen. Die Überprüfung fokussierte auf die (im Jahr 2012 vorrangig neu zugelassenen) Euro-Normstufen 5 und 6 und zusätzlich auf den Anteil Diesel-Pkw.

Trendprognose Fahrzeugbestand bis 2020

Ausgehend von den aktualisierten Pkw-Bestandsdaten 2013 wurde auch die Prognose der Bestandszusammensetzung der Pkw bis 2020 pro Zulassungsbezirk aus [AVISO 2013] aktualisiert. Für die übrigen Fahrzeugarten wurde die Trendprognose der Bestandszusammensetzung aus [AVISO 2013] unverändert übernommen.

Flottenzusammensetzung 2013 bis 2020

Zur Ermittlung der Pkw- und INfz-Flottenzusammensetzung (dynamischer Bestand) wurden die aus den KBA-Bestandsdaten zum Stand 01.01.2012 abgeleiteten und für 2013 bis 2020 prognostizierten Bestandsdaten verwendet. Aus diesen Basisdaten (die differenziert nach Fahrzeugschichten pro Fahrzeugkategorie vorliegen) wurden, mittels einer Fahrleistungsgewichtung, die Flottenzusammensetzungen für Innerortsstraßen, Außerortsstraßen und Autobahnen abgeleitet.

Das Emissionsverhalten von schweren Nutzfahrzeugen wird stärker vom überregionalen als vom regionalen Bestand bestimmt, daher wurden für die schweren Nutzfahrzeuge (Lkw, LzSz (Lastzüge/Sattelzüge) und Busse) die bundesmittleren Flottenzusammensetzungen aus HBEFA3.1 für das jeweilige Bezugsjahr verwendet. Diese Daten wurden unverändert aus [AVISO 2013] übernommen.

5.2.2 DETAILINFORMATIONEN ZU DEN EURO 3/III-SCHICHTEN

Die Flottenzusammensetzungen liegen als Eingangsdaten zur Ermittlung der Emissionsfaktoren auf der Ebene der Fahrzeugschichten gemäß HBEFA vor. Hierbei wird innerhalb der verschiedenen Euro-Normstufen noch weiter nach Schichten differenziert, z.B. zur Unterscheidung von Fahrzeugen mit oder ohne Partikelfilter. Für die im Rahmen dieses Projektes wichtige Euro-Normstufe Euro 3 sind in HBEFA die in Tabelle 5-3 aufgeführten Schichten definiert. Zusätzlich sind in Tabelle 5-3 auch die Minderungsraten für die Partikel-Abgasemissionsfaktoren aus HBEFA für die Schichten mit Dieselpartikelfilter (DPF) im Vergleich zu den entsprechenden Schichten ohne DPF mit angegeben. Es zeigt sich, dass für die Pkw, die leichten Nutzfahrzeuge und die Linienbusse entsprechende Euro 3-Schichten vorhanden sind. Für die Pkw und die INfz wird eine Minderungsrate von 30 % angegeben, dies entspricht der erzielbaren Minderung mit (nachgerüsteten) offenen Filtersystemen.

Den Anteil der Euro 3-Schichten mit Partikelfilter an den gesamten Euro 3-Schichten in den Flottenzusammensetzungen nach HBEFA3.1 zeigt Tabelle 5-4. Es sind dort für die Pkw und die Linienbusse Flottenanteile für Euro 3-Fahrzeuge mit Partikelfilter berücksichtigt, nicht für die INfz. Diese Verteilungen auf Schichten mit und ohne Partikelfilter wurden bisher unverändert aus HBEFA3.1 übernommen, da die Daten des KBA keine Aussagen zur Partikelfilterausrüstung bzw. Nachrüstung geben.

Da bei den Emissionsberechnungen im Landesemissionskataster die Linienbusse im Schwerverkehr enthalten und nicht separat ausgewiesen sind, werden auch im vorliegenden Projekt die Linienbusse nicht separat betrachtet. Implizit stecken die in Tabelle 5-4 ausgewiesenen Anteile von Linienbussen Euro 3 mit DPF in den verwendeten Flottenzusammensetzungen.

Dagegen wird für die Pkw und die INfz zusätzlich zur Verwendung der regionalen Flottenzusammensetzungen auch der Anteil der nachgerüsteten Euro 3-Dieselfahrzeuge im Rahmen des vorliegenden Projektes explizit auf die Verhältnisse im Ballungsraum Stuttgart angepasst (vgl. Kap. 5.2.3).

Tabelle 5-3: In HBEFA definierte Schichten von Euro 3/III-Fahrzeugen mit Dieselpartikelfilter (DPF) und Minderungs-raten der Partikelabgasemissionen für Schichten mit DPF gegenüber Schichten ohne DPF

| | ID Schicht | Schicht | Konzept | Minderung PM durch DPF |
|-----------|------------|---------------------------------|-----------------|------------------------|
| Infz | 222130 | LCV diesel M+N1-I Euro-3 | LCV-D-Euro-3 | |
| | 222131 | LCV diesel M+N1-I Euro-3 (DPF) | LCV-D-Euro-3 | -30% |
| | 222230 | LCV diesel N1-II Euro-3 | LCV-D-Euro-3 | |
| | 222231 | LCV diesel N1-II Euro-3 (DPF) | LCV-D-Euro-3 | -30% |
| | 222330 | LCV diesel N1-III Euro-3 | LCV-D-Euro-3 | |
| | 222331 | LCV diesel N1-III Euro-3 (DPF) | LCV-D-Euro-3 | -30% |
| Pkw | 121130 | PC diesel <1,4L Euro-3 | PC-D-Euro-3 | |
| | 121131 | PC diesel <1,4L Euro-3 (DPF) | PC-D-Euro-3 | -30% |
| | 121230 | PC diesel 1,4-<2L Euro-3 | PC-D-Euro-3 | |
| | 121231 | PC diesel 1,4-<2L Euro-3 (DPF) | PC-D-Euro-3 | -30% |
| | 121330 | PC diesel >=2L Euro-3 | PC-D-Euro-3 | |
| | 121331 | PC diesel >=2L Euro-3 (DPF) | PC-D-Euro-3 | -30% |
| Linienbus | 727130 | Ubus Midi <=15t Euro-III | UBus-D-Euro-III | |
| | 727131 | Ubus Midi <=15t Euro-III (DPF) | UBus-D-Euro-III | -74% |
| | 727230 | Ubus Std >15-18t Euro-III | UBus-D-Euro-III | |
| | 727231 | Ubus Std >15-18t Euro-III (DPF) | UBus-D-Euro-III | -74% |
| | 727330 | Ubus Artic >18t Euro-III | UBus-D-Euro-III | |
| | 727331 | Ubus Artic >18t Euro-III (DPF) | UBus-D-Euro-III | -74% |

Tabelle 5-4: Verteilung der Euro 3/III-Fahrzeuge auf die Schichten mit und ohne Partikelfilter in HBEFA3.1 für Pkw (PC) und Linienbusse (Ubus)

| ID Schicht | Schicht | Anteil am dynamischer Bestand HBEFA3.1 | | | | | Verteilung auf die Schichten ****30 und ****31 | | | | |
|------------|---------------------------------|--|-------|-------|------|------|--|------|------|------|------|
| | | 2005 | 2006 | 2010 | 2015 | 2020 | 2005 | 2006 | 2010 | 2015 | 2020 |
| 121130 | PC diesel <1,4L Euro-3 | 0,3% | 0,3% | 0,2% | 0,1% | 0,0% | 96% | 92% | 91% | 89% | 87% |
| 121131 | PC diesel <1,4L Euro-3 (DPF) | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 0,0% | 4% | 8% | 9% | 11% | 13% |
| 121230 | PC diesel 1,4-<2L Euro-3 | 10,8% | 9,7% | 5,6% | 2,1% | 0,5% | 97% | 94% | 92% | 90% | 88% |
| 121231 | PC diesel 1,4-<2L Euro-3 (DPF) | 0,3% | 0,6% | 0,5% | 0,2% | 0,1% | 3% | 6% | 8% | 10% | 12% |
| 121330 | PC diesel >=2L Euro-3 | 4,8% | 4,5% | 2,7% | 1,4% | 0,7% | 96% | 87% | 83% | 82% | 81% |
| 121331 | PC diesel >=2L Euro-3 (DPF) | 0,2% | 0,7% | 0,6% | 0,3% | 0,2% | 4% | 13% | 17% | 18% | 19% |
| 727130 | Ubus Midi <=15t Euro-III | 0,7% | 0,8% | 0,6% | 0,3% | 0,1% | 21% | 21% | 21% | 21% | 21% |
| 727131 | Ubus Midi <=15t Euro-III (DPF) | 2,6% | 3,1% | 2,2% | 1,0% | 0,3% | 79% | 79% | 79% | 79% | 79% |
| 727230 | Ubus Std >15-18t Euro-III | 3,9% | 4,2% | 3,3% | 1,7% | 0,5% | 21% | 21% | 21% | 21% | 21% |
| 727231 | Ubus Std >15-18t Euro-III (DPF) | 14,5% | 15,7% | 12,4% | 6,4% | 2,0% | 79% | 79% | 79% | 79% | 79% |
| 727330 | Ubus Artic >18t Euro-III | 2,2% | 2,9% | 2,5% | 1,4% | 0,5% | 21% | 20% | 20% | 20% | 20% |
| 727331 | Ubus Artic >18t Euro-III (DPF) | 8,4% | 11,2% | 9,7% | 5,6% | 2,1% | 79% | 80% | 80% | 80% | 80% |

5.2.3 PARTIKELFILTERNACHRÜSTUNG IM BALLUNGSRAUM STUTTGART

Um regionale Daten zum Anteil der mit Partikelfilter nachgerüsteten Diesel Euro 3-Fahrzeuge (die dadurch eine grüne Plakette erhalten haben) bei der Ermittlung der Emissionsfaktoren berücksichtigen zu können, war es zunächst notwendig, detaillierte Informationen zu dem Anteil der Euro 3-Fahrzeuge, die davon betroffen sind, auszuwerten. Hierfür konnten Daten der Steuerverwaltung Baden-Württemberg für den Ballungsraum Stuttgart verwendet werden.

In den Daten der Steuerverwaltung sind für den Zeitpunkt 30.06.2013 die Anzahl der nachgerüsteten Fahrzeuge angegeben, differenziert nach den Partikelminderungssystemen (PM0-PM5 für Pkw und PMK0-PMK4 für Nutzfahrzeuge, vgl. Anhang) und differenziert nach den Fahrzeugarten Pkw, Lkw und andere.

Eine Übersicht über alle Nachrüstungen zum Stand 30.06.2013 zeigt Tabelle 5-5. Danach entfällt mit 55 % der größte Anteil der gesamten Nachrüstungen auf die Gruppe Euro 3-Diesel-Pkw. 14 % entfallen auf die Euro 1/2-Diesel-Pkw, 6 % auf Euro 4-Diesel-Pkw und 26 % auf die Nutzfahrzeuge.

Tabelle 5-5: Übersicht zu den Nachrüstungen mit Partikelfiltern im Großraum Stuttgart, abgeleitet aus den von der Steuerverwaltung Baden-Württemberg zur Verfügung gestellten Daten. Stand: 30.06.2013

| | Anzahl PM01 | Anzahl PM0 | Anzahl PM1 | Anzahl PM2 | Anzahl PM3 | Anzahl PM4 | Anzahl PM5 | Anzahl PMK01 bis PMK5 | Summe PM01 bis PM4 | Anzahl der Fahrzeuge mit Partikelfilter (ohne PM5) |
|------------------------------|--------------|------------|---------------|---------------|---------------|-------------|------------------------------------|-----------------------|-------------------------|--|
| Ausgangsstufe | Euro 1 | Euro 1 | Euro 1+2 | Euro 3 | Euro 4 | Euro 4 | Euro3 und Euro4 ab Werk | | gesamte Nachrüstung PKW | |
| Endstufe | Euro 2 | Euro 2 | Euro 3 | Euro 4 | Euro 4 | Euro 5 | | | | |
| Böblingen | 48 | 12 | 1.912 | 8.711 | 825 | 36 | 53.887 | 3.519 | 11.544 | 15.063 |
| Esslingen | 90 | 22 | 2.066 | 8.492 | 994 | 47 | 41.885 | 3.690 | 11.711 | 15.401 |
| Ludwigsburg | 79 | 25 | 2.331 | 9.521 | 905 | 50 | 41.739 | 4.102 | 12.911 | 17.013 |
| Rems-Murr-Kreis | 51 | 6 | 2.317 | 8.310 | 934 | 29 | 40.596 | 4.372 | 11.647 | 16.019 |
| Stadt Stuttgart | 84 | 27 | 2.707 | 11.838 | 1.044 | 277 | 67.827 | 6.305 | 15.977 | 22.282 |
| Summe | 352 | 92 | 11.333 | 46.872 | 4.702 | 439 | 245.934 | 21.988 | 63.790 | 85.778 |
| Anzahl Nachrüstung | 444 | | 11.333 | | 52.013 | | | 21.988 | | 85.778 |
| Anteil an Nachrüstung gesamt | 0,5% | | 13,2% | | 54,6% | 5,5% | 0,5% | 25,6% | | 100,0% |
| Nachrüstung: | Pkw nach rot | | Pkw nach gelb | | Pkw nach grün | | keine Nachrüstung (Filter ab Werk) | LKW | Pkw gesamt (ohne PM5) | gesamt (ohne PM5) |

Im Hinblick auf die Aktualisierung der Anteile der Euro 3-Fahrzeuge mit Partikelfilter in der Flottenzusammensetzung war es notwendig, die Anzahl der nachgerüsteten Fahrzeuge auf die Gesamtanzahl der Euro 3-Fahrzeuge im Bestand zu beziehen. Hierfür wurden zum einen die Daten der KBA-Sonderauswertung 01.01.2012 verwendet, zum anderen auch die Daten aus den KBA-Veröffentlichungen zum 01.01.2012 und 01.01.2013 herangezogen (nur für die Pkw, da dort nur für diese eine Differenzierung nach Euro-Normstufen angegeben ist).

In Tabelle 5-6 sind die Ergebnisse für die Pkw aufgeführt. Eigentlich gelten die Partikelminderungsstufen PM0-PM4 für die Nachrüstungen der Pkw, aber bei einigen sind die Partikelminderungsstufen der Nfz ausgewiesen. Die Nachrüstungsquote der Euro 3-Diesel-Pkw lag 2013 bei ca. 50 %. Die Nachrüstungsquote für Euro 4-Diesel-Pkw lag unter 5 % und ist damit relativ gering. Die Nachrüstungsquote für Euro 1/2-Diesel-Pkw lag im Bereich von 30 %.

Im Hinblick auf die Emissionsberechnungen wurde aus diesen Auswertungen die Nachrüstungsquote der Euro 3-Diesel-Pkw verwendet, um die entsprechenden Anteile in der Flottenzusammensetzung der Pkw anzupassen.

Tabelle 5-6: Abschätzung der Nachrüstungsquote für Euro 3-Diesel-Pkw im Ballungsraum Stuttgart

| Pkw | | | | | | | | | | | | | |
|--|--|--------------------|-------------------------------|------------------|---------|-------|------------------|-------|------|------|------|------|------|
| Anzahl Nachrüstungen | | | | | | | | | | | | | |
| Stand 30.06.2013 (Datenquelle Steuerdaten BW) | | | | | | | | | | | | | |
| A | PM01 | PM0 | PM1 | PM2 | PM3 | PM4 | PM5 | PMK01 | PMK1 | PMK2 | PMK3 | PMK4 | PMK5 |
| | 296 | 79 | 9516 | 46062 | 4691 | 287 | 244811 | 12 | 310 | 333 | 15 | 625 | 0 |
| Pkw-Bestand | | | | | | | | | | | | | |
| Stand 01.01.2012 (Datenquelle KBA-Sonderauswertung, Zuordnung zu Euro-Normstufe über Emissionsklasse gemäß Kennzeichnungsverordnung) | | | | | | | | | | | | | |
| B | Ds E1 | Ds E2 | Ds E3 | Ds E4 | Ds E5 | Ds E6 | Diesel gesamt | | | | | | |
| | 2.663 | 17.463 | 95.441 | 174.316 | 104.996 | 1.278 | 399.457 | | | | | | |
| Stand 01.01.2012 (Datenquelle KBA-Veröffentlichung FZ1, Zuordnung zur Euro-Normstufe nach steuerrechtlichen Gesichtspunkten) | | | | | | | | | | | | | |
| C | Ds E1 | Ds E2 | Ds E3 | Ds E4 | Ds E5 | Ds E6 | Diesel gesamt | | | | | | |
| | 3.164 | 42.108 | 99.545 | 144.598 | 104.898 | 1.278 | 399.457 | | | | | | |
| Stand 01.01.2013 (Datenquelle KBA-Veröffentlichung FZ1, Zuordnung zur Euro-Normstufe nach steuerrechtlichen Gesichtspunkten) | | | | | | | | | | | | | |
| D | Ds E1 | Ds E2 | Ds E3 | Ds E4 | Ds E5 | Ds E6 | Diesel gesamt | | | | | | |
| | 2.545 | 35.618 | 90.660 | 136.743 | 147.841 | 3.127 | 419.888 | | | | | | |
| Nachrüstungsquote | | | | | | | | | | | | | |
| Partikelminderungs- klasse | PM01, PM0, PM1, PMK01, PMK1 | PM2, PMK2 | PM3, PM4, PMK3, PMK4 | | | | | | | | | | |
| | Ausgangs-Euro-Norm Endstufe-Euro-Norm | Ds E1,2 Ds E2,3 | Ds E3 Ds E4 | Ds E4 Ds E4,5 | | | | | | | | | |
| A / B | 51% | 49% | 3% | | | | | | | | | | |
| A / C | 23% | 47% | 4% | | | | | | | | | | |
| A / D | 27% | 51% | 4% | | | | | | | | | | |

Eine analoge Auswertung für die Lkw findet sich in Tabelle 5-7. Demnach liegt bei den Lkw die Nachrüstungsquote der Euro 3-Fahrzeuge bei 50 % bzw. knapp 70 %, je nachdem, ob die Anzahl der Nachrüstungen auf die Lkw gesamt oder die INfz < 3,5t zul. GG bezogen werden.

Da davon auszugehen ist, dass die Nachrüstungen überwiegend bei den INfz durchgeführt wurden (u.a. wurde dies wie bei den Pkw zeitweise finanziell gefördert⁴), wird im Hinblick auf die Emissionsberechnungen die aus diesen Auswertungen ermittelte Nachrüstungsquote der Euro 3-Diesel-INfz verwendet, um die entsprechenden Anteile in der Flottenzusammensetzung der INfz anzupassen.

⁴ In den Jahren 2006 bis einschließlich 2010 war für Pkw eine steuerliche Förderung der Nachrüstung möglich, für INfz erstmalig auch in 2010. Ab Januar 2012 war für Pkw und INfz wieder eine steuerliche Förderung der Partikelfilternachrüstung möglich. Die Gelder, die dafür zur Verfügung standen, waren im Juni 2013 vollständig ausgeschöpft.

Tabelle 5-7: Abschätzung der Nachrüstungsquote für Euro III-Diesel-Lkw im Ballungsraum Stuttgart

| Lkw | | | | | | | | | | | | | |
|--|---|----------------------|-------------------------------|------------------|--------|-------|------------------|-------|------|------|------|------|------|
| Anzahl Nachrüstungen | | | | | | | | | | | | | |
| Stand 30.06.2013 (Datenquelle Steuerdaten BW) | | | | | | | | | | | | | |
| | PM01 | PM0 | PM1 | PM2 | PM3 | PM4 | PM5 | PMK01 | PMK1 | PMK2 | PMK3 | PMK4 | PMK5 |
| A | 12 | 4 | 380 | 430 | 9 | 13 | 770 | 30 | 1543 | 6808 | 299 | 3380 | 0 |
| Lkw-Bestand (INfz<3,5t + Lkw>3,5t) | | | | | | | | | | | | | |
| Stand 01.01.2012 (Datenquelle KBA-Sonderauswertung, Zuordnung zu Euro-Normstufe über Emissionsklasse gemäß Kennzeichnungsverordnung) | | | | | | | | | | | | | |
| | Ds E1 | Ds E2 | Ds E3 | Ds E4 | Ds E5 | Ds E6 | Diesel gesamt | | | | | | |
| B | 1.694 | 4.842 | 14.888 | 21.480 | 10.760 | 0 | 56.571 | | | | | | |
| (INfz<3,5t) | | | | | | | | | | | | | |
| Stand 01.01.2012 (Datenquelle KBA-Sonderauswertung, Zuordnung zu Euro-Normstufe über Emissionsklasse gemäß Kennzeichnungsverordnung) | | | | | | | | | | | | | |
| | Ds E1 | Ds E2 | Ds E3 | Ds E4 | Ds E5 | Ds E6 | Diesel gesamt | | | | | | |
| C | 1.333 | 2.917 | 10.990 | 19.238 | 6.412 | 0 | 42.321 | | | | | | |
| Nachrüstungsquote | | | | | | | | | | | | | |
| Partikelminderungs- klasse | PM01, PM0, PM1, PMK01, PMK1 | PM2, PMK2 | PM3, PM4, PMK3, PMK4 | | | | | | | | | | |
| | Ausgangs-Euronorm Endstufe-Euronorm | Ds E1,2 Ds E2,3 | Ds E3 Ds E4 | Ds E4 Ds E4,5 | | | | | | | | | |
| A / B | 30% | 49% | 17% | | | | | | | | | | |
| A / C | 46% | 66% | 19% | | | | | | | | | | |

5.2.4 ABGAS-EMISSIONSFAKTOREN

Es wurden die ermittelten Flottenzusammensetzungen pro Kreis, die die aktuelle DPF-Nachrüstung für Pkw und INfz Euro 3/III gemäß Kap. 5.2.3 berücksichtigen, verwendet, um die Abgas-Emissionsfaktoren pro Fahrzeugkategorie zu berechnen. Für Stuttgart sind für alle drei Jahre die verschiedenen Flottenzusammensetzungen (aggregiert auf Konzeptebene) in Tabelle 5-8 aufgeführt. Um die Verhältnisse innerhalb der Umweltzonen-Gebiete in geeigneter Weise zu berücksichtigen, wurde ausgehend von der Flottenzusammensetzung des Bezugsjahrs in der Trendentwicklung durch Aussperrung der Fahrzeuge ohne grüne Plakette die Flottenzusammensetzung grüne Umweltzone ermittelt (die verbleibenden Flottenanteile wurden auf 100 % normiert, d.h. entsprechend ihrem Anteil an der Gesamtflotte umgeschichtet).

Es wurden die folgenden Emissionsfaktoren berechnet:

- 2013 Basis außerhalb und innerhalb der grünen Umweltzone
- 2014 Trend außerhalb und innerhalb der grünen Umweltzone
- 2020 Trend außerhalb und innerhalb der grünen Umweltzone

Im Szenario 2013 Basis und 2014 Trend wurden die im Jahr 2013 gültigen Ausdehnungen der Umweltzonen im Ballungsraum berücksichtigt (vgl. Abbildung 2-1), d.h. je nach Lage der Streckenabschnitte wurden bei der Emissionsberechnung die Emissionsfaktoren mit oder ohne Berücksichtigung der grünen Umweltzone angesetzt. Für den Trend 2020 wurde angenommen, dass das Umweltzonengebiet so erweitert wird, dass alle Strecken – außer den Autobahnen – innerhalb der großen zusammenhängenden Umweltzone liegen, d.h. es wurden für alle diese Strecken die Emissionsfaktoren mit Berücksichtigung grüne Umweltzone angesetzt.

Tabelle 5-8: Flottenzusammensetzung (dynamischer Bestand) für die Jahre 2013, 2014 und 2020 jeweils außerhalb und innerhalb der grünen Umweltzone

| | 2013 | 2013 grüne Umwelt- zone | 2014 2014 | 2014 grüne Umwelt- zone | 2020 2020 | 2020 grüne Umwelt- zone |
|----------------|-------|----------------------------------|--------------|----------------------------------|--------------|----------------------------------|
| Pkw | | | | | | |
| Otto vor E1 | 0,6% | | 0,5% | | 0,2% | |
| Otto E1 | 1,7% | 1,7% | 1,3% | 1,4% | 0,3% | 0,3% |
| Otto E2 | 3,5% | 3,7% | 2,7% | 2,8% | 0,7% | 0,7% |
| Otto E3 | 8,2% | 8,5% | 6,7% | 6,9% | 1,5% | 1,5% |
| Otto E4 | 25,2% | 26,1% | 22,8% | 23,5% | 9,2% | 9,3% |
| Otto E5 | 15,8% | 16,3% | 18,3% | 18,9% | 13,8% | 14,0% |
| Otto E6 | 0,2% | 0,2% | 0,8% | 0,9% | 19,2% | 19,4% |
| Gas/Alternativ | 0,6% | 0,6% | 0,7% | 0,7% | 2,1% | 2,1% |
| Ds vor E1 | 0,2% | | 0,1% | | 0,0% | |
| Ds E1 | 0,1% | | 0,1% | | 0,0% | |
| Ds E2 | 0,8% | | 0,7% | | 0,2% | |
| Ds E3 | 5,1% | 3,3% | 4,5% | 3,0% | 1,8% | 1,2% |
| Ds E4 | 16,5% | 17,1% | 14,8% | 15,2% | 6,9% | 7,0% |
| Ds E5 | 21,3% | 22,1% | 25,0% | 25,8% | 17,1% | 17,3% |
| Ds E6 | 0,4% | 0,5% | 1,0% | 1,0% | 26,9% | 27,1% |
| INfz | | | | | | |
| Otto vor E1 | 1,1% | | 0,6% | | 0,2% | |
| Otto E1 | 0,2% | 0,2% | 0,1% | 0,1% | 0,0% | 0,0% |
| Otto E2 | 0,4% | 0,4% | 0,2% | 0,2% | 0,0% | 0,0% |
| Otto E3 | 0,3% | 0,3% | 0,2% | 0,2% | 0,0% | 0,0% |
| Otto E4 | 2,2% | 2,3% | 1,7% | 1,8% | 0,5% | 0,5% |
| Otto E5 | 1,4% | 1,5% | 2,0% | 2,1% | 1,0% | 1,0% |
| Otto E6 | | | 0,0% | 0,0% | 2,1% | 2,1% |
| Gas/Alternativ | 0,0% | 0,0% | 0,1% | 0,1% | 0,1% | 0,1% |
| Ds vor E1 | 0,5% | | 0,2% | | 0,0% | |
| Ds E1 | 0,4% | | 0,2% | | 0,0% | |
| Ds E2 | 1,3% | | 0,7% | | 0,0% | |
| Ds E3 | 10,9% | 8,2% | 9,0% | 6,6% | 0,3% | 0,2% |
| Ds E4 | 43,4% | 46,5% | 35,7% | 37,3% | 11,9% | 11,9% |
| Ds E5 | 37,7% | 40,3% | 48,9% | 51,2% | 25,3% | 25,4% |
| Ds E6 | 0,2% | 0,2% | 0,5% | 0,6% | 58,7% | 58,8% |
| sNfz | | | | | | |
| Ds vor E I | 2,4% | | 1,9% | | 0,6% | |
| DS E I | 1,4% | | 1,1% | | 0,3% | |
| Ds E II | 6,6% | | 5,3% | | 1,3% | |
| Ds E III | 15,3% | | 12,5% | | 3,8% | |
| Ds E IV | 9,2% | 12,4% | 7,6% | 9,6% | 2,9% | 3,0% |
| Ds E V | 62,1% | 83,6% | 59,2% | 74,8% | 19,4% | 20,7% |
| Ds E VI | 2,9% | 3,9% | 12,4% | 15,7% | 71,7% | 76,3% |

Die Abgas-Emissionsfaktoren wurden für die Schadstoffe NO_x , NO_2 und PM_{10} unter Berücksichtigung der beschriebenen Flottenzusammensetzungen und der Schichtemissionsfaktoren aus HBEFA3.1 für die Fahrzeugarten Pkw, INfz, sNfz (schwere Nutzfahrzeuge) und Krad (Krafträder) für die Bezugsjahre 2013, 2014 und 2020 ermittelt. In Abbildung 5-1 sind für Stuttgart für ausgewählte Hauptverkehrssituationen die Abgas-Emissionsfaktoren für NO_x und PAR-Abgas (PAR-Abgas entspricht PM_{10} -Abgas) für das Bezugsjahr 2013 (mit Berücksichtigung grüne Umweltzone) dargestellt. Diese spezifischen Emissionsfaktoren geben die emittierte Schadstoffmenge in g pro Fahrzeug und km an. Deutlich zu erkennen ist, dass die NO_x -Emissionsfaktoren der schweren Nutzfahrzeuge (sNfz) teilweise um den Faktor 10 höher sind als die der Pkw. Auch bei den PAR-Abgas-Emissionsfaktoren zeigt sich ein ähnliches Bild, wobei hier auch die Emissionsfaktoren der INfz in einer ähnlichen Größenordnung liegen wie die der sNfz und damit deutlich über den Pkw-PAR-Abgasemissionsfaktoren. Zu beachten ist, dass vor allem bei den innerörtlichen Verkehrssituationen sinkende Geschwindigkeiten stets mit einem höheren Störungsgrad im Verkehrsablauf (Beschleunigungs-/Verzögerungsanteile etc.) verbunden sind. Emissionsfaktoren z.B. für Tempolimit T30 auf Hauptverkehrsstraßen innerorts sind in HBEFA3.1 nicht enthalten.

Die prognostizierten Veränderungen der NO_x - und PM_{10} -Abgas-Emissionsfaktoren 2014 (ohne Umweltzone) und 2020 (ohne Umweltzone) im Vergleich zu 2013 (Basis ohne Umweltzone) sind je Fahrzeugkategorie in Abbildung 5-2 für die Pkw, leichten Nutzfahrzeuge (INfz) und schweren Nutzfahrzeuge (sNfz) dargestellt. Die Differenzen der NO_x -Emissionsfaktoren liegen für den Trend 2014 für die Pkw, INfz und sNfz bei unter 10 %. Im Vergleich liegen die Differenzen für den Trend 2020 deutlich höher, bei 29 % für Pkw, 45 % für INfz und 62 % für sNfz.

Die entsprechenden Differenzen der PM_{10} -Abgas-Emissionsfaktoren im Vergleich zu 2013 (Basis, ohne Umweltzone) fallen generell größer aus als für die NO_x -Emissionsfaktoren. Je nach Fahrzeugkategorie liegen die Reduktionen im Bereich von -9 % (Pkw, 2014 Trend ohne Umweltzone im Vergleich zu 2013 Basis ohne Umweltzone) bis -73 % (INfz, 2020 Trend ohne Umweltzone) im Vergleich zu 2013 Basis ohne Umweltzone.

Die Ursachen der Reduktionen der Emissionsfaktoren liegen zum einen in der kontinuierlichen Veränderung der Fahrzeugflotte hin zu emissionsärmeren Fahrzeugen von 2013 bis 2020, zum anderen aber vor allem auch in der verschärften Flottenverjüngung durch die Aussperrung von älteren Fahrzeugen ohne grüne Plakette in den Fällen mit grüner Umweltzone.

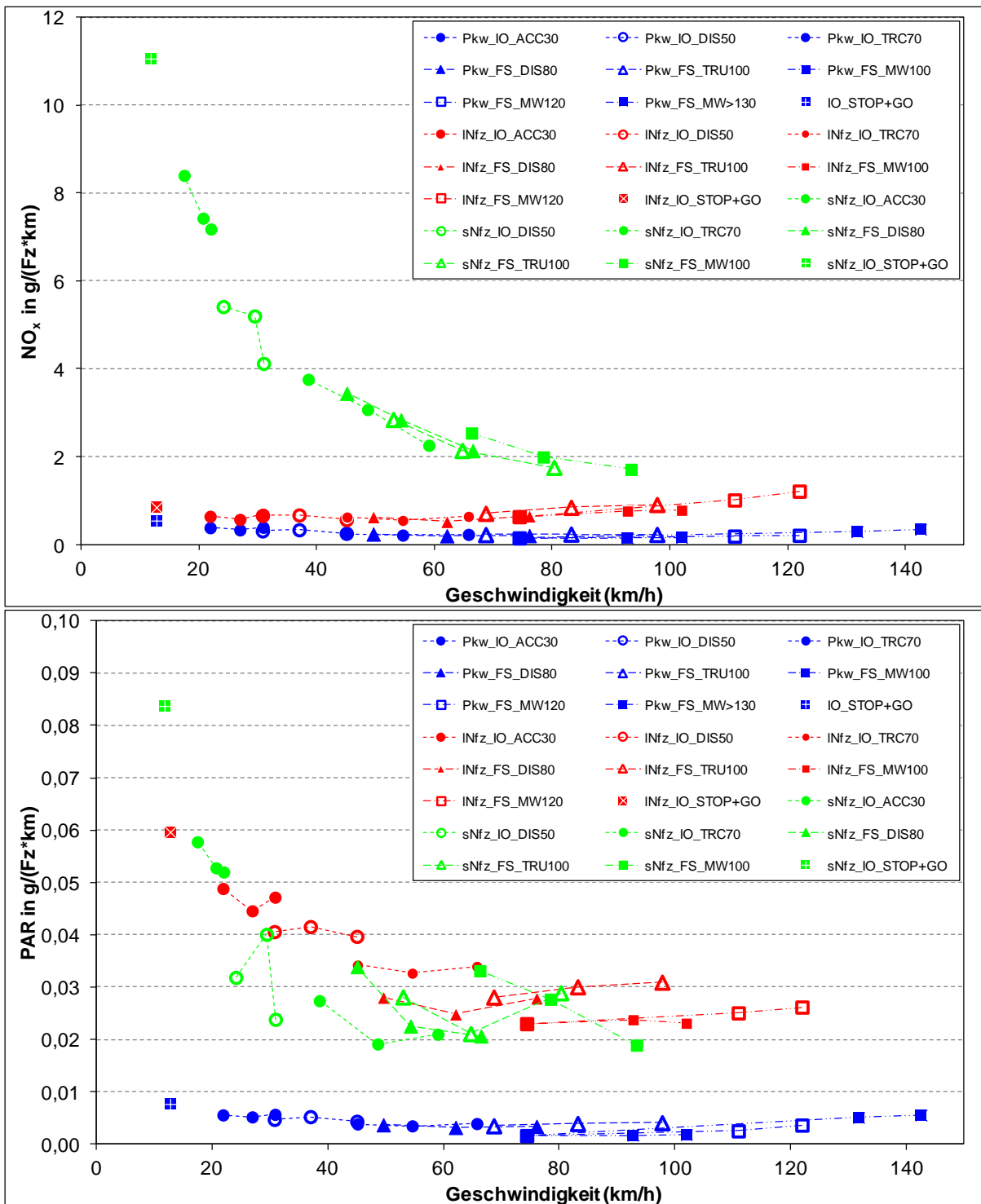


Abbildung 5-1: NO_x- (oben) und PM₁₀-Abgas-Emissionsfaktoren (unten) für Pkw (blaue Symbole), Infz (rote Symbole) und sNfz (grüne Symbole) in Stuttgart im Basisjahr 2013 innerhalb der grünen Umweltzone (sinkende Geschwindigkeiten innerorts stellen hier Verkehrssituationen mit einem steigenden Störungsgrad dar; Tempo 30 auf Hauptverkehrsstraßen kann hiermit nicht abgebildet werden)

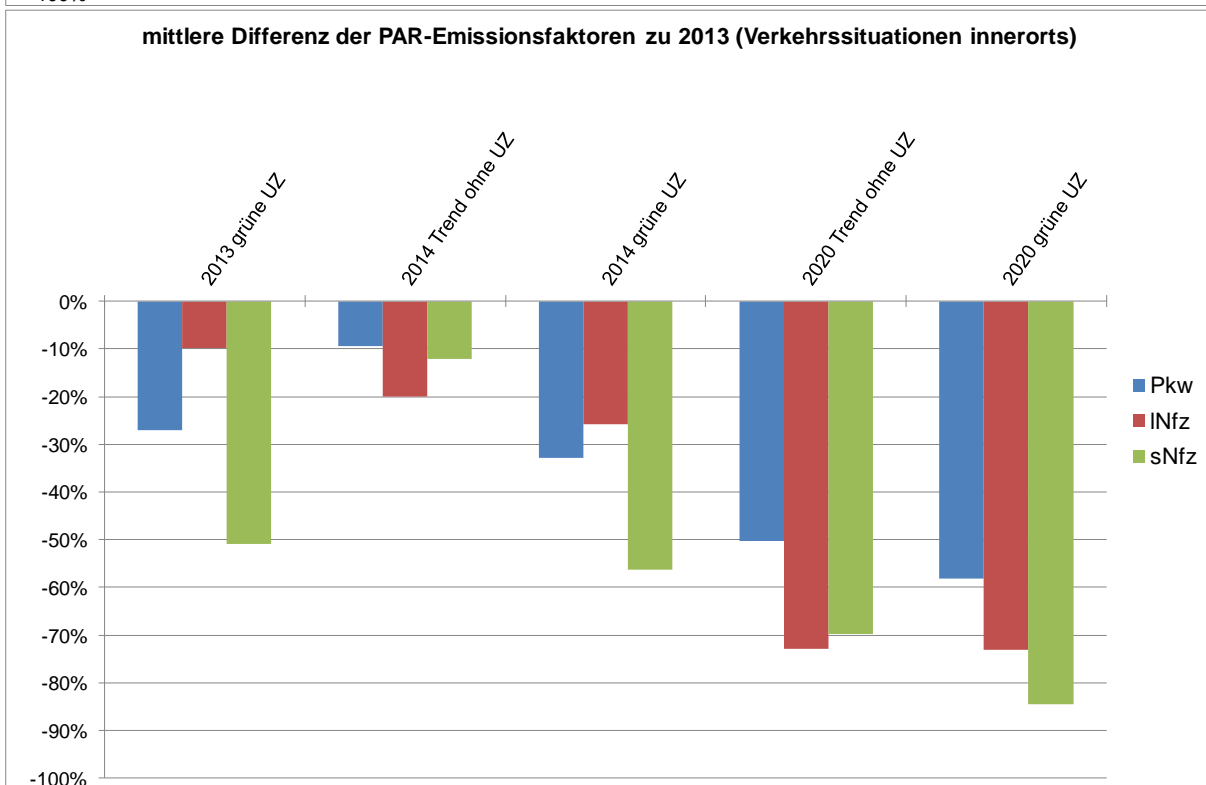
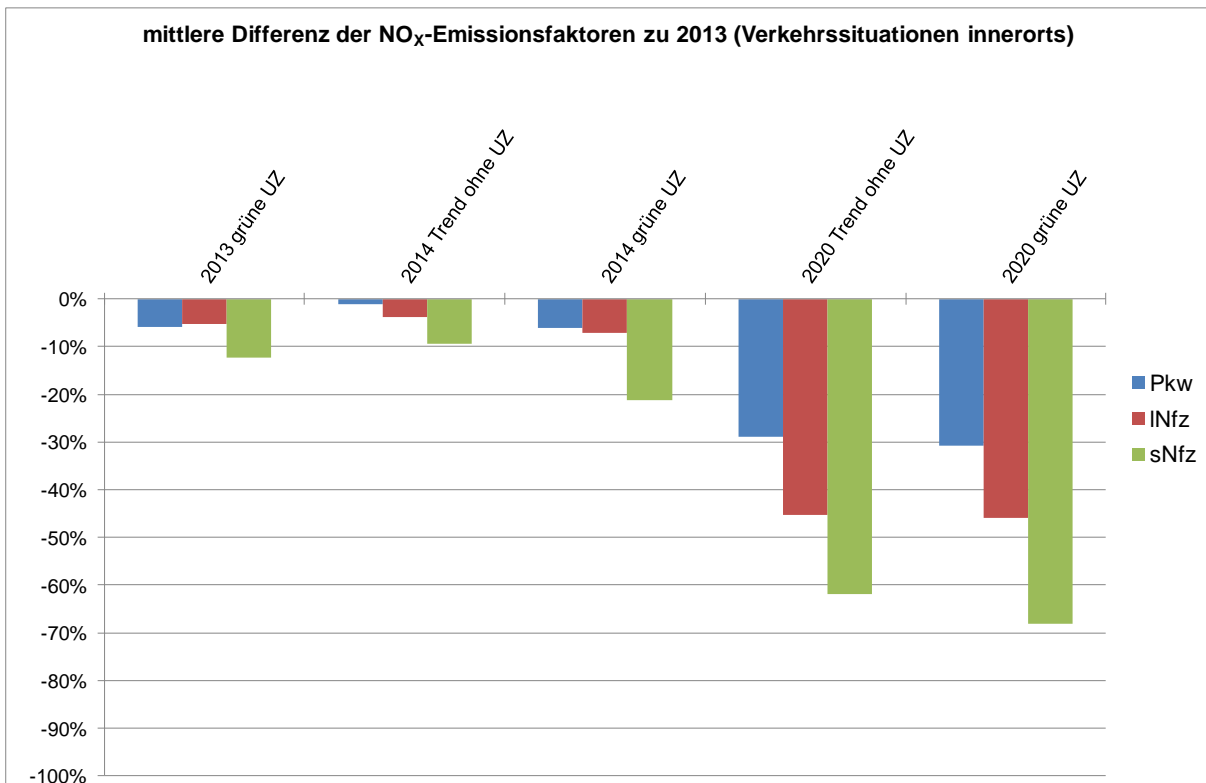


Abbildung 5-2: Differenz der spezifischen NO_x- und PM₁₀-Abgas-Emissionsfaktoren 2014 (Trend außerhalb und innerhalb der Umweltzone) und 2020 (Trend außerhalb und innerhalb der Umweltzone) im Vergleich zu 2013 (Basis, außerhalb der Umweltzone) für Pkw, INfz und sNfz, Stuttgart (innerörtliche Verkehrssituationen)

5.2.5 EMISSIONSFAKTOREN PM10 DURCH AUFWIRBELUNG UND ABRIEB

Bezüglich der Emissionsfaktoren zur Ermittlung der PM10-Emissionen durch Aufwirbelung und Abrieb wurden analog zum Landesemissionskataster [AVISO 2013] die auf HBEFA3.1 angepassten Daten aus [Lohmeyer 2011] verwendet (vgl. Tabelle 5-9).

Tabelle 5-9: Emissionsfaktoren für PM10-Emissionen durch Aufwirbelung und Abrieb [Lohmeyer 2011]

| Innerortsstraßen Hauptverkehrssituation (Tempolimit) | Störungsgrad (1 =flüssig, 2=dicht 3=gesättigt) | PM10-Emissionsfaktor Aufwirbelung und Abrieb | |
|---|---|---|-------|
| | | Pkw/Infz mg/(Fz*km) | sNfz |
| Fernstraße/City (50 - 90) | 1 | 26 | 100 |
| | 2 | 33 | 350 |
| | 3 | 40 | 700 |
| | Stop&Go | 45 | 1.200 |
| Hauptverkehrsstraße (50 - 80) | 1 | 26 | 100 |
| | 2 | 33 | 350 |
| | 3 | 35 | 500 |
| | Stop&Go | 45 | 1.200 |
| Sammelstraße (50 - 60) | 1 | 26 | 100 |
| | 2 | 33 | 350 |
| | 3 | 40 | 700 |
| | Stop&Go | 45 | 1.200 |
| Erschließungsstraße (30) | 1 | 26 | 280 |
| | 2 | 35 | 500 |
| | 3 | 45 | 1.200 |
| | Stop&Go | 45 | 1.200 |
| Erschließungsstraße (40) | 1 | 30 | 320 |
| | 2 | 35 | 500 |
| | 3 | 45 | 1.200 |
| | Stop&Go | 45 | 1.200 |
| Erschließungsstraße (50) | 1 | 33 | 350 |
| | 2 | 35 | 500 |
| | 3 | 45 | 1.200 |
| | Stop&Go | 45 | 1.200 |
| für alle anderen Hauptverkehrssituationen auf Außerortsstraßen und Autobahnen | | 30 | 130 |

6 Emissionen

Unter Verwendung der in Kap. 4 dargestellten Verkehrsdatenbasis und der in Kap. 5 beschriebenen Emissionsfaktoren wurden die NO_x-, NO₂- und PM10-Emissionen für die Trendentwicklung (2013, 2014 und 2020) für alle Streckenabschnitte im Untersuchungsgebiet (Ballungsraum Stuttgart) berechnet. Die pro Tagesgruppe ermittelten stündlichen Emissionen wurden zu Jahreswerten aggregiert.

Die Ergebnisse der verschiedenen Szenarien wurden sowohl für den Ballungsraum Stuttgart als auch zusätzlich für das Stadtgebiet Stuttgart analysiert und vergleichend gegenübergestellt, um den Trend emissionsseitiger Veränderungen zu beurteilen.

6.1 Ballungsraum Stuttgart

Die Trendentwicklung der Jahresfahrleistungen und Gesamtemissionen 2013 bis 2020 ist differenziert nach Innerorts- und Außerortsstrecken und Autobahnen für das gesamte in Abbildung 2-1 dargestellte Untersuchungsgebiet (Ballungsraum Stuttgart) in Tabelle 6-1 aufgeführt. Berücksichtigt ist hierbei in 2013 und 2014 die grüne Umweltzone in Teilgebieten und in 2020 im gesamten Untersuchungsgebiet, außer den Autobahnen.

Für die Jahresfahrleistung wird von 2013 bis 2020 eine Zunahme von knapp 6 % prognostiziert, die insbesondere durch die Zunahmen der Fahrleistung auf Autobahnen und Außerortsstraßen verursacht wird, während für den Innerortsbereich die Zunahme bei 1 % liegt.

Für die NO_x-, NO₂- und PM10-Abgasemissionen ergeben sich, trotz der Zunahmen der Jahresfahrleistung, von 2013 bis 2020 deutliche Reduktionen, die bei -45 %, -32 % bzw. -60 % liegen. Die Ursache hierfür ist vor allem in der kontinuierlichen Verbesserung des Abgasverhaltens der Fahrzeugflotte zu sehen (vgl. Abbildung 5-2). Etwas verstärkt wird diese Entwicklung hier noch durch die Ausdehnung des Umweltzonengebietes in 2020, daher sind z.B. für die Innerortsstrecken, die außerhalb des Umweltzonengebietes 2013 liegen, die Reduktionen höher als für die Innerortsstrecken, die innerhalb der Umweltzonengebiete 2013 liegen (vgl. Tabelle 6-1).

Da die PM10-Gesamtemissionen von den Emissionen durch Aufwirbelung und Abrieb dominiert werden und für diese bis 2020 analog der Jahresfahrleistung eine Erhöhung prognostiziert wird (+7 %), ergibt sich für die PM10-Gesamtemissionen von 2013 bis 2020 nur eine Abnahme von knapp 7 %.

Tabelle 6-1: Trendentwicklung 2013 Basis, 2014 Trend bis 2020b (erweiterte Umweltzone auf den Ballungsraum, außer Autobahnen) der Jahresfahrleistungen, NO_x-, NO₂- und PM10-Jahresemissionen für den **Ballungsraum Stuttgart**, differenziert nach Innerorts- / Außerortsstrecken und Autobahnen

| | | Fahrleistung Mio Fzgkm / a | NO _x t/a | NO ₂ | PM10 Abgas t/a | PM10 AWAR t/a | PM10 Gesamt t/a |
|---|---------------------|-------------------------------|------------------------|-----------------|-------------------|------------------|--------------------|
| Autobahn | 2013 Basis | 3.047,21 | 1.916,11 | 363,54 | 35,15 | 126,65 | 161,80 |
| | 2014 Trend | 3.090,15 | 1.878,25 | 384,86 | 31,04 | 128,94 | 159,98 |
| | 2020b UZ-max | 3.349,03 | 989,04 | 252,38 | 14,96 | 142,72 | 157,68 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | 1,4% | -2,0% | 5,9% | -11,7% | 1,8% | -1,1% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | 9,9% | -48,4% | -30,6% | -57,4% | 12,7% | -2,5% |
| sonst. Außerortsstrecken außerhalb UZ-Gebiet Stand 2013 | 2013 Basis | 2.551,27 | 1.286,76 | 304,24 | 28,07 | 90,32 | 118,39 |
| | 2014 Trend | 2.572,67 | 1.250,85 | 311,59 | 24,77 | 91,19 | 115,96 |
| | 2020b UZ-max | 2.700,77 | 691,88 | 204,18 | 8,88 | 96,43 | 105,30 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | 0,8% | -2,8% | 2,4% | -11,8% | 1,0% | -2,0% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | 5,9% | -46,2% | -32,9% | -68,4% | 6,8% | -11,1% |
| sonst. Außerortsstrecken innerhalb UZ-Gebiet Stand 2013 | 2013 Basis | 1.576,69 | 637,92 | 175,91 | 10,33 | 54,47 | 64,80 |
| | 2014 Trend | 1.589,78 | 639,99 | 182,58 | 9,38 | 54,99 | 64,36 |
| | 2020b UZ-max | 1.668,22 | 424,56 | 129,60 | 5,23 | 58,08 | 63,30 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | 0,8% | 0,3% | 3,8% | -9,2% | 0,9% | -0,7% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | 5,8% | -33,4% | -26,3% | -49,4% | 6,6% | -2,3% |
| Außerortsstrecken gesamt | 2013 Basis | 7.175,16 | 3.840,80 | 843,70 | 73,55 | 271,44 | 344,99 |
| | 2014 Trend | 7.252,60 | 3.769,09 | 879,04 | 65,19 | 275,12 | 340,30 |
| | 2020b UZ-max | 7.718,01 | 2.105,49 | 586,15 | 29,06 | 297,23 | 326,29 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | 1,1% | -1,9% | 4,2% | -11,4% | 1,4% | -1,4% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | 7,6% | -45,2% | -30,5% | -60,5% | 9,5% | -5,4% |
| Innerortsstrecken außerhalb UZ-Gebiet Stand 2013 | 2013 Basis | 1.105,28 | 509,26 | 108,30 | 11,94 | 34,08 | 46,02 |
| | 2014 Trend | 1.109,89 | 494,02 | 109,72 | 10,64 | 34,27 | 44,92 |
| | 2020b UZ-max | 1.136,85 | 273,09 | 67,97 | 3,98 | 35,28 | 39,26 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | 0,4% | -3,0% | 1,3% | -10,9% | 0,6% | -2,4% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | 2,9% | -46,4% | -37,2% | -66,7% | 3,5% | -14,7% |
| Innerortsstrecken innerhalb UZ-Gebiet Stand 2013 | 2013 Basis | 2.067,19 | 857,74 | 196,23 | 13,28 | 70,09 | 83,37 |
| | 2014 Trend | 2.067,57 | 839,16 | 199,87 | 12,03 | 70,11 | 82,14 |
| | 2020b UZ-max | 2.070,09 | 510,62 | 131,11 | 7,00 | 70,32 | 77,32 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | 0,0% | -2,2% | 1,9% | -9,5% | 0,0% | -1,5% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | 0,1% | -40,5% | -33,2% | -47,3% | 0,3% | -7,3% |
| Innerortsstrecken gesamt | 2013 Basis | 3.172,47 | 1.367,00 | 304,54 | 25,23 | 104,17 | 129,39 |
| | 2014 Trend | 3.177,45 | 1.333,18 | 309,59 | 22,67 | 104,38 | 127,05 |
| | 2020b UZ-max | 3.206,95 | 783,71 | 199,08 | 10,97 | 105,60 | 116,58 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | 0,2% | -2,5% | 1,7% | -10,1% | 0,2% | -1,8% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | 1,1% | -42,7% | -34,6% | -56,5% | 1,4% | -9,9% |
| Gesamt | 2013 Basis | 10.347,63 | 5.207,79 | 1.148,24 | 98,77 | 375,61 | 474,38 |
| | 2014 Trend | 10.430,06 | 5.102,27 | 1.188,63 | 87,86 | 379,50 | 467,36 |
| | 2020b UZ-max | 10.924,96 | 2.889,20 | 785,24 | 40,03 | 402,83 | 442,86 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | 0,8% | -2,0% | 3,5% | -11,1% | 1,0% | -1,5% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | 5,6% | -44,5% | -31,6% | -59,5% | 7,2% | -6,6% |

Eine Übersicht über die prognostizierte Trendentwicklung die NO_x-, PM10-Abgas- und PM10-Gesamtemissionen im Ballungsraum Stuttgart zeigen Abbildung 6-1 bis Abbildung 6-2.

Bei den NO_x-Emissionen (Abbildung 6-1) zeigt sich in der Trendentwicklung von 2013 bis 2014 eine geringfügige Reduktion (-2 %) und bis 2020b eine deutlich höhere Reduktion von -45 %.

Abbildung 6-2 zeigt die Trendentwicklung der PM10-Abgas-Emissionen und der PM10-Gesamt-Emissionen für den Ballungsraum Stuttgart. Auch hier zeigt sich, dass zwar für die Abgas-Emissionen von 2013 bis 2020 deutliche Reduktionen prognostiziert werden (-60 % in der Trendentwicklung bis 2020), für die PM10-Gesamt-Emissionen dagegen eine wesentlich geringere Reduktion (-7 % in der Trendentwicklung bis 2020).

Die Partikel-Emissionen verursacht durch Aufwirbelung und Abrieb bestehen überwiegend aus größeren Partikeln. Nach [AVISIO 2014] ist der Kenntnisstand zu den Emissionen durch Abrieb und Aufwirbelung noch vergleichsweise gering, insbesondere bezüglich der Aufwirbelungsprozesse. Auf Basis der vorliegenden Daten kann davon ausgegangen werden, dass weniger als 50 % dieser PM10-Emissionen auf die PM2,5-Fraktion entfallen. Dagegen bestehen die Partikel-Abgasemissionen aus sehr kleinen Partikeln und werden vollständig der PM2,5-Fraktion zugeordnet. Wird nur die PM2,5-Fraktion der PM10-Gesamtemissionen betrachtet, ergeben sich daher tendenziell höhere Minderungen bis 2020.

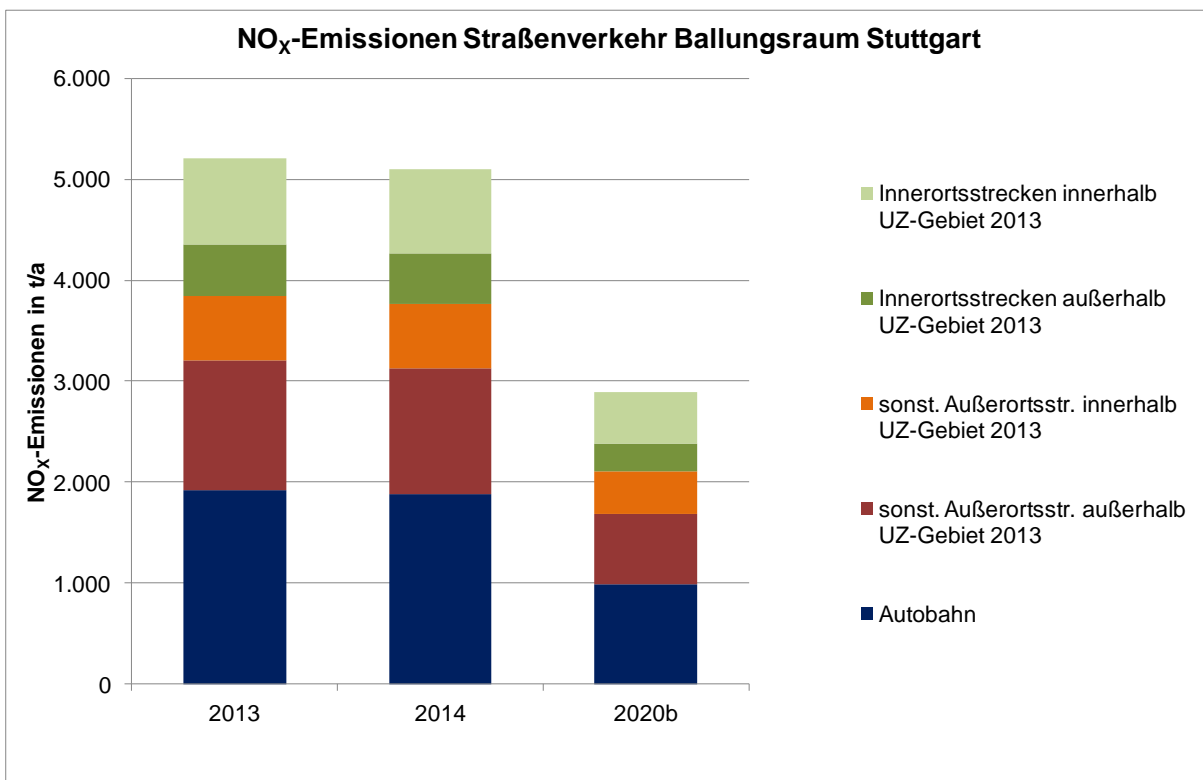


Abbildung 6-1: NO_x-Abgasemissionen Straßenverkehr, Ballungsraum Stuttgart für die betrachteten Trendprognosen 2014 und 2020 (Erläuterung der Kürzel siehe Kap. 3), differenziert nach Innerortsstrecken, Außerortsstrecken und Autobahnen

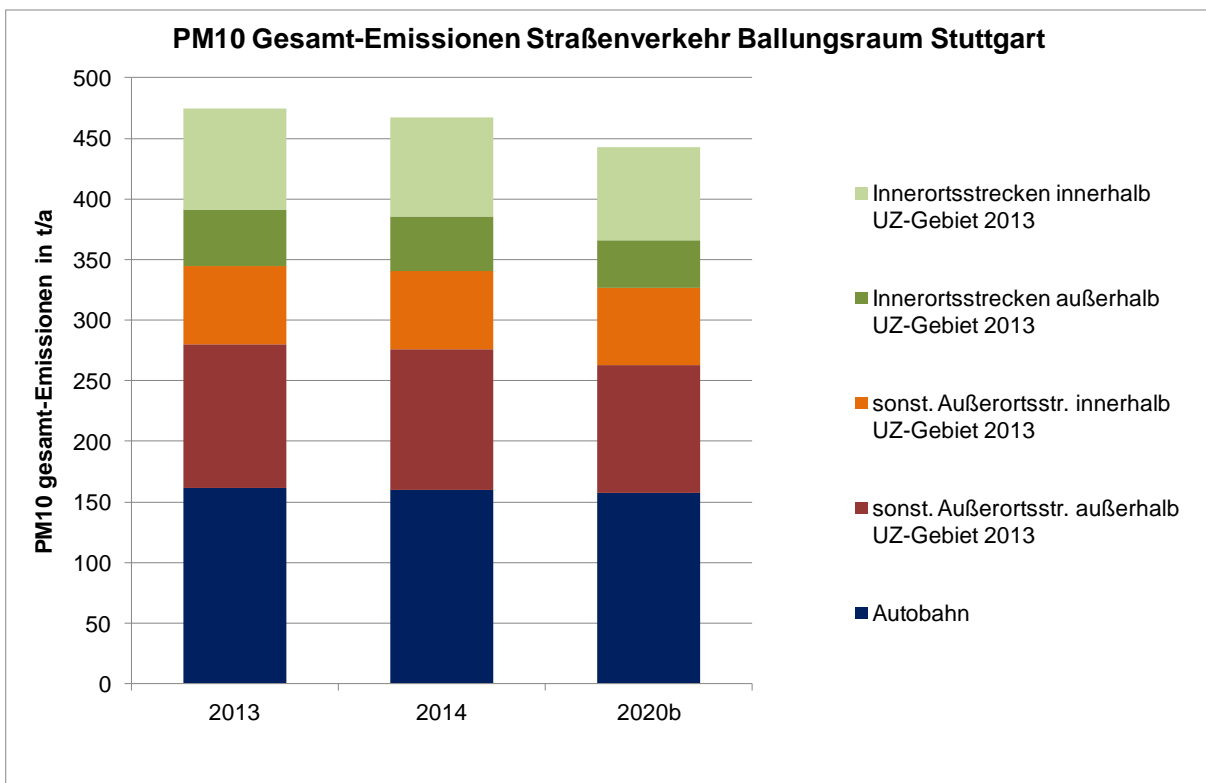
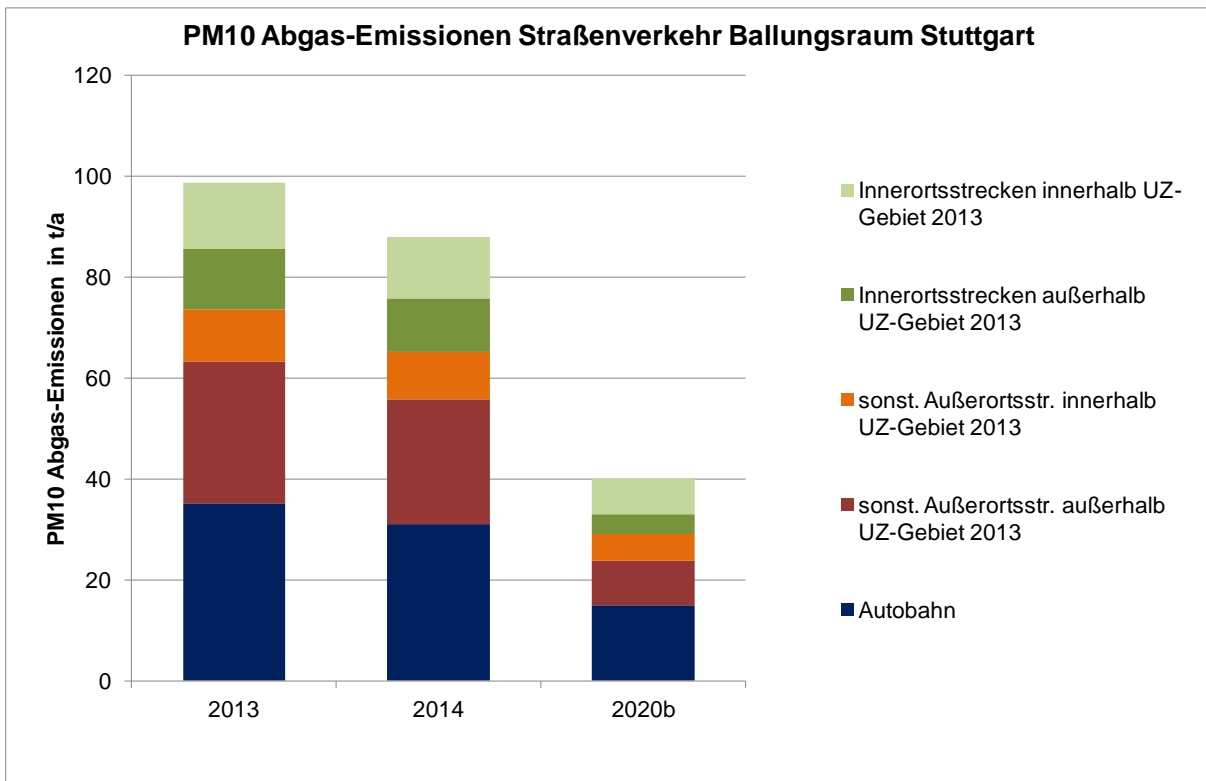


Abbildung 6-2: PM10-Abgas (oben) und PM10-Gesamtemissionen (unten) Straßenverkehr, Ballungsraum Stuttgart für die betrachteten Trendprognosen 2014 bis 2020 (Erläuterung der Kürzel siehe Kap. 3), differenziert nach Innerortsstrecken, Außerortsstrecken und Autobahnen

6.2 Stadtgebiet Stuttgart

Analog zu den Auswertungen für den gesamten Ballungsraum Stuttgart wurden entsprechende Auswertungen für das Stadtgebiet Stuttgart durchgeführt (Tabelle 6-2 und Abbildung 6-3 bis Abbildung 6-4).

Für die Jahresfahrleistung wird von 2013 bis 2020 für das Stadtgebiet Stuttgart eine Zunahme von knapp 4 % prognostiziert, wobei diese überwiegend durch die Zunahme der Jahresfahrleistung auf den Autobahnen und Außerortsstraßen verursacht wird. Für die Innerortsstraßen wird eine Abnahme der Fahrleistung um 1-2 % prognostiziert.

In der Betrachtung fallen die Emissionsreduktionen in der Trendentwicklung für das Stadtgebiet Stuttgart etwas geringer aus als für den Ballungsraum Stuttgart, da in Stuttgart bereits 2013 im gesamten Stadtgebiet die grüne Umweltzone eingerichtet ist.

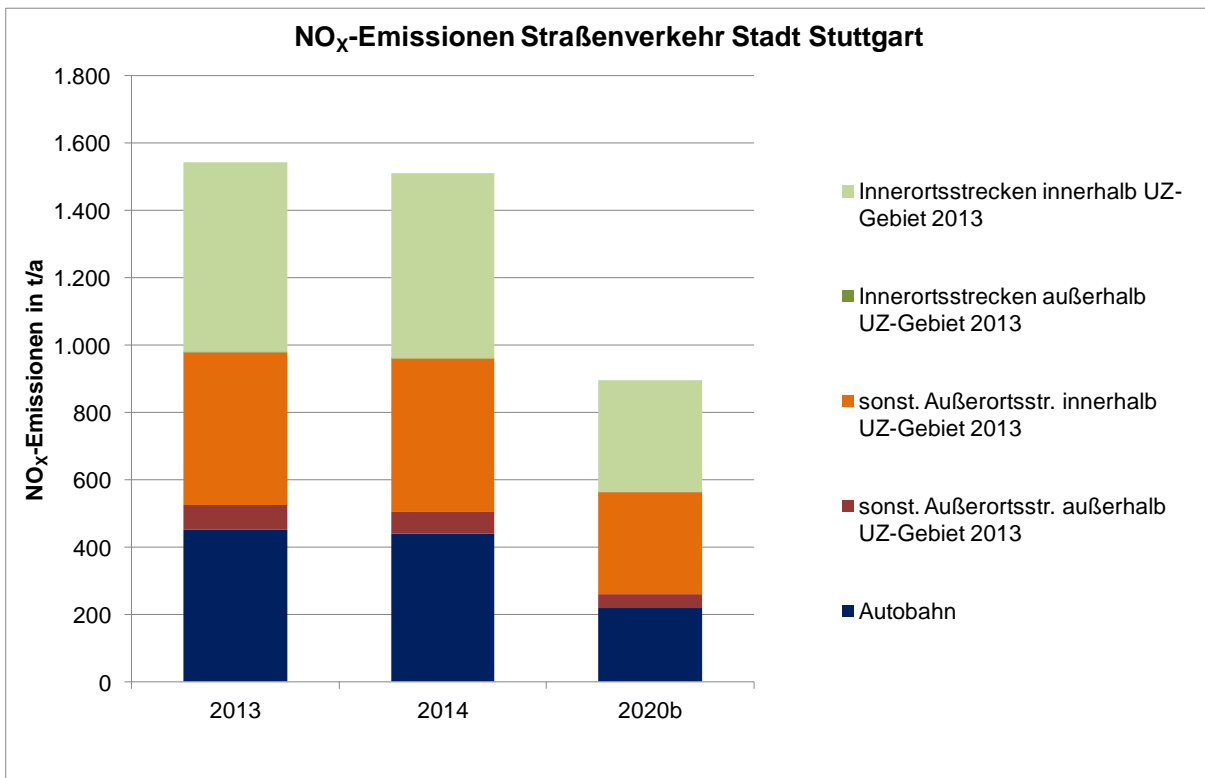


Abbildung 6-3: NO_x-Abgasemissionen Straßenverkehr, Stadtgebiet Stuttgart für die betrachteten Trendprognosen 2014 und 2020 (Erläuterung der Kürzel siehe Kap. 3) differenziert nach Innerortsstrecken, Außerortsstrecken und Autobahnen

Tabelle 6-2: Trendentwicklung 2013 Basis, 2014 Trend bis 2020b (erweiterte Umweltzone auf den Ballungsraum, außer Autobahnen) der Jahresfahrleistungen, NO_x-, NO₂- und PM10-Jahresemissionen für das Stadtgebiet Stuttgart, differenziert nach Innerorts- / Außerortsstrecken und Autobahnen

| Stadtgebiet Stuttgart | | Fahrleistung | NO _x | NO ₂ | PM10 Abgas | PM10 AWAR | PM10 Gesamt |
|---|---------------------|---------------|-----------------|-----------------|------------|-----------|-------------|
| | | Mio Fzgkm / a | t/a | | t/a | t/a | t/a |
| Autobahn | 2013 Basis | 664,56 | 452,13 | 84,44 | 8,35 | 27,43 | 35,78 |
| | 2014 Trend | 673,89 | 441,01 | 88,85 | 7,38 | 27,92 | 35,30 |
| | 2020b UZ-max | 730,16 | 218,92 | 55,54 | 3,36 | 30,89 | 34,25 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | 1,4% | -2,5% | 5,2% | -11,7% | 1,8% | -1,4% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | 9,9% | -51,6% | -34,2% | -59,7% | 12,6% | -4,3% |
| sonst. Außerortsstrecken außerhalb UZ-Gebiet Stand 2013 | 2013 Basis | 131,98 | 73,93 | 17,62 | 1,46 | 4,84 | 6,30 |
| | 2014 Trend | 133,30 | 63,42 | 17,30 | 0,91 | 4,90 | 5,81 |
| | 2020b UZ-max | 141,16 | 40,60 | 12,25 | 0,48 | 5,23 | 5,71 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | 1,0% | -14,2% | -1,8% | -37,4% | 1,1% | -7,8% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | 6,9% | -45,1% | -30,5% | -67,0% | 8,0% | -9,4% |
| sonst. Außerortsstrecken innerhalb UZ-Gebiet Stand 2013 | 2013 Basis | 1.074,05 | 453,65 | 127,23 | 7,12 | 37,02 | 44,14 |
| | 2014 Trend | 1.083,54 | 456,04 | 132,15 | 6,48 | 37,40 | 43,87 |
| | 2020b UZ-max | 1.140,37 | 305,00 | 94,56 | 3,63 | 39,62 | 43,24 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | 0,9% | 0,5% | 3,9% | -9,0% | 1,0% | -0,6% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | 6,2% | -32,8% | -25,7% | -49,1% | 7,0% | -2,0% |
| Außerortsstrecken gesamt | 2013 Basis | 1.870,59 | 979,70 | 229,29 | 16,93 | 69,29 | 86,22 |
| | 2014 Trend | 1.890,72 | 960,48 | 238,31 | 14,77 | 70,21 | 84,98 |
| | 2020b UZ-max | 2.011,69 | 564,53 | 162,36 | 7,47 | 75,73 | 83,20 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | 1,1% | -2,0% | 3,9% | -12,8% | 1,3% | -1,4% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | 7,5% | -42,4% | -29,2% | -55,9% | 9,3% | -3,5% |
| Innerortsstrecken außerhalb UZ-Gebiet Stand 2013 | 2013 Basis | 1,78 | 0,91 | 0,18 | 0,02 | 0,05 | 0,07 |
| | 2014 Trend | 1,77 | 0,79 | 0,17 | 0,01 | 0,05 | 0,06 |
| | 2020b UZ-max | 1,75 | 0,44 | 0,11 | 0,01 | 0,05 | 0,06 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | -0,2% | -12,6% | -5,1% | -39,7% | -0,2% | -10,5% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | -1,4% | -51,2% | -41,5% | -67,1% | -1,4% | -18,6% |
| Innerortsstrecken innerhalb UZ-Gebiet Stand 2013 | 2013 Basis | 1.362,26 | 563,29 | 131,14 | 8,51 | 45,98 | 54,48 |
| | 2014 Trend | 1.359,03 | 550,76 | 133,37 | 7,71 | 45,85 | 53,56 |
| | 2020b UZ-max | 1.340,94 | 331,94 | 86,61 | 4,43 | 45,10 | 49,53 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | -0,2% | -2,2% | 1,7% | -9,4% | -0,3% | -1,7% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | -1,6% | -41,1% | -34,0% | -47,9% | -1,9% | -9,1% |
| Innerortsstrecken gesamt | 2013 Basis | 1.364,04 | 564,19 | 131,32 | 8,52 | 46,03 | 54,56 |
| | 2014 Trend | 1.360,81 | 551,55 | 133,54 | 7,72 | 45,90 | 53,62 |
| | 2020b UZ-max | 1.342,69 | 332,38 | 86,72 | 4,44 | 45,15 | 49,59 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | -0,2% | -2,2% | 1,7% | -9,4% | -0,3% | -1,7% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | -1,6% | -41,1% | -34,0% | -47,9% | -1,9% | -9,1% |
| Gesamt | 2013 Basis | 3.234,63 | 1.543,90 | 360,62 | 25,45 | 115,32 | 140,78 |
| | 2014 Trend | 3.251,53 | 1.512,02 | 371,85 | 22,49 | 116,11 | 138,60 |
| | 2020b UZ-max | 3.354,38 | 896,90 | 249,08 | 11,91 | 120,89 | 132,79 |
| | Diff. 2014 zu 2013 | 0,5% | -2,1% | 3,1% | -11,7% | 0,7% | -1,5% |
| | Diff. 2020b zu 2013 | 3,7% | -41,9% | -30,9% | -53,2% | 4,8% | -5,7% |

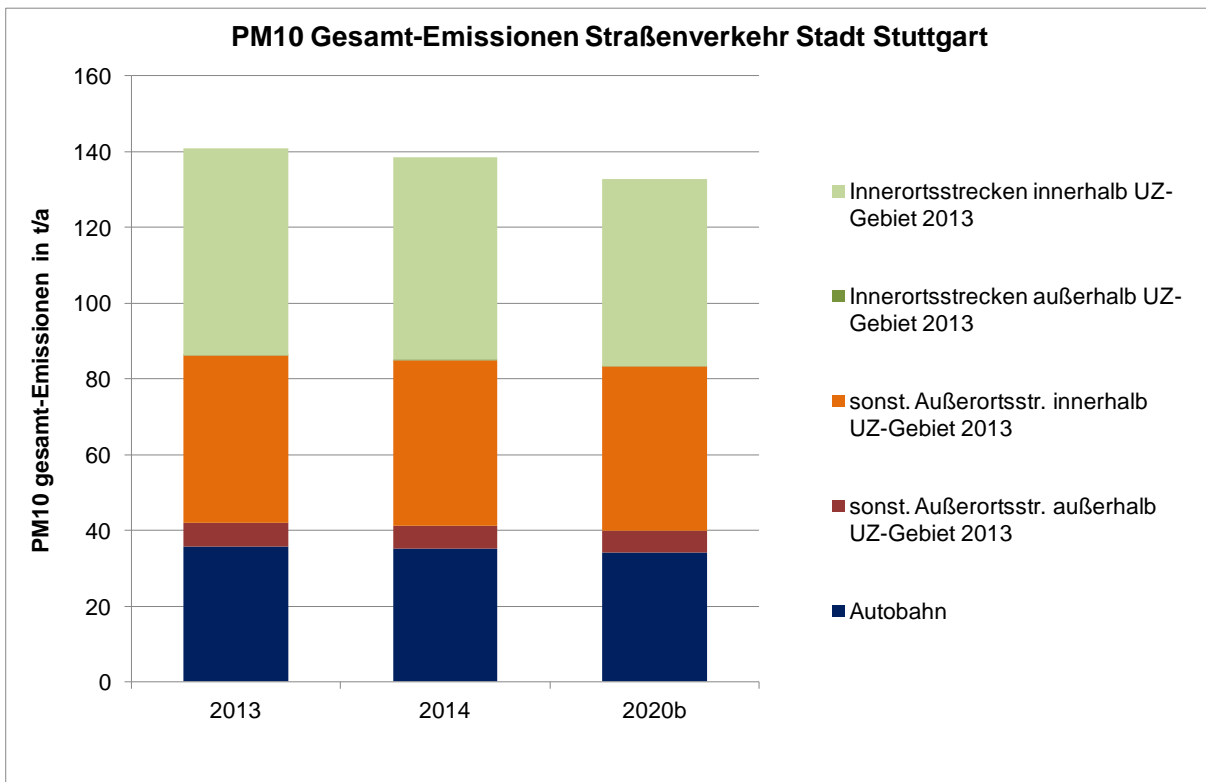
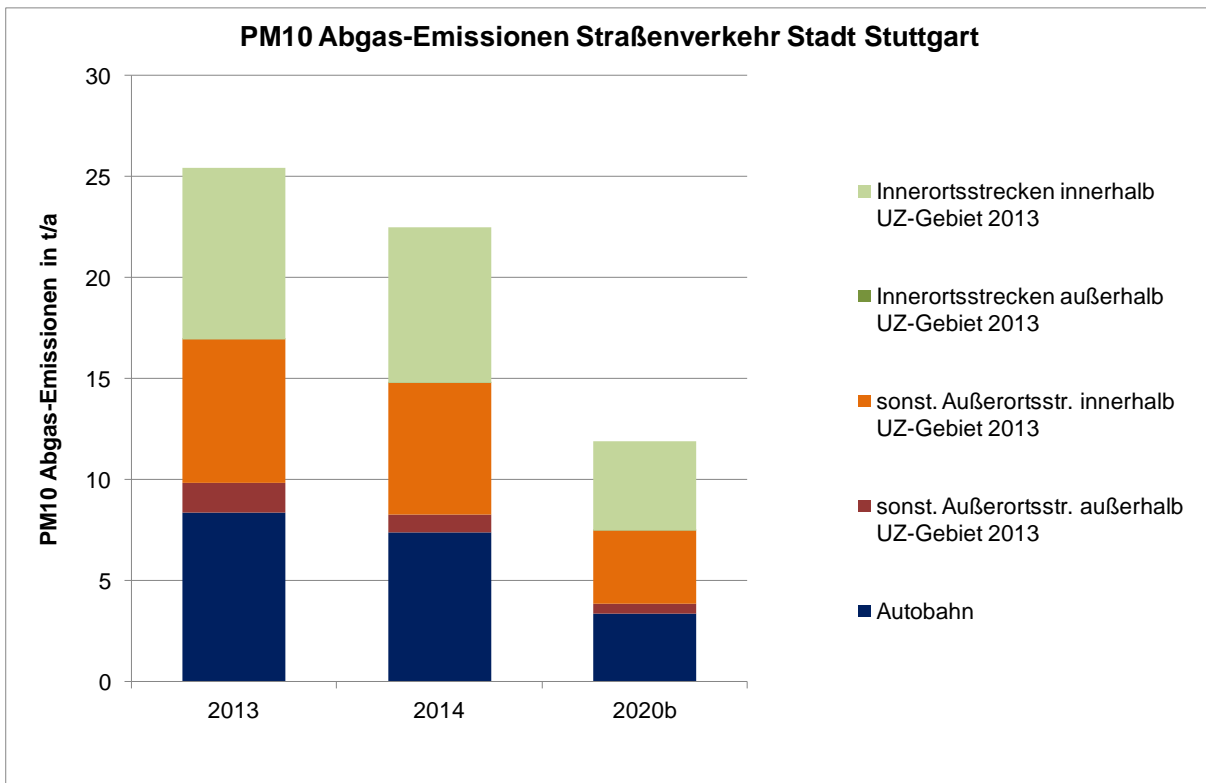


Abbildung 6-4: PM10-Abgas- (oben) und PM10-Gesamtemissionen (unten) Straßenverkehr, Stadtgebiet Stuttgart für die betrachteten Trendprognosen 2014 und 2020 (Erläuterung der Kürzel siehe Kap. 3), differenziert nach Innerortsstrecken, Außerortsstrecken und Autobahnen

7 Grundlagen der Immissionsberechnungen

7.1 Screening-Modell

7.1.1 GRUNDSÄTZLICHES ZU EINEM SCREENING-MODELL

Ein Screening-Modell ist ein Verfahren, mit dessen Hilfe unter Vorgabe bestimmter Randbedingungen die Immissionskonzentrationen im Nahbereich von Quellen abgeschätzt werden können. Screening-Modelle kommen überwiegend bei Immissionsprognosen für Verkehrsemissionen zum Einsatz, da hier in aller Regel räumlich umfangreiche Straßennetze zu betrachten sind. Hierfür sind komplexe Strömungs- und Ausbreitungsmodelle wegen des rechentechnischen und zeitlichen Aufwands oft nicht einsetzbar. Mit den Screening-Modellen erhält man somit ein großräumiges Bild der Immissionsbelastung, die dann in Einzelfällen mit komplexen Strömungs- und Ausbreitungsmodellen im Detail untersucht werden können. Die Grundlage von Screening-Modellen bilden so genannte Transmissionskoeffizienten, die im Vorfeld mit komplexen Ausbreitungsmodellen für standardisierte Randbedingungen erzeugt und in einer Datenbank abgelegt werden. Standardisierte Randbedingungen bedeuten, dass die Transmissionskoeffizienten für fest vorgegebene

- Einheitsquellen (Lage und Größe),
- Einheitsemissionen $E_{\text{Screening}}$ (in diesem Fall die durch Kfz erzeugten Emissionen),
- Windgeschwindigkeiten $U_{\text{Screening}}$,
- Windrichtungen und
- charakteristische Bebauungsstrukturen

ermittelt wurden. Für eine real gegebene Situation kann daraus die Immission I_{real} durch lineare Skalierung der Transmissionskoeffizienten ($I_{\text{Screening}}$) mit der tatsächlich vorhandenen Emission E_{real} und reziproken Skalierung mit der Windgeschwindigkeit U_{real} entsprechend der Beziehung F1 ermittelt werden:

$$I_{\text{real}} = I_{\text{Screening}} \cdot \frac{E_{\text{real}}}{E_{\text{Screening}}} \cdot \frac{U_{\text{Screening}}}{U_{\text{real}}} \quad (\text{F1})$$

Dieser Transformation liegt die Annahme zugrunde, dass bei gleicher Bebauungsstruktur, Quellposition, Anströmrichtung und atmosphärischer Schichtung die Immissionskonzentrationen reziprok von der Windgeschwindigkeit und linear von den Emissionen abhängen. Bei einer real doppelt so hohen Windgeschwindigkeit bzw. Emissionsstärke verglichen mit der Einheitswindgeschwindigkeit und Einheitsemission, die bei der Generierung der dem Screening-Modell zugrundeliegenden Ergebnisse gewählt wurden, halbieren bzw. verdoppeln sich die Immissionswerte. Bei niedrigen Windgeschwindigkeiten führt diese Annahme zu Abweichungen im Vergleich zu den realen Immissionskonzentrationen, da die Kfz-erzeugte Turbulenz und gegebenenfalls auch unbestimmte thermische Effekte zunehmend an Einfluss gewinnen können. Allerdings sind sowohl die Bestimmung des Einflusses fahrzeuginduzierter Turbulenz als auch thermische Einflüsse innerhalb einer Bebauung und deren Berücksichtigung selbst in prognostischen mikroskaligen Strömungs- und Ausbreitungsmodellen zur Zeit noch nicht Stand der Technik und können meist nur mit empirischen Ansätzen berücksichtigt werden. Durch die Nichtberücksichtigung bspw. der Kfz-erzeugten Turbulenz werden im Sinne einer konservativen Betrachtung die mit einem Screening-Modell ermittelten Immissionswerte eher überschätzt.

Für die Berechnungen im vorliegenden Fall wird das Screening-Modell ISIS [BANGERT 1996] eingesetzt, das vom Büro für Umweltmeteorologie Bangert im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie entwickelt wurde. Die dem Modell ISIS zugrundeliegenden Transmissionskoeffizienten wurden mit dem Modell MISKAM [EICHHORN 1989] berechnet. Variable Größen sind die mittlere Bebauungshöhe eines Straßenabschnittes, die mittlere Straßenbreite und die Bebauungsstruktur der Randbebauung. Dem Modell ISIS liegen die nachfolgend genannten Bebauungsstrukturen zugrunde:

- Beidseitig geschlossene Randbebauung (Straßenschlucht)
- Einseitig geschlossene, einseitig offene Randbebauung
- Beidseitig durchbrochene Randbebauung
- Einseitig durchbrochene, einseitig offene Randbebauung
- Einseitig geschlossene, einseitig durchbrochene Randbebauung.

Das Screening-Modell liefert als Ergebnis eine mittlere Immissionskonzentration für den betrachteten Straßenabschnitt.

7.1.2 MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DES SCREENING-MODELLS

Der Ansatz des Screening-Verfahrens bringt aufgrund standardisierter Bebauungsstrukturen eine Vereinfachung mit sich. Es ist damit zu rechnen, dass die in einem Screening-Modell bereitgestellten Bebauungsstrukturen die in der Realität gegebenen Bebauungsstrukturen nicht exakt wiedergeben. Aus diesem Grund handelt es sich bei Screening-Modellen um Abschätzverfahren. Je genauer die reale Bebauung mit der im Screening-Modell gegebenen standardisierten Bebauungsstruktur übereinstimmt, desto besser stimmen die berechneten Werte mit der Realität überein. Dies ist vor allem in innerstädtischen Kernbereichen mit dichter Straßenrandbebauung (Straßenschluchtcharakter) und häufig nur leicht variierenden Gebäudehöhen recht gut gegeben. Da in diesen Straßenschluchten aufgrund des reduzierten Luftaustausches mit der Atmosphäre über Dach mit hohen Immissionsbelastungen zu rechnen ist, kann man davon ausgehen, dass mit den Screening-Modellen für die lufthygienisch kritischen Straßenzüge in dicht bebauten Stadtgebieten recht verlässliche Aussagen erzielt werden können.

7.2 Vorgehen im konkreten Fall

7.2.1 FESTLEGUNG DER BEBAUUNGSSTRUKTUREN

Grundsätzlich werden mit dem Screening-Modell ISIS einzelne Streckenabschnitte betrachtet, bei denen in erster Näherung

- eine konstante Verkehrsstärke und konstante Emissionen,
- eine ähnliche Straßenbreite,
- eine ähnliche Lückigkeit (Porosität) und
- eine ähnliche Ausrichtung gegen Nord

vorliegt. Die mittlere Gebäudehöhe wird längengewichtet für die gewählten Streckenabschnitte ermittelt.

Im Rahmen des Projektes war bereits ein aktuelles Straßennetz von der LUBW zur Verfügung gestellt worden, welches die benötigten Informationen zur Immissionsberechnung mit einem Screening-Modell enthält. Diese Daten wurden stichprobenartig überprüft und, wie nachfolgend beschrieben, aktualisiert:

1. Ausgangspunkt des Straßennetzes war das Netzmodell des Landesemissionskatasters. Im Landesemissionskataster sind für das Untersuchungsgebiet ca. 3.000 Streckenabschnitte enthalten. Für diese Abschnitte liegen damit alle relevanten Streckendaten zur Emissionsberechnung vor.
2. Im Hinblick auf die Immissionsberechnungen war eine Typisierung der Streckenabschnitte durchgeführt worden. Im Rahmen dieses Prozesses war die Anzahl der Streckenabschnitte von ca. 3.000 auf ca. 17.000 angestiegen. Als zusätzliche Attribute ist die Straßenbreite berechnet worden und Angaben zur Bebauung (einseitig/beidseitig/keine), zur Lückigkeit (geschlossen (0-20 %), offen (20-60 %)) und zur Gebäudehöhe sind ergänzt worden.
3. Die Straßenbreite war über den Streckentyp nach Stolz (ein Attribut aus dem Landesemissionskataster zur verkehrsinfrastrukturellen Typisierung der Streckenabschnitte und u.a. zur Zuordnung von standardisierten Kapazitäten; vierstellig geschlüsselt, wobei die dritte Ziffer die Anzahl der Fahrstreifen und die vierte Ziffer die Qualität angibt) ermittelt worden. Um insbesondere bei den höher belasteten Straßenabschnitten die Anzahl der Fahrstreifen richtig zu erfassen, wurde für alle Innerortsstreckenabschnitte mit einer Verkehrsbelastung von mehr als 20.000 Kfz/24h mit Hilfe von Luftbildern die Anzahl der Fahrstreifen überprüft und ggf. Zusatzinformationen wie zusätzlich vorhandene Standstreifen erfasst. Für die übrigen Abschnitte wurde die Anzahl der Fahrstreifen ausschließlich aus dem Streckentyp abgeleitet (dritte Ziffer). Zur Ermittlung der Straßenbreite wurde pro Fahrstreifen (und ggf. vorhandenem Standstreifen) eine Breite von 3 m angesetzt. Pauschal wurde zusätzlich eine Gehwegbreite von 3 m berücksichtigt.
4. Die weiteren relevanten Attribute zur Charakterisierung der Straßenschlucht für die Immissionsberechnungen sind die Angaben zur Art der Bebauung (einseitig/beidseitig), der Lückigkeit und der Gebäudehöhe. Diese Daten waren von der LUBW ermittelt und im Netz ergänzt worden und wurden unverändert übernommen.
5. Im Hinblick auf die Immissionsberechnungen mit einem Screening-Modell war es dann notwendig, zu überprüfen, ob das Straßennetzmodell die Randbedingungen dafür erfüllt. Gemäß VDI-Richtlinie 3783 Bl.14 [VDI 3783] sollte ein Straßenabschnitt für eine Screeningbetrachtung eine Mindestlänge von 100 m oder 2-mal die Straßenbreite aufweisen. Eine Analyse der ca. 17.000 Streckenabschnitte (davon knapp 9.700 Innerortsstrecken mit Bebauungstyp >0) zeigte, dass diese Mindestlänge für eine Vielzahl von Abschnitten deutlich unterschritten war. Daher wurde in einem weiteren Schritt analysiert, welche Attribute sich so kleinteilig änderten und somit zu der hohen Anzahl von Streckenabschnitten geführt hatten. Es zeigte sich, dass dies überwiegend durch das Attribut Gebäudehöhe verursacht worden war. Daher wurden in einem weiteren Arbeitsschritt die kleinen Streckenabschnitte, die unter der Mindestlänge lagen, zusammengefasst, sofern die übrigen relevanten Attribute (Verkehrsstärken/Emissionen, Straßenbreite, Art der Bebauung, Lückigkeit) sich nicht maßgeblich änderten. Das Ergebnis wurde auf Plausibilität überprüft. Mit diesem Verfahren konnte die Anzahl der Streckenabschnitte deutlich reduziert werden (2.721 Innerortsstreckenabschnitte), so dass die Mindestlänge im Hinblick auf die Screeningbetrachtung nahezu an allen Streckenabschnitten eingehalten wird.
6. Wichtig im Hinblick auf die Emissionsberechnungen ist noch ein weiteres Attribut der Streckenabschnitte, eine Kennzeichnung, ob die Strecke innerhalb einer Umweltzone liegt oder nicht.

Eine Übersicht über das aktuelle Streckennetz mit Kennzeichnung der Lage bezüglich der Umweltzonengebiete zeigt Abbildung 7-1.

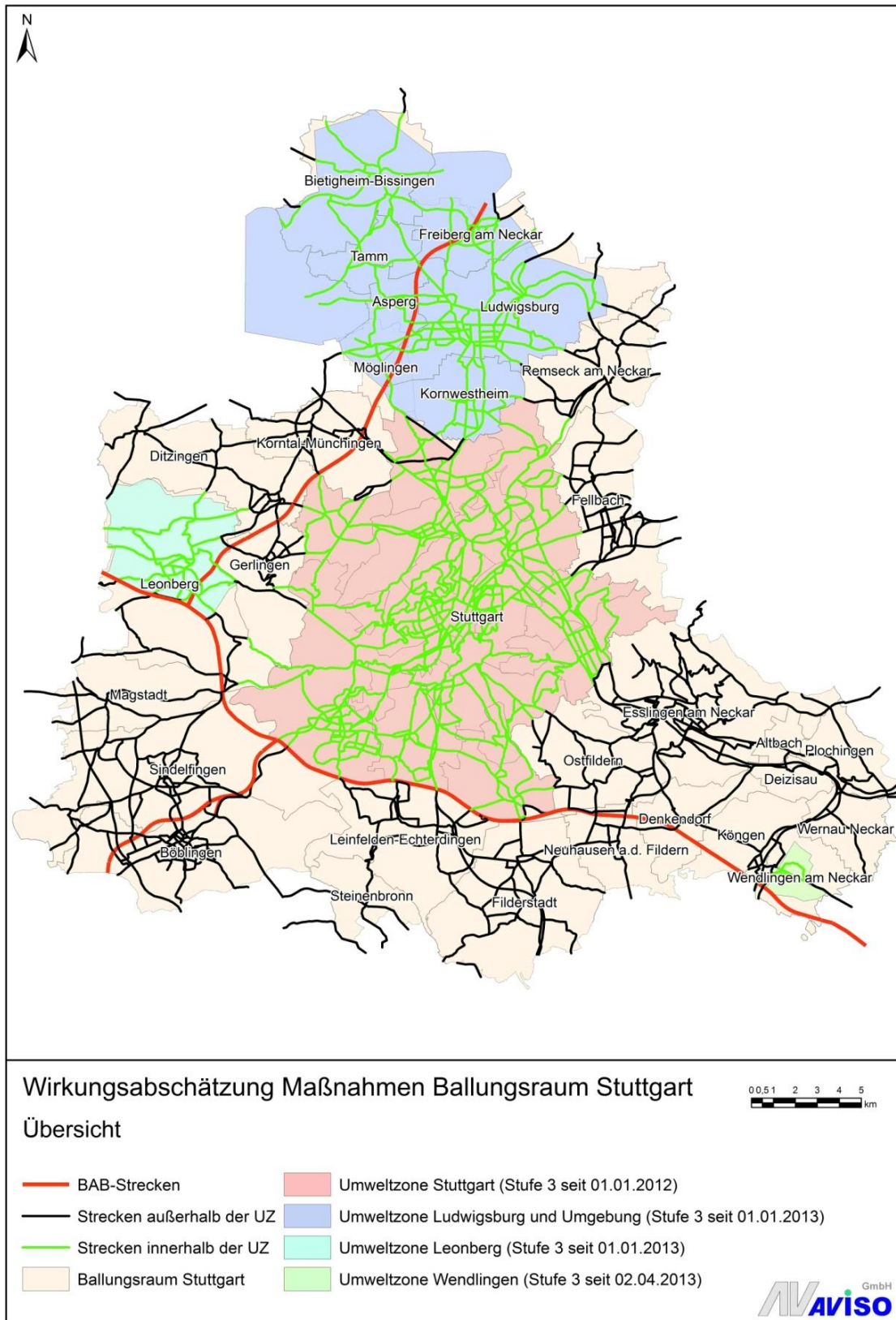


Abbildung 7-1: Untersuchungsgebiet Ballungsraum Stuttgart, Darstellung des Straßennetzes mit Kennzeichnung der Lage bezüglich der Umweltzonengebiete und mit Kennzeichnung der Umweltzonen. Stand: Nov. 2013⁵

⁵ Zum 02.12.2013 trat zusätzlich die Umweltzone Leonberg/Hemmingen in Kraft, die im vorliegenden Gutachten noch keine Berücksichtigung findet

In Abbildung 7-2 ist zusätzlich das Streckenattribut Bebauungssituation (einseitig, beidseitig, ohne) dargestellt. Für die Streckenabschnitte, die eine ein- oder beidseitige Bebauung aufweisen, wurden die Screeningberechnungen durchgeführt. Bei den Straßenabschnitten, an denen die Randbebauung recht weit von der Fahrbahn entfernt liegt oder aber nur vereinzelt Gebäude in größerer Entfernung zur Fahrbahn stehen, sind im Gebäudenahbereich erfahrungsgemäß keine maßgeblichen Immissionskonzentrationen zu erwarten bzw. liegen die Immissionskonzentrationen meist nur unwesentlich über dem Wert für die Hintergrundbelastung. Sie wurden bei den Screening-Berechnungen nicht berücksichtigt.

7.2.2 ERMITTLUNG VON TRANSMISSIONSKOEFFIZIENTEN

Für alle zu untersuchenden Straßenabschnitte innerhalb des Ballungsraums Stuttgart wurden straßenabschnittsfein, unter Berücksichtigung der Bebauungsstruktur, der mittleren Bebauungshöhe und Straßenbreite sowie der Straßenausrichtung gegen Nord für eine Bezugswindgeschwindigkeit und eine Einheitsemission für 30°-Windrichtungen die Transmissionskoeffizienten ermittelt und in einer Datenbank abgelegt.

Ebenfalls in die Datenbank integriert wurden für die einzelnen Szenarien für jeden relevanten Straßenabschnitt die entsprechend Kap. 6 ermittelten Emissionswerte.

Für die einzelnen Szenarien werden unter Berücksichtigung der tatsächlichen meteorologischen Verhältnisse (Windrichtung und Windgeschwindigkeit) und der tatsächlichen Emissionen pro Streckenabschnitt die Immissionskonzentrationen durch Entnormierung der Transmissionskoeffizienten ermittelt. Als Ergebnis erhält man für alle betrachteten Straßenabschnitte streckenabschnittsfeine Immissionszusatzbelastungen infolge des Verkehrs für die einzelnen Szenarien für NO_x und PM10.

7.2.3 UMFANG DER BERECHNUNGEN

Die Immissionsberechnungen mit dem Screening-Modell wurden im Rahmen dieses Teilberichts für die Trendentwicklung 2013 bis 2020, wie in Kap. 3 beschrieben, durchgeführt.

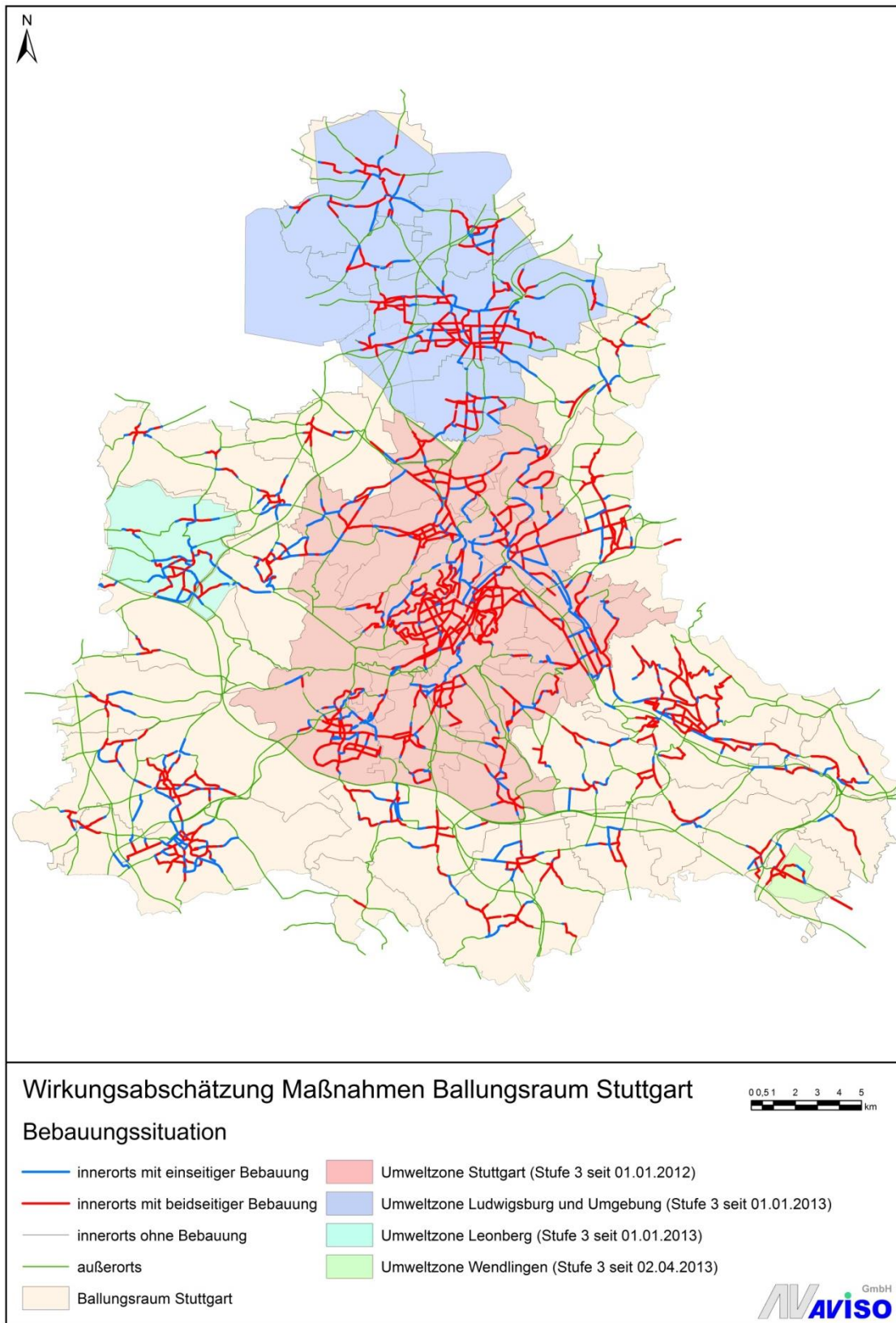


Abbildung 7-2: Untersuchungsgebiet Ballungsraum Stuttgart, Darstellung des Straßennetzes mit Kennzeichnung der Bebauungssituation

8 Bestimmung statistischer Kenngrößen für NO₂ und PM10 für die Netzberechnungen mit dem Screening-Modell

8.1 Beurteilungswerte

Für die Beurteilung der Immissionskonzentrationen von NO₂ und PM10 werden die Grenzwerte der EU-Richtlinie 2008/50/EG herangezogen, die mit der 39. BImSchV [39. BIMSCHV 2010] in deutsches Recht umgesetzt wurde und seit 06.08.2010 in Kraft ist. Die Grenzwerte sind in Tabelle 8-1 zusammengestellt. Wie aus der Tabelle zu entnehmen ist, müssen die Grenzwerte für NO₂ seit Beginn des Jahres 2010 eingehalten werden. Die Grenzwerte für PM10 gelten seit Anfang 2005.

Tabelle 8-1: Lufthygienische Grenzwerte der 39. BImSchV für die verkehrsrelevanten Luftschadstoffe NO₂ und PM10

| Luftschadstoff | Immissionswert | Statistische Definition | Zeitpunkt, seit dem der Grenzwert eingehalten werden muss |
|------------------------|-----------------------|--|---|
| NO₂ | | | |
| | 40 µg/m ³ | Jahresmittelwert (Kalenderjahr) | gültig seit 01.01.2010 |
| | 200 µg/m ³ | Stundenmittelwert, darf bis zu 18 mal im Kalenderjahr überschritten werden | gültig seit 01.01.2010 |
| Partikel (PM10) | | | |
| | 40 µg/m ³ | Jahresmittelwert (Kalenderjahr) | gültig seit 01.01.2005 |
| | 50 µg/m ³ | Tagesmittelwert, darf bis zu 35 mal im Kalenderjahr überschritten werden | gültig seit 01.01.2005 |

Bei den Immissionswerten handelt es sich um Jahresmittelwerte, um Tagesmittelwerte (PM10) und Stundenmittelwerte (NO₂). Die genannten Kurzzeitwerte sind mit einer maximal zulässigen Überschreitungshäufigkeit pro Jahr gekoppelt. Da sie direkt, vor allem für Prognosefälle, nur schwer zu ermitteln sind, werden sie standardmäßig auf Basis der Jahresmittelwerte abgeschätzt (s. Kap. 8.3).

Für die Ermittlung der statistischen Kennwerte der Immissionsgesamtbelastung werden meteorologische Daten und Werte zur Immissionsvorbelastung benötigt. Die Ermittlung dieser Daten wird im Folgenden beschrieben.

8.2 Ermittlung der Jahresmittelwerte

8.2.1 WINDSTATISTIK

Für die Bestimmung der Jahresmittelwerte für NO₂ und PM₁₀ wird eine für das Untersuchungsgebiet repräsentative Windstatistik mit den Parametern Windrichtung und Windgeschwindigkeit benötigt. Durch Gewichtung der für jede Anströmrichtung und Windgeschwindigkeitsklasse bestimmten Immissionszusatzbelastungen gemäß der prozentualen Häufigkeit der entsprechenden Ausbreitungssituation, die in der Windstatistik durch Angabe der Windrichtung und der Windgeschwindigkeit gegeben ist, werden daraus die Jahresmittelwerte bestimmt.

Im Ballungsraum Stuttgart unterscheiden sich die Windverteilungen auf Grund der orographischen Gliederung sowie der differierenden Landnutzung räumlich zum Teil stark. Die lokalen Unterschiede zeigen die Windstatistiken, die von der ARGE IB Rau & METCON im Auftrag der LUBW flächendeckend in einem Raster von 500 x 500 m² für das ganze Land Baden-Württemberg erstellt wurden [BIGALKE, AHRENS, RAU 2008] [BIGLAKE, RAU et al. 2013]. Für die Immissionsberechnungen mit dem Screening-Modell werden gebietsbezogene repräsentative Windrosen benötigt. Bei der Auswahl geeigneter Windverteilungen muss dabei ein Kompromiss zwischen Aufwand und Genauigkeit gefunden werden.

Für den Ballungsraum wurden insgesamt zehn Gebiete abgegrenzt, in denen ähnliche Windverhältnisse erwartet werden. Bei der Auswahl wurden folgende Kriterien berücksichtigt:

- Für ein Gebiet wurde die Windstatistik als Repräsentant gewählt, die eher die großräumigen Verhältnisse in diesem Gebiet wiedergibt und nicht zu stark lokal geprägt ist.
- Des Weiteren wurde eine Windstatistik eines Gebietes aus dem Bereich gewählt, in dem auch möglichst viele zu betrachtende Straßenabschnitte liegen.
- Und schließlich wurde tendenziell im Sinne einer konservativen Abschätzung eher eine Windstatistik mit einem niedrigeren Geschwindigkeitsniveau gewählt.

Die zehn Gebiete mit der Charakteristik der gewählten Windverteilung werden im Folgenden kurz beschrieben.

Gebiet 1 umfasst den Raum Bietigheim-Bissingen im Nordwesten des Ballungsraums. Gewählt wurde eine Verteilung mit Hauptwindrichtungen Westsüdwest bis West und sekundären Maxima aus Nord und Süd. Schwach vertreten sind Winde aus nordwestlichen Richtungen. Die jahresmittlere Windgeschwindigkeit liegt bei 1,9 m/s.

Gebiet 2 ist das südlich angrenzende Gebiet um Ludwigsburg. Die über dem Stadtgebiet von Ludwigsburg gewählte Windstatistik hat eine jahresmittlere Windgeschwindigkeit von 2,2 m/s. Sie zeigt eine recht gleichmäßige Verteilung für Winde aus Südsüdost bis Nordnordwest mit einer leichten Dominanz für Winde aus Südsüdost und West. Eine geringere Auftretenshäufigkeit zeigen die Winde aus Nord bis Südsüdost.

Gebiet 3 umfasst den Raum Bad Cannstatt, Münster und Untertürkheim, östlich des Talkessels von Stuttgart. Dieser Bereich ist geprägt durch die Kanalisierung der Winde im Neckartal. Gewählt wurde eine Windstatistik mit den Hauptwindrichtungen Südsüdost bis Süd bzw. nahezu gleichstark ausgeprägten Winden aus Nordnordwest und einer jahresmittleren Windgeschwindigkeit von 1,6 m/s.

Gebiet 4 umfasst Zuffenhausen, Feuerbach, Weilimdorf, Ditzingen. Gewählt wurde eine Windstatistik im Bereich Feuerbach, die die Verhältnisse für die stärker mit Straßen verdichteten Ortsteile Zuffenhausen und Feuerbach repräsentiert. Die Windstatistik hat eine recht gleichmäßige Verteilung für Winde aus Süd bis Nordwest. Seltener treten Winde aus Nord bis Südost auf. Die jahresgemittelte Windgeschwindigkeit liegt bei 1,8 m/s.

Gebiet 5 steht für den Stuttgarter Talkessel. Innerhalb dieses Gebietes variieren die Windstatistiken sehr kleinräumig. So ist bspw. im Bereich der Gleisanlagen eine deutliche Kanalisierung feststellbar. Gewählt wurde eine Verteilung, die die großräumigen Verhältnisse gut widerspiegelt. Die Windrichtungen von Süd bis Westsüdwest treten ähnlich häufig auf. Schwächer vertreten sind die Winde aus West bis Nordost mit einem Minimum für die Winde aus Nordost und Südost. Die jahresgemittelte Windgeschwindigkeit liegt bei 1,6 m/s.

Gebiet 6 umfasst Leonberg, Gerlingen und Höfingen. Auf Grund der Anzahl der Straßenabschnitte im Bereich Leonberg wurde eine für Leonberg repräsentative Windstatistik gewählt. Sie gibt mit der Hauptwindrichtung Südsüdwest die in diesem Gebiet vorherrschenden Winde aus Süd bis Westsüdwest gut wieder. Die jahresgemittelte Windgeschwindigkeit liegt bei 2,0 m/s.

Gebiet 7 umfasst den Raum Esslingen bis Altbach im Südosten. Hier wurde eine Windstatistik gewählt, die die für dieses Gebiet typische Kanalisierung des Neckartals wiedergibt. Die Hauptwindrichtung ist Westnordwest mit einem fast ebenso häufigen Sekundärmaximum aus Ostsüdost bis Süd. Die jahresmittlere Windgeschwindigkeit ist mit 1,5 m/s recht gering.

Gebiet 8 umfasst die Ostfildern mit den Gemeinden Denkendorf, Nellingen und Wendlingen. Charakteristisch für dieses Gebiet ist eine eher 3-gipflige Windverteilung mit den Hauptwindrichtungen Südsüdwest, Nordnordwest und Ost. Im Bereich von Denkendorf wurde eine solche Verteilung gewählt mit einer jahresmittleren Windgeschwindigkeit von 2,2 m/s.

Gebiet 9 umfasst das westlich an die Ostfildern anschließende Gebiet um Vaihingen, Leinfelden und Möhringen. Die gewählte Verteilung spiegelt die typischen Verhältnisse in diesem Gebiet mit ähnlicher Häufigkeit der Winde aus Süd bis Nordnordost bei leichter Dominanz der Winde aus Südsüdwest wider. Schwach ausgeprägt sind Winde aus Ostnordost bis Südsüdost. Die jahresmittlere Windgeschwindigkeit liegt bei 2,1 m/s.

Gebiet 10 schließlich beschreibt die Verhältnisse im Gebiet um Böblingen. Die gewählte Windstatistik zeigt die Hauptwindrichtung Südsüdwest; die Winde aus Süd bis Nord sind recht gleich verteilt. Schwach ausgeprägt sind Winde aus Nordost bis Südsüdost. Die jahresmittlere Windgeschwindigkeit der gewählten Verteilung liegt bei 2,0 m/s.

8.2.2 HINTERGRUNDBELASTUNG

Die Berechnungen mit dem Screening-Modell liefern als Ergebnis die durch die Verkehrsemissionen verursachten Immissionszusatzbelastungen. Die Immissionsgesamtbelastungen ergeben sich durch Überlagerung der berechneten Zusatzbelastung mit der großflächigen Hintergrundbelastung, die durch Gewerbe, Hausbrand und Industrie sowie die Kfz-Emissionen außerhalb des eigentlichen Untersuchungsgebietes bestimmt wird.

Eine Quelle für charakteristische Werte für die städtische Hintergrundbelastung stellen die Messungen der landesweiten Luftmessstationen dar, die von der LUBW betrieben werden.

Eine weitere Quelle stellen die seit neuestem flächendeckend vorliegenden Immissionsvorbelastungen dar, die von der IVU GmbH [IVU 2014] im Auftrag der LUBW für die gesamte Landesfläche von Baden-Württemberg in einem Raster von 500 x 500 m² berechnet wurden. Die Ergebnisse liegen als so genannter Basisfall für das Bezugsjahr 2010 sowie das Prognosejahr 2020 für die Luftschadstoffe NO₂, PM10 und PM2,5 vor. Der Auftraggeber hat diese Daten für den internen Gebrauch in diesem Projekt zur Verfügung gestellt.

Die Vorbelastung für den Basisfall wurde in der IVU-Studie für das Bezugsjahr 2010 ermittelt. Anlagen, die danach in Betrieb gingen, aber auch Emissionsminderungen, bspw. im Bereich Verkehr oder Hausbrand für spätere Bezugsjahre, sind in diesen Daten noch nicht enthalten.

Die flächendeckend vorliegenden Rasterdaten wurden mit den hier zu betrachtenden Straßenabschnitten überlagert. Dabei wurde aus den Rasterdaten der Rastermittelwert über dem jeweiligen Straßenabschnitt gebildet und diesem Straßenabschnitt als Vorbelastungswert zugeordnet. Der Rasterwert der Vorbelastung wurde dann mit dem mit Hilfe des Screening-Modells ermittelten Jahresmittelwert für den jeweiligen Straßenabschnitt zur Ermittlung der Gesamtbelastung überlagert.

In Absprache mit dem Auftraggeber wurden für den Basisfall 2013 sowie die beiden Trendprognosen 2014 und 2020 die Vorbelastungswerte für das Jahr 2010 zu Grunde gelegt, da alleine die Auswirkungen von emissionsmindernden Maßnahmen der unterschiedlichen Szenarien im Verkehr geprüft werden soll. Zusätzlich wurde noch eine zusätzliche Berechnung für die Trendprognose 2020 unter Berücksichtigung der von IVU für das Jahr 2020 prognostizierten Vorbelastung durchgeführt.

8.2.3 ERMITTLUNG DER JAHRESMITTELWERTE DER GESAMTBELASTUNG

Mit den charakteristischen Werten für die Hintergrundbelastung werden durch Überlagerung mit den berechneten Zusatzbelastungswerten die statistischen Kenngrößen (Jahresmittelwerte für NO₂ und PM10) der Gesamtbelastung zum Vergleich mit den in Tabelle 8-1 gegebenen Grenzwerten berechnet. Die Überlagerung der Vorbelastungswerte mit den Zusatzbelastungswerten erfolgt bei PM10 durch Addition der Jahresmittelwerte. Bei den Stickoxiden wird zusätzlich die NO-NO₂-Konversion berücksichtigt. Die chemische Umwandlung von NO_x nach NO₂ ist äußerst komplex und von einer Reihe von Parametern wie UV-Strahlung, Ozonwert, Temperatur abhängig. Bisher gibt es noch kein hinreichend validiertes Chemiemodell, mit dem die sehr schnelle Umwandlung auf kleinem Raum in bebauten Gebieten genau beschrieben werden kann.

Stand der Technik war es bisher, die Umwandlung mittels des empirischen Modells von Romberg [ROMBERG 1996], welches den NO-NO₂-Umwandlungsgrad als Funktion der NO_x-Gesamtmission beschreibt,

zu bestimmen. Diese empirische Beziehung wurde aus Messdaten Mitte der 90er Jahre abgeleitet. Es ist mittlerweile bekannt, dass sich emissionsseitig das NO-NO₂-Verhältnis verändert hat und vermutlich im Zuge weiterer Verbesserungen bei der Abgastechnik weiter verändern wird. Ein Indiz dafür ist unter anderem, dass in den letzten Jahren Messungen an verkehrsreichen Straßen einen Rückgang bei den NO_x-Immissionen, nicht aber bei den NO₂-Immissionen gezeigt haben. Diese Verschiebung zu einer höheren NO₂-Emission hat auch Auswirkungen auf die Umwandlung von NO_x zu NO₂.

Neuere Untersuchungen zeigen, dass der Romberg-Ansatz die Immissionskonzentrationen für Werte im Bereich des Grenzwertes befriedigend genau wiedergibt. Bei deutlich höheren Konzentrationen werden mit dem Romberg-Ansatz gegenüber Ansätzen mit Berücksichtigung einfacher Chemie niedrigere NO₂-Konzentrationen berechnet. Um diesem Effekt gerecht zu werden, wurde in dieser Untersuchung das NO/NO₂-Konversionsmodell nach Düring [AVISO 2005, DÜRING 2010] eingesetzt, um die NO₂-Immissionen aus den berechneten NO_x-Immissionen zu ermitteln. In dieses Modell gehen neben den NO_x-Immissionen zusätzlich noch das Verhältnis der NO₂/NO_x-Emissionen und die Ozon-Belastung ein, um das sich ändernde NO₂/NO_x-Verhältnis der Abgasemissionen und dessen Wirkung auf die quellenahen NO₂-Konzentrationen explizit zu berücksichtigen.

8.3 Abschätzung der Kurzzeitwerte der Gesamtbelastung

Die Überschreitung der Kurzzeitwerte für NO₂ und PM10 wird aus den berechneten Jahresmittelwerten nach Stand der Technik abgeschätzt. Da die Bestimmung dieser Kurzzeitwerte mit Modellrechnungen sehr aufwändig und schwierig ist, werden i. d. R. Aussagen zu diesen Werten mit Hilfe von statistischen Verfahren aus anderen Kenngrößen abgeleitet.

So wird der 90,4 %-Wert für PM10 auf der Basis des Jahresmittelwertes abgeschätzt. Die Auswertung umfangreicher Messungen von kontinuierlich betriebenen Dauermessstellen zeigt einen nahezu linearen Zusammenhang zwischen dem 90,4 %-Wert der Tagesmittelwerte und dem Jahresmittelwert. Legt man die Ergebnisse dieser Studien zugrunde, dann ist bezogen auf den Grenzwert für den Tagesmittelwert von 50 µg/m³ (der nicht mehr als 35-mal im Jahr überschritten werden darf) bei einem Jahresmittelwert von bis zu 30 µg/m³ mit hoher Wahrscheinlichkeit mit einer Unterschreitung und bei einem Jahresmittelwert über 30 µg/m³ mit hoher Wahrscheinlichkeit mit einer Überschreitung zu rechnen. Entsprechend wird für PM10 der „Äquivalenzwert“ zur Beurteilung des Tagesgrenzwertes auf 30 µg/m³ festgelegt. Abbildung 8-1 aus [LUBW 2011] zeigt den Zusammenhang zwischen Überschreitung der Kurzzeitwerte und Jahresmittel, basierend auf Messungen in Baden-Württemberg.

Der 99,8 %-Wert für NO₂ (Stundenmittelwert, der nicht mehr als 18 Mal pro Jahr überschritten werden darf) wird ebenfalls auf der Basis des Jahresmittelwertes beurteilt. Messergebnisse an vielen bundesweiten Dauermessstellen an stark verkehrsbelasteten Straßen der letzten Jahre zeigen, dass die maximal zulässigen 18 Überschreitungen des Stundengrenzwertes für NO₂ mit hoher Wahrscheinlichkeit dann eingehalten werden, wenn der Jahresmittelwert unter 65 bis 70 µg/m³ liegt. Der Zusammenhang ist in Abbildung 8-2 dargestellt. Entsprechend wird der Äquivalenzwert konservativ auf 65 µg/m³ festgelegt.

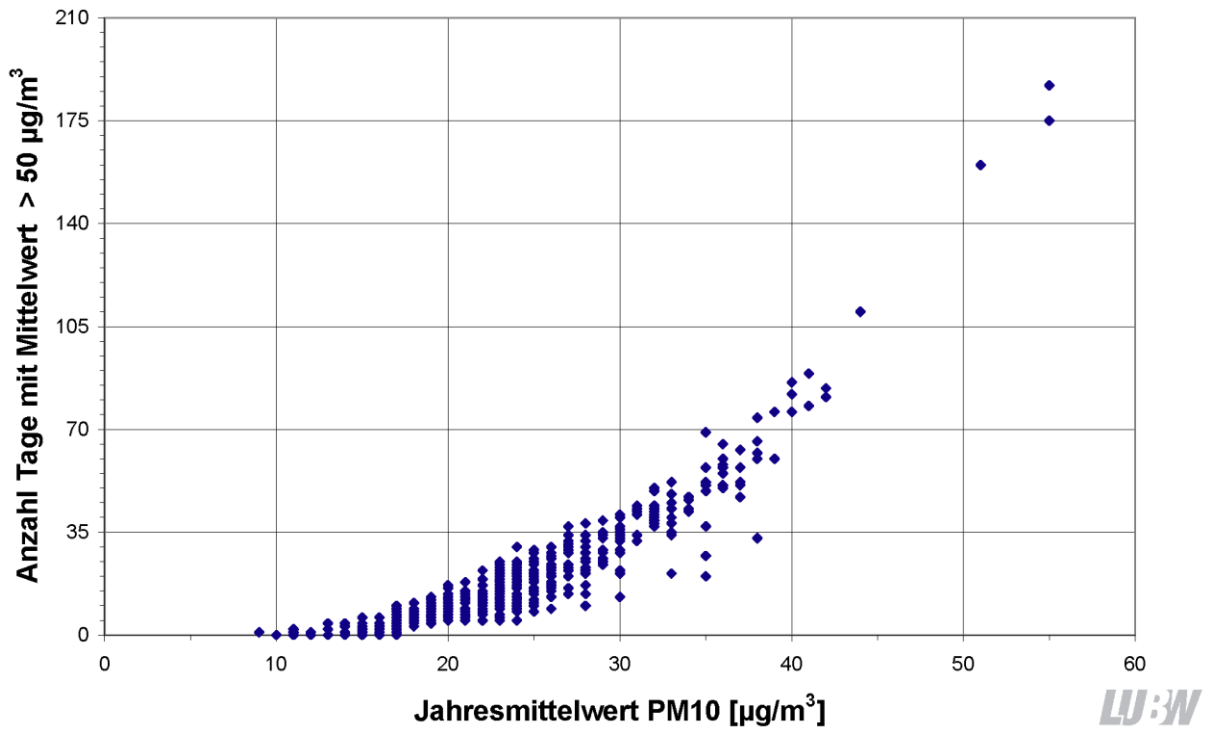


Abbildung 8-1: Zusammenhang zwischen PM10-Jahresmittelwerten und Tagesgrenzwertüberschreitungen in Baden-Württemberg im Zeitraum 2000 bis 2008 (aus [LUBW 2011])

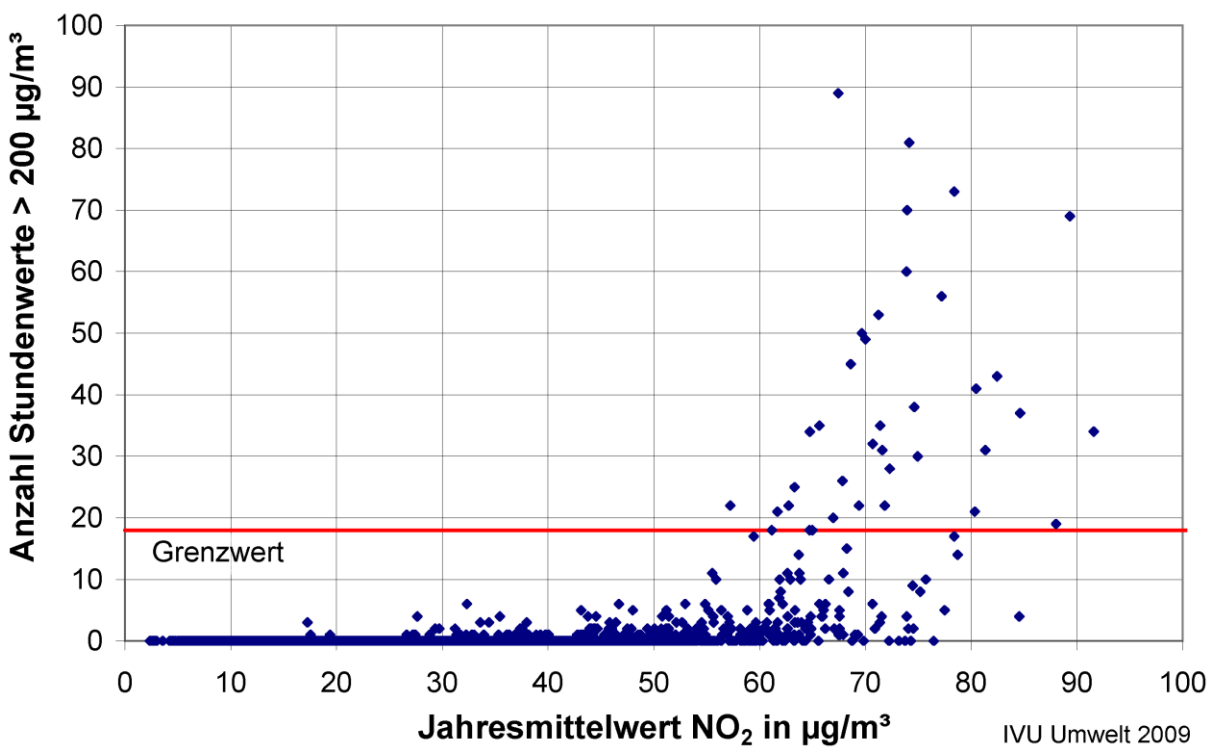


Abbildung 8-2: Zusammenhang zwischen Anzahl von NO₂-Stundenmittelwerten größer als 200 µg/m³ und NO₂-Jahresmittelwerten in Deutschland im Zeitraum 2001 bis 2008, dargestellt bis 100 Überschreitungsstunden (aus [LUBW 2011])

9 Ergebnisse der Immissionsberechnungen

9.1 Darstellung der Ergebnisse

Mit dem Screening-Modell ISIS wurden unter Berücksichtigung der Emissionen, der Hintergrundbelastung für das Bezugsjahr 2010 bzw. 2020 und für einzelne Gebiete charakteristischer Windstatistiken für die in Kap. 3 vorgestellten Fälle NO₂- und PM₁₀-Jahresmittelwerte der Gesamtbelastung berechnet. Die Immissionskonzentrationen für die einzelnen Straßenabschnitte wurden bei beidseitiger Bebauung auf jeder Straßenseite im Bereich der Randbebauung, bei einseitiger Bebauung auf der unbebauten Seite im Gehwegbereich, auf der bebauten Seite im Bereich der Randbebauung berechnet. Als Ergebnis werden im Sinne einer konservativen Abschätzung im Folgenden die mittleren Immissionskonzentrationen auf der jeweils stärker belasteten Straßenseite angegeben.

Um das Gesamtergebnis für alle fast 3000 untersuchten Streckenabschnitte (vgl. Kap. 7.2.1) und die insgesamt vier Szenarien fassbar zu gestalten, wurden die berechneten Werte für die Immissionsgesamtbelastung eines Streckenabschnitts mit der jeweiligen Länge des Streckenabschnitts verknüpft. Ermittelt wurden die Summen der Streckenlängen, bei denen bestimmte Schwellenwerte der Immissionsgesamtbelastung für NO₂ und PM₁₀ überschritten werden.

Bei der Interpretation ist zu beachten, dass bei sehr langen Straßenabschnitten mit unverändertem Verkehr und unveränderter Emission (entspricht einer ID-Nummer) die Immissionsberechnungen für den bezüglich der Ausbreitungsbedingungen eher kritischen Bauabschnitt, der gegebenenfalls nur eine begrenzte Länge des jeweiligen Straßenabschnitts ausmacht, gelten. Berücksichtigt wurde jedoch der gesamte Streckenabschnitt.

9.2 Ballungsraum Stuttgart

Die Ergebnisse nach dem in Kap. 9.1 erläuterten Auswerteverfahren sind für NO₂ und PM₁₀ im Ballungsraum Stuttgart in Abbildung 9-1 dargestellt.

Abbildung 9-1 zeigt, dass im Basisfall 2013 auf einer Streckenlänge von insgesamt über 180 km bei einer Gesamtstreckenlänge von etwa 710 km (das entspricht ca. 25 % des gesamten Streckennetzes) die mittels dem Screening-Modell berechneten NO₂-Immissionskonzentrationen über dem zulässigen NO₂-Grenzwert für das Jahresmittel von 40 µg/m³ liegen. Dabei ist die Grafik so zu lesen, dass auf ca. 140 km die Immissionskonzentrationen zwischen 40 µg/m³ und unter 50 µg/m³ liegen, auf 31 km zwischen 50 µg/m³ und 65 µg/m³ und auf 8 km über 65 µg/m³. Auf 8 km Streckenlänge liegen somit die berechneten NO₂-Konzentrationen über dem in Kapitel 8.3 definierten Schwellenwert für den NO₂-Kurzzeitwert.

Bei dem Trendfall 2014 (iNO2D_2014) ist nur eine geringfügige Minderung (1,4 km Streckenlänge) für Immissionskonzentrationen über 40 µg/m³ gegenüber dem Basisfall (iNO2D_2013) zu erwarten. Für den Trendfall 2020 (iNO2_2020b) ergibt sich, basierend auf der Vorbelastung für das Jahr 2010, eine deutliche Minderung bei den höheren NO₂-Immissionskonzentrationen. Gegenüber dem Basiszenario 2013, bei dem auf ca. 180 km Länge die berechneten Immissionskonzentrationen über dem zulässigen Immissionsgrenzwert für das Jahresmittel liegen, reduziert sich die Gesamtlänge mit Überschreitung des Immissionsgrenzwertes für Szenario 2020b auf knapp 100 km, entsprechend einer Reduktion um etwa 44 %. Berücksichtigt

man zusätzlich die prognostizierte Vorbelastung für das Jahr 2020 (iNO2D_2020*), reduziert sich die Streckenlänge mit Immissionskonzentrationen über $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel auf 14,4 km.

Bei PM10 unterscheiden sich der Basisfall und die beiden Trendfälle, bezogen auf die Immissionskonzentrationen über dem Jahreshgrenzwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nicht. In allen drei Fällen liegt die Streckenlänge mit Konzentrationen größer $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ bei lediglich 1,7 km. Berücksichtigt man die Vorbelastung für das Jahr 2020, dann reduziert sich diese Streckenlänge geringfügig auf 1,3 km (s. Abbildung 9-1). Die Berechnungen zeigen allerdings eine Überschreitung des Schwellenwertes von $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$, bei der mit hoher Wahrscheinlichkeit die maximal zulässigen 35 Überschreitungen des Tagesmittelwertes von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ nicht eingehalten werden können, im Basisfall (iPM10_2013) auf einer Streckenlänge von 12,3 km, für die Trendfälle 2014 (iPM10_2014) und 2020 (iPM10_2020), basierend auf der Vorbelastung für das Jahr 2010, von 11,4 bzw. 10,6 km. Für den Trendfall 2020 mit Vorbelastung für ebenfalls 2020 (iPM10_2020*) reduziert sich diese Streckenlänge auf 2,7 km.

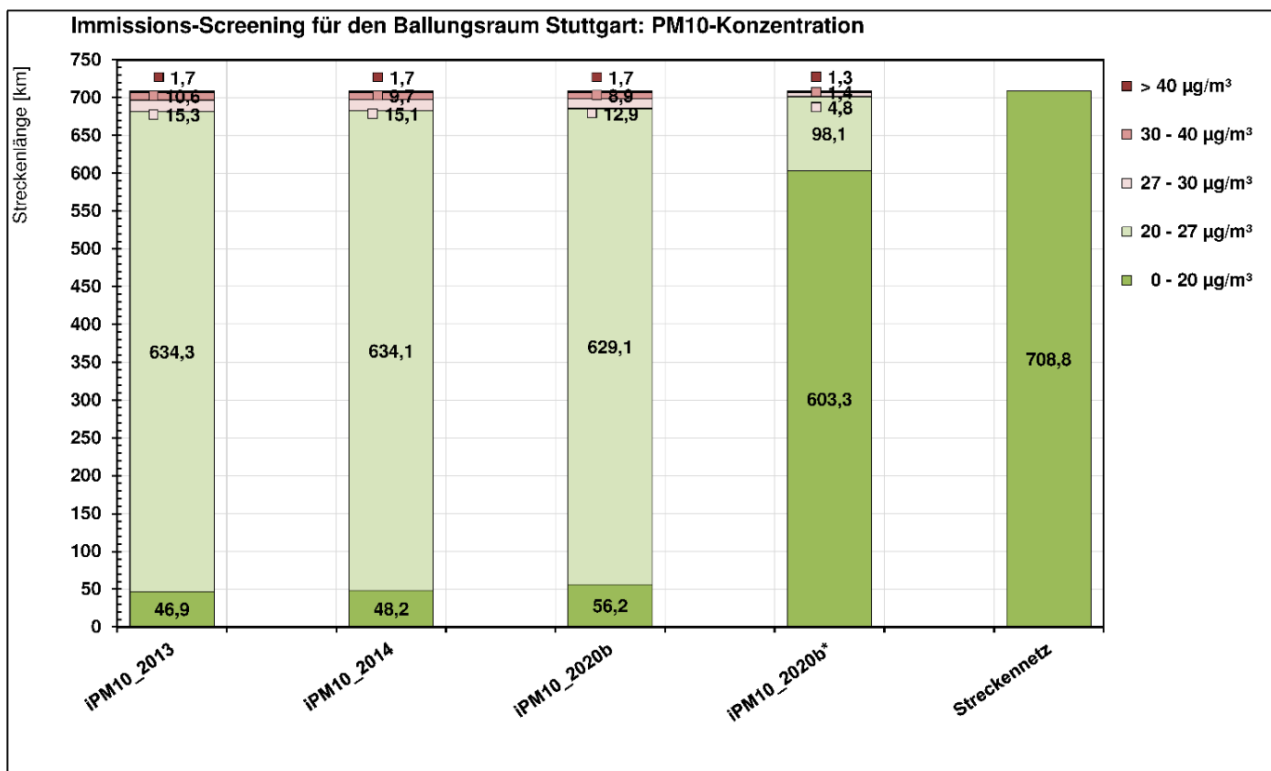
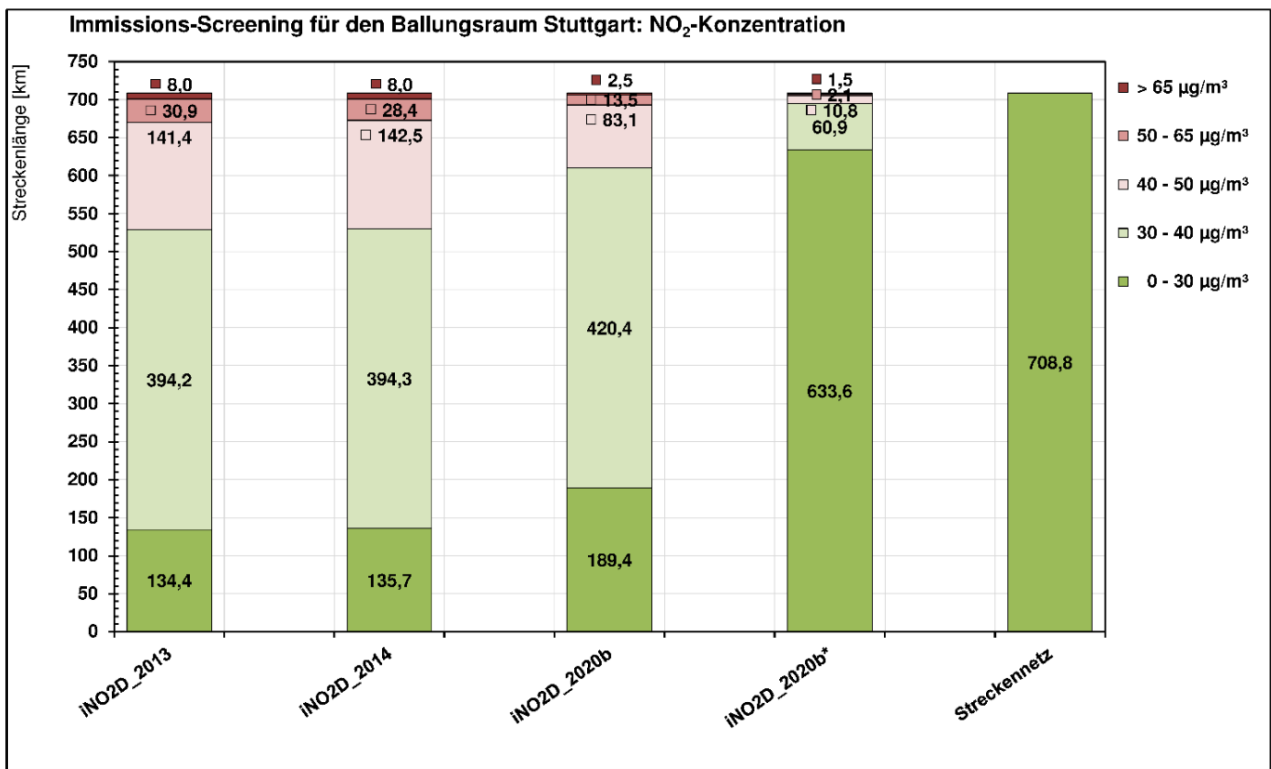


Abbildung 9-1: Aufsummierte Streckenlängen für das Basisjahr und die betrachteten Trendprognosen 2014 bis 2020 für unterschiedliche Immissionskonzentrationsbereiche von NO₂ (oben) und PM10 (unten), Ballungsraum Stuttgart (Vorbelastung 2010, außer: * = Vorbelastung 2020)

9.3 Stadtgebiet Stuttgart

Analog zu den Auswertungen für den gesamten Ballungsraum Stuttgart wurden entsprechende Auswertungen für das Stadtgebiet Stuttgart durchgeführt (vgl. Abbildung 9-2).

Abbildung 9-2 zeigt, dass im Basisfall 2013 auf einer Streckenlänge von insgesamt fast 100 km bei einer Gesamtstreckenlänge von etwa 300 km (das entspricht ca. 33 %) die mittels dem Screening-Modell berechneten NO₂-Immissionskonzentrationen über dem zulässigen NO₂-Grenzwert für das Jahresmittel von 40 µg/m³ liegen. Auf über 6 km Streckenlänge wird dabei der in Kapitel 8.3 definierte Schwellenwert für den NO₂-Kurzzeitwert erreicht oder überschritten.

Bei dem Trendfall 2014 ist keine Änderung für Immissionskonzentrationen über 40 µg/m³ im Vergleich zum Basisfall zu erwarten. Für den Trendfall 2020 (Vorbelastung 2010) ergibt sich für das Stadtgebiet von Stuttgart eine deutliche Minderung bei den höheren NO₂-Immissionskonzentrationen. Gegenüber dem Basisszenario 2013 und dem Trendfall 2014, bei denen die berechneten Immissionskonzentrationen auf ca. 100 km Länge über dem zulässigen Immissionsgrenzwert für das Jahresmittel liegen, reduziert sich die Gesamtlänge mit Überschreitung des Grenzwertes für Szenario 2020b auf ca. 61 km, entsprechend einer Reduktion von ca. 40 %. Bei Ansatz der Vorbelastung für das Jahr 2020 liegen die Immissionskonzentrationen nur noch auf einer Streckenlänge von 11 km über 40 µg/m³.

Bei PM₁₀ unterscheiden sich der Basisfall und die beiden Trendfälle, bezogen auf die Immissionskonzentrationen über dem Jahresgrenzwert von 40 µg/m³, nicht. In allen drei Fällen liegt die Streckenlänge mit Konzentrationen größer 40 µg/m³ bei lediglich 1,7 km, identisch zu den Ergebnissen für den Ballungsraum Stuttgart. Berücksichtigt man die Vorbelastung für das Jahr 2020, dann reduziert sich diese Streckenlänge geringfügig auf 1,3 km (s. Abbildung 9-2). Die Berechnungen zeigen allerdings eine Überschreitung des Schwellenwertes von 30 µg/m³, bei der mit hoher Wahrscheinlichkeit die maximal zulässigen 35 Überschreitungen des Tagesmittelwertes von 50 µg/m³ nicht eingehalten werden können, im Basisfall auf einer Streckenlänge von 9,1 km, für die Trendfälle 2014 und 2020, basierend auf der Vorbelastung für das Jahr 2010, von 8,3 bzw. 7,7 km. Für den Trendfall 2020 mit Vorbelastung für ebenfalls 2020 reduziert sich diese Streckenlänge auf 2,7 km.

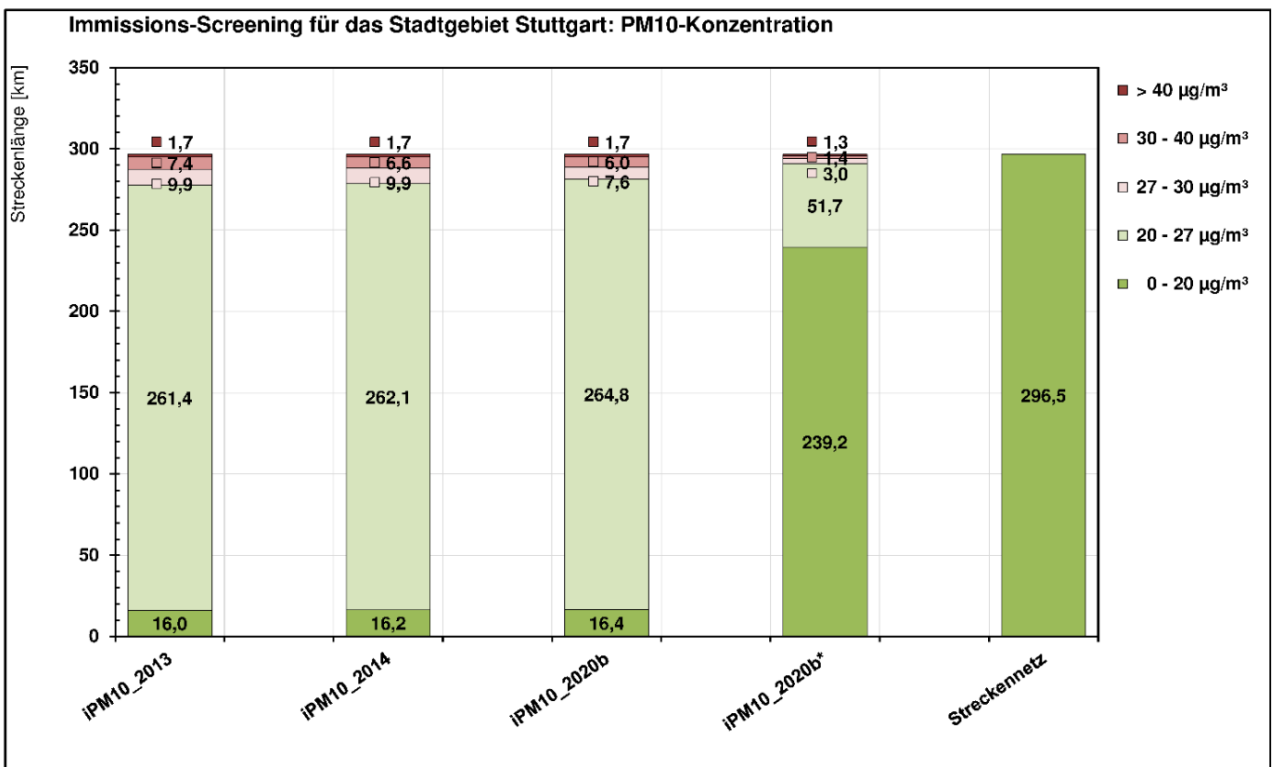
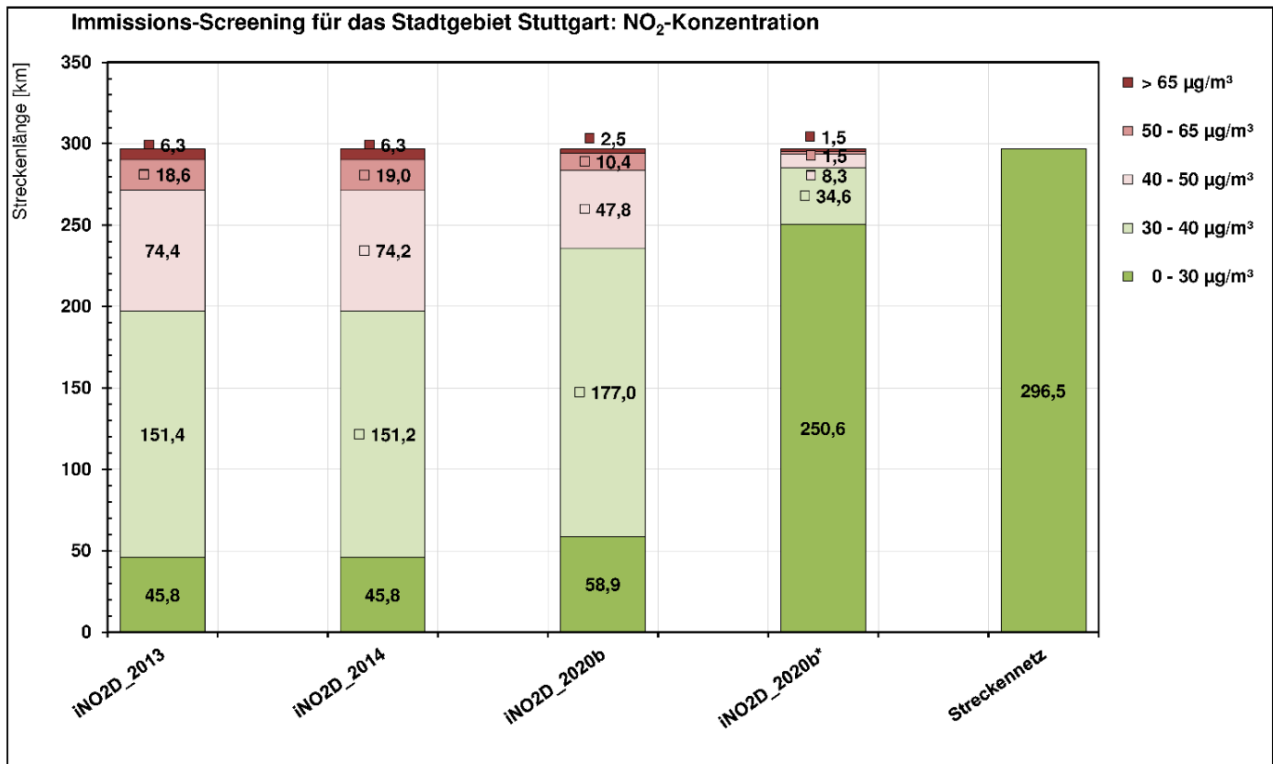


Abbildung 9-2: Aufsummierte Streckenlängen für das Basisjahr und die betrachteten Trendprognosen 2014 bis 2020 für unterschiedliche Immissionskonzentrationsbereiche von NO₂ (oben) und PM10 (unten), Stadtgebiet Stuttgart (Vorbelastung 2010, außer: * = Vorbelastung 2020)

10 Detailbetrachtung Am Neckartor

10.1 Emissionen

Einen der höchstbelasteten Hotspots in Stuttgart stellt die Messstelle Am Neckartor dar. Für diesen Streckenabschnitt wurde zusätzlich eine ergänzende Detailbetrachtung durchgeführt.

Hierzu wurden in einem ersten Schritt die Eingangsdaten der Emissionsberechnung überprüft und an aktuellere Daten angepasst [LUBW 2013]. Standardmäßig werden die Emissionen differenziert nach den Fahrzeuggruppen Pkw, leichte Nutzfahrzeuge (INfz) und schwere Nutzfahrzeuge (sNfz) berechnet. Hier wurden zusätzlich die Beiträge der Pkw differenziert nach Diesel-Pkw und Otto-Pkw ermittelt.

Die Ergebnisse der Emissionsberechnungen für den Hotspot Am Neckartor sind in Abbildung 10-1 bis Abbildung 10-3 dargestellt, differenziert nach den Beiträgen der einzelnen Fahrzeuggruppen. In der Trendentwicklung ergeben sich von 2013 bis 2020 (Szenario 2020b) Emissionsminderungen von -42 % für NO_x, -49 % für PM10-Abgas und -9 % für PM10-Gesamt. Der Anteil der Diesel-Pkw an der Pkw-Flotte liegt im Bezugsjahr 2014 bei 45%, ihr Beitrag zu den gesamten NO_x-Emissionen bei über 50 % (vgl. Tabelle 10-1). Im Bezugsjahr 2020 liegt der Anteil der Diesel-Pkw bei 53%, der Beitrag der Diesel-Pkw liegt im Bezugsjahr 2020 bei 64 % und damit etwas höher als im Bezugsjahr 2014. Der Beitrag der Diesel-Pkw zu den PM10-Gesamt-Emissionen liegt im Bezugsjahr 2014 bei ca. 40 % und im Bezugsjahr 2020 bei 45 %.

Tabelle 10-1: Flotten- und Emissionsanteile von Diesel-Pkw in Stuttgart Am Neckartor

| | Pkw-Flotte | Kfz-Flotte | Anteil Diesel-Pkw an... | | |
|--------------|------------|------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | NO _x -Emissionen | PM10-Abgas-Emissionen | PM10-Gesamtemissionen |
| 2013 | 42,9 % | 39,6 % | 48,2 % | 53,6 % | 38,5 % |
| 2014 | 45,0 % | 41,5 % | 52,1 % | 55,4 % | 40,0 % |
| 2020b | 52,6 % | 48,4 % | 64,0 % | 64,3 % | 45,4 % |

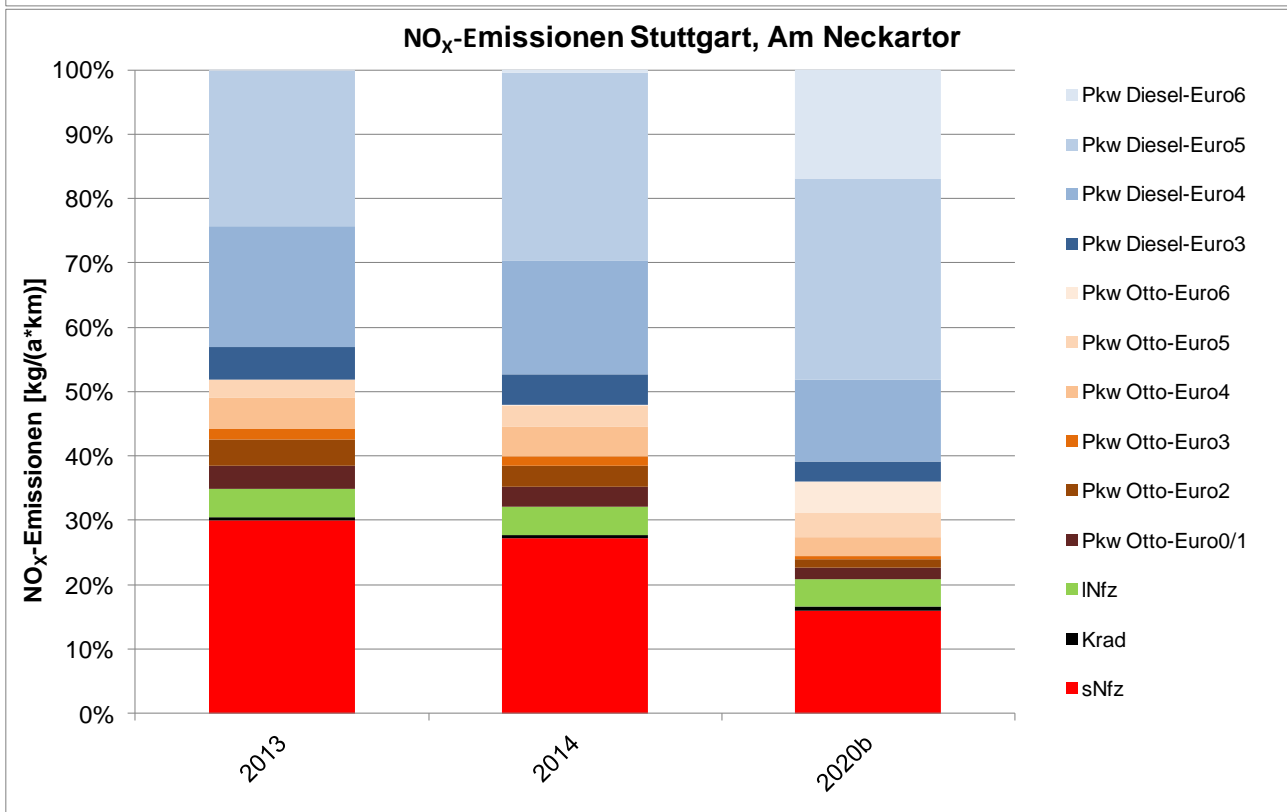
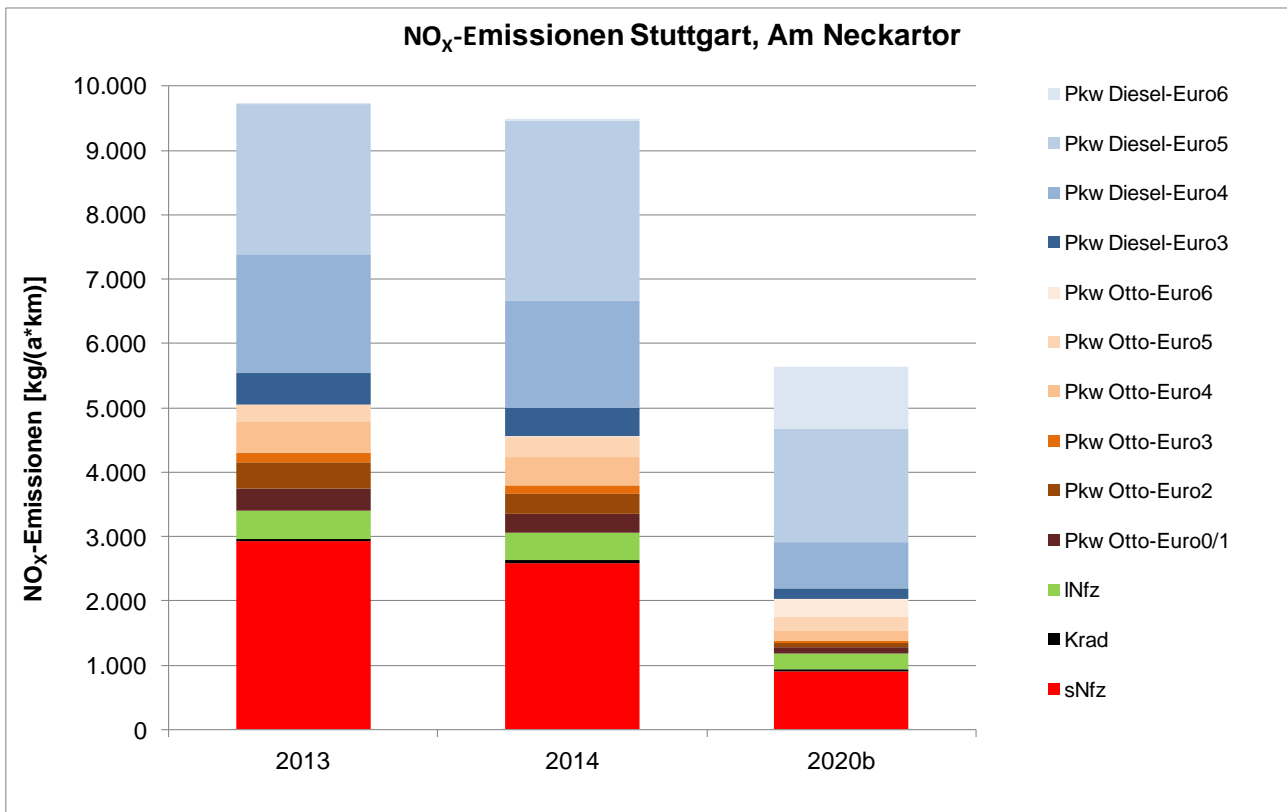


Abbildung 10-1: NO_x-Emissionen (oben) und Beiträge zu den NO_x-Emissionen (unten) des Straßenverkehrs am Hot-spot Am Neckartor für die betrachteten Trendprognosen 2014 und 2020 (Erläuterung der Kürzel siehe Kap. 3), differenziert nach Fahrzeuggruppen und bei den Pkw zusätzlich nach Diesel, Otto und Emissionskonzept

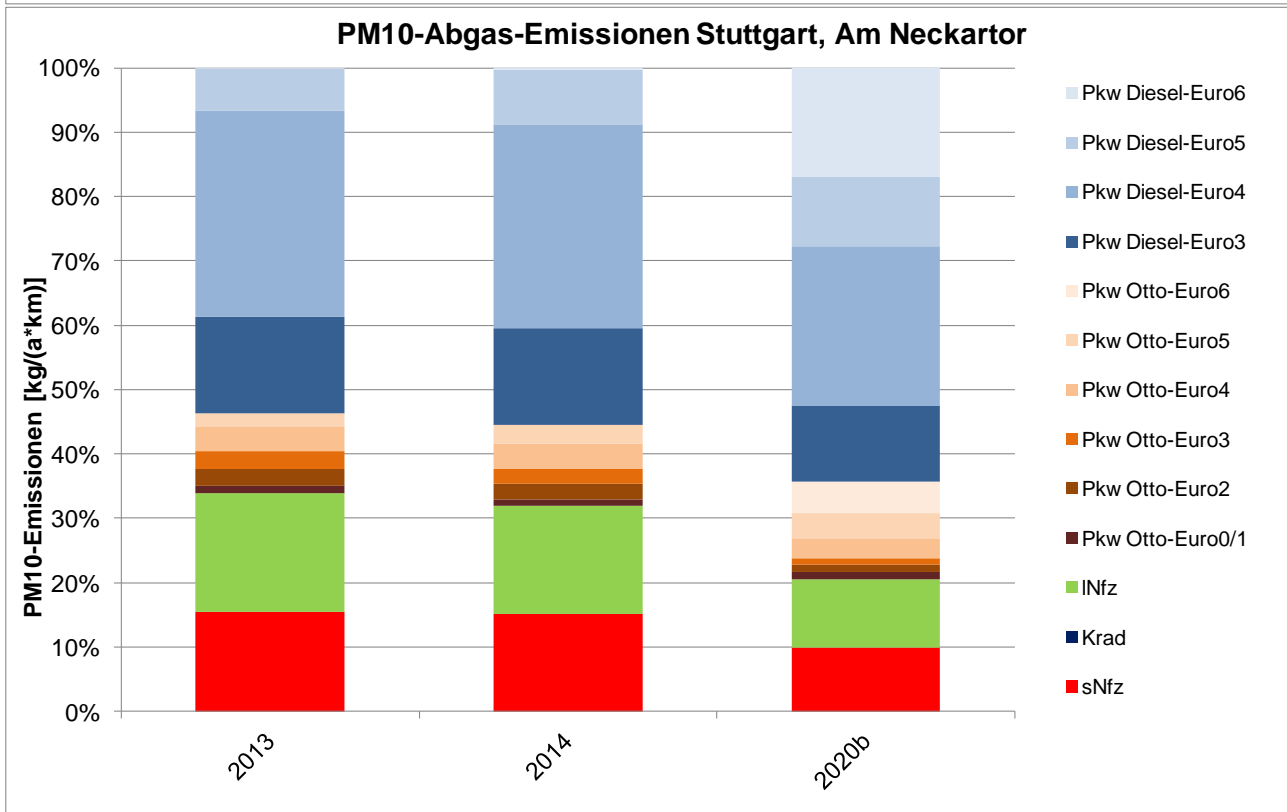
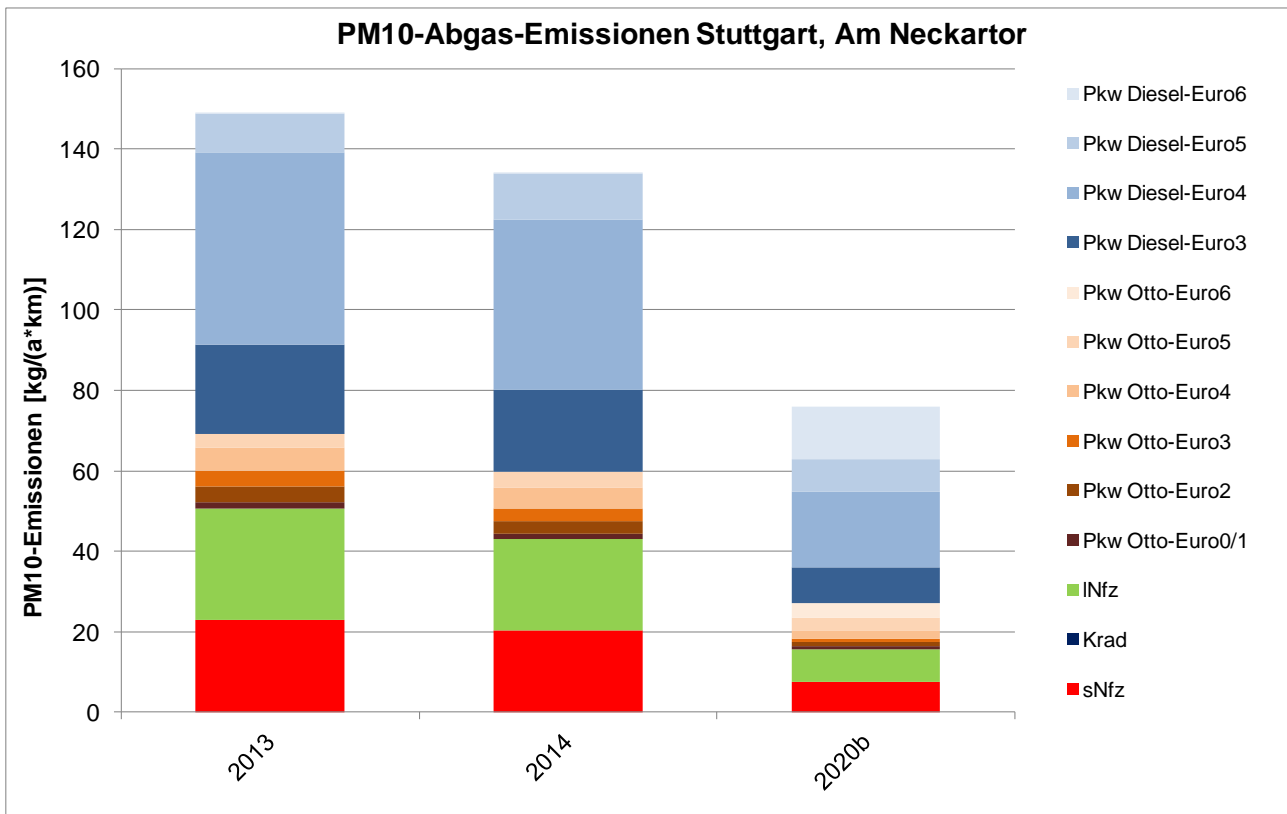


Abbildung 10-2: PM10-Abgas-Emissionen (oben) und Beiträge zu den PM10-Abgas-Emissionen (unten) des Straßenverkehrs am Hotspot Am Neckartor für alle betrachteten Szenarien 2013 bis 2020 (Erläuterung der Kürzel siehe Kap. 3), differenziert nach Fahrzeuggruppen und bei den Pkw zusätzlich nach Diesel, Otto und Emissionskonzept

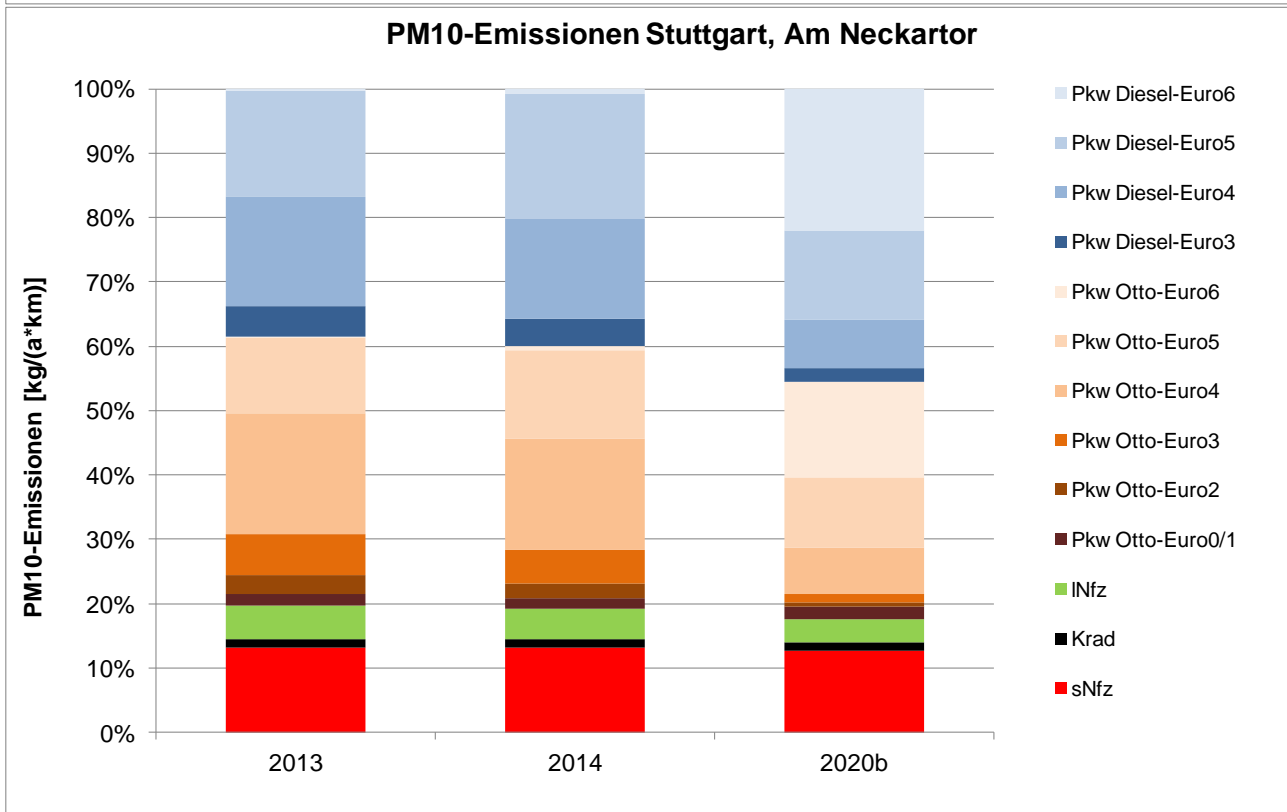
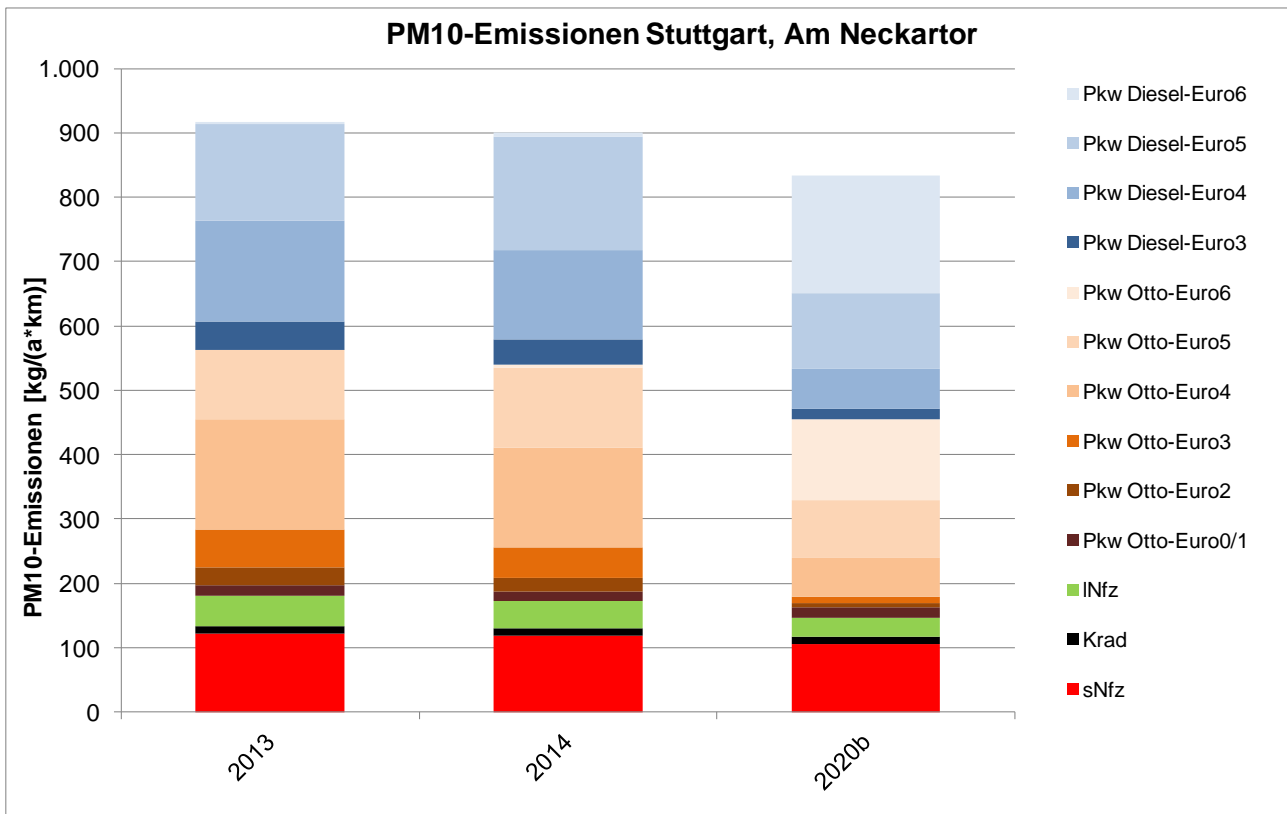


Abbildung 10-3: PM10-Gesamt-Emissionen (oben) und Beiträge zu den PM10-Gesamt-Emissionen (unten) des Straßenverkehrs am Hotspot Am Neckartor für die betrachteten Trendprognosen 2014 und 2020 (Erläuterung der Kürzel siehe Kap. 3), differenziert nach Fahrzeuggruppen und bei den Pkw zusätzlich nach Diesel, Otto und Emissionskonzept

10.2 Immissionen

Im Weiteren wurde im Rahmen einer Screening-Betrachtung ausgehend von gemessenen Jahreskonzentrationen an der Messstelle Am Neckartor und unter Berücksichtigung der charakteristischen Hintergrundbelastung zunächst die straßenverkehrsbedingte Zusatzbelastung für das Basisjahr 2013 abgeleitet. Außerdem wurden die NO₂- und PM10-Immissionsbelastungen für die Trendprognosen 2014 und 2020 ermittelt. Es wurde davon ausgegangen, dass die emissionsseitigen Änderungen an diesem Straßenabschnitt sich direkt in der verkehrsbedingten Immissionszusatzbelastung wiederfinden (Screening-Betrachtung). Es wurden die entsprechend berechneten verkehrsbedingten Zusatzbelastungen für 2014 und 2020 unter Berücksichtigung der Hintergrundbelastung (gemäß Kap. 8.2) zur Gesamtbelastung zusammengefasst. Ebenso wurde die NO/NO₂-Konversion analog zu Kap. 8.2 berücksichtigt. Die Hintergrundbelastung für das Jahr 2013 liegt für den Streckenabschnitt Am Neckartor für NO₂ bei 35 µg/m³ und für PM10 bei 24 µg/m³, diese wurde auch für die Berechnung für 2020 angesetzt. Zusätzlich wurde für 2020 eine Berechnung mit einer geminderten Hintergrundbelastung von 25 µg/m³ für NO₂ bzw. 20 µg/m³ für PM10 durchgeführt (vgl. Kap. 8.2.2).

Die Ergebnisse der Immissionsermittlungen finden sich in Abbildung 10-4. Für die verkehrsbedingte Zusatzbelastung wird in der Trendentwicklung eine Minderung bis 2020 von knapp 20 µg/m³ prognostiziert (bei konstanter Hintergrundbelastung), für PM10 von 2 µg/m³. Bei reduzierter Hintergrundbelastung in 2020 ergeben sich im Vergleich zu 2013 Minderungen der Jahresmittelwerte von 29 µg/m³ für NO₂ bzw. 6 µg/m³ für PM10. Damit wird auch für 2020 sowohl für NO₂ als auch für PM10 noch keine Einhaltung des Grenzwertes (40 µg/m³ für das Jahresmittel NO₂) bzw. Äquivalenzwertes (30 µg/m³ für PM10) prognostiziert.

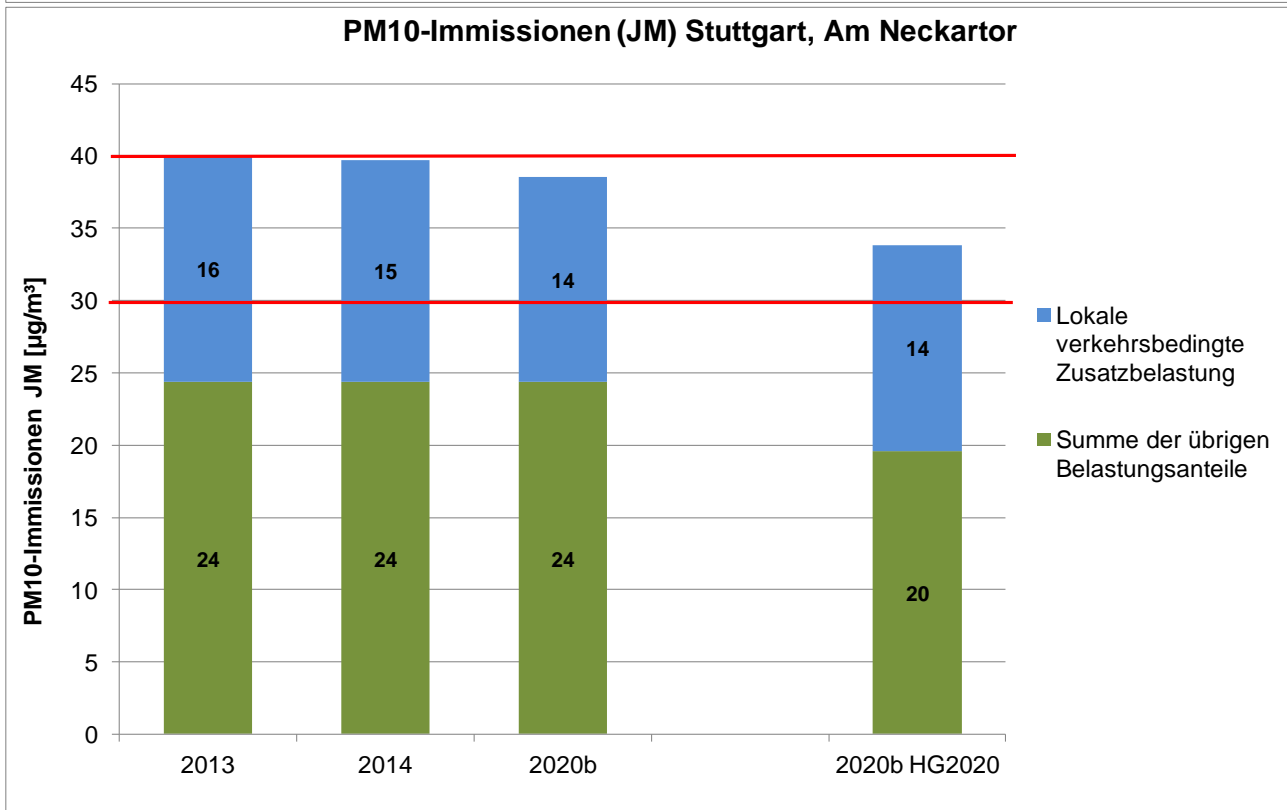
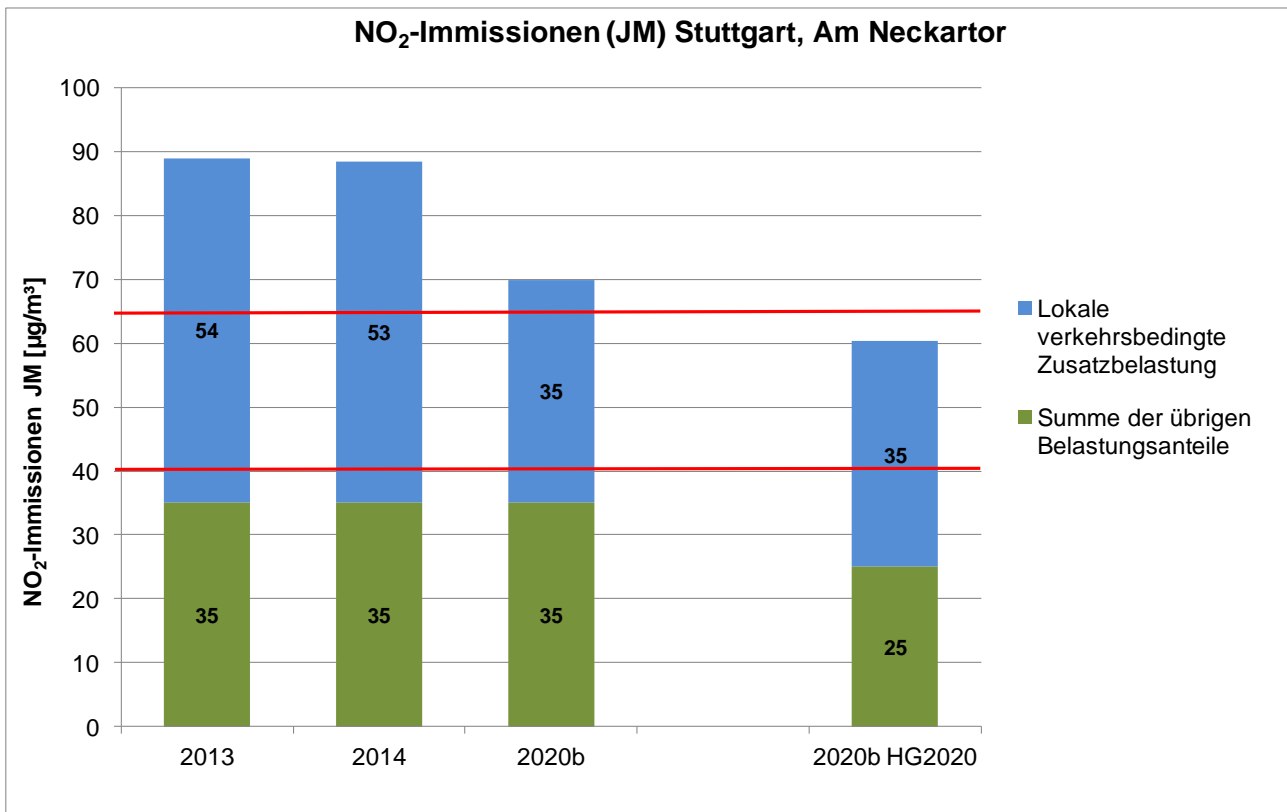


Abbildung 10-4: Jahresmittelwerte der NO₂- (oben) und PM10-Immissionen (unten) für den Hotspot Am Neckartor für alle Szenarien 2014 und 2020 (Erläuterungen der Kürzel siehe Kap. 3)

Literatur

[AVISO 2005]

Auswertung von Luftmessdaten nach der Methode Carslaw und Beevers zur Analyse des NO₂/NO_x-Anteils der Verkehrsemissionen an Verkehrsstationen; im Auftrag der LfU Baden-Württemberg, AVISO GmbH, Aachen, 2005

[AVISO 2013]

Einarbeitung der Ergebnisse der SVZ2010 in das Landesemissionskataster Straßenverkehr Baden-Württemberg; im Auftrag der LUBW, AVISO GmbH, Aachen, April 2013

[AVISO 2014]

Aktualisierung des Moduls zur Berechnung der Emissionen durch Abrieb und Aufwirbelung in *roadT-EIM* auf Basis einer Literaturrecherche; im Auftrag der LUBW, AVISO GmbH, Aachen, März 2014

[BANGERT 1996]

EDV-gestütztes Screening-Modell für unterschiedliche Verkehrsstandorte in Sachsen, Abschlussbericht; s.l. Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, Radebeul, 1996

[BIGALKE, RAU, AHRENS 2008]

Synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken zur Verwendung in Immissionsprognosen; Gefahrstoffe Reinhaltung der Luft 7/8-2008, Seite 326-333, Bigalke, K.; Ahrens, D.; Rau, M.

[BIGALKE, RAU ET AL 2013]

Dokumentation Synthetische Ausbreitungsklassenstatistiken SynAKS für Deutschland, Berechnung – Qualitätssicherung – Anwendung (Version 1.1); www.metsoft.de, METCON Umweltmeteorologische Beratung, Dr. Klaus Bigalke, Pinneberg, Ingenieurbüro Matthias Rau, Heilbronn, Oktober 2013

[DZSBW 2013]

Automatische Straßenverkehrszählungen in Baden-Württemberg, Ergebnisse Januar – Dezember 2013, 2012, 2011 und 2010; Herausgeber: Regierungspräsidium Tübingen - Landesstelle für Straßentechnik, Bearbeitung: Büro für angewandte Statistik, Aachen

[DÜRING 2010]

Tendenzen der NO₂-Belastung im Land Brandenburg von 1997 bis 2020; Immissionsschutz 3/2010, S. 118-123, Dr. I. Düring, et al.

[DIW 2010]

Verkehr in Zahlen 2009/2010; DIW Berlin

[EICHHORN 1989]

Entwicklung und Anwendung eines dreidimensionalen, mikroskaligen Stadtklimamodells; Dissertation zur Erlangung des Grades „Doktor der Naturwissenschaften“ im Fachbereich Physik der Johannes Gutenberg-Universität Mainz, J. Eichhorn, Mainz, 1989

[HBEFA 2010]

HBEFA Version 3.1; www.hbefa.de

[IVU 2014]

Flächendeckende Ermittlung der Immissions-Vorbelastung für Baden-Württemberg 2010, Ausbreitungsrechnungen unter Verwendung des landesweiten Emissionskatasters und unter Berücksichtigung von gemessenen Immissionsdaten; im Auftrag der LUBW, IVU Umwelt GmbH, Freiburg, 2014; www.lubw.de/servlet/is/242644

[KBA 2012]

Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken, 1. Januar 2012, Statistische Mitteilungen des Kraftfahrtbundesamtes FZ1

[KBA 2013]

Bestand an Kraftfahrzeugen und Kraftfahrzeuganhängern nach Zulassungsbezirken, 1. Januar 2013, Statistische Mitteilungen des Kraftfahrtbundesamtes FZ1

[LUBW 2010]

Festlegung der Ballungsräume und Einstufung der Gebiete und Ballungsräume nach § 9 Abs. 2 der 22. BImSchV im Jahr 2008; LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, Dezember 2010

[LUBW 2011]

Leitfaden: Modellierung verkehrsbedingter Immissionen – Anforderungen an die Eingangsdaten – Grundlage HBEFA 3.1, Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, 2011

[LUBW 2013]

Verkehrsstärken an ausgewählten Verkehrs- und Spotmessstellen, Auswertungen 2012; Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, Dezember 2013

[ROMBERG 1996]

NO-Umwandlungsmodell für die Anwendung bei Immissionsprognosen für KFZ-Abgase, Gefahrstoffe - Reinhaltung der Luft 56, S. 215-218

[SSB 2013]

Geschäftsbericht 2013, Stuttgarter Straßenbahn AG

[ST 2012]

Berufspendler Stadt Stuttgart, www.stuttgart.de/item/show/56295

[ST 2003]

Berufseinpendler nach Stuttgart 1996 und 2002, www.stuttgart.de/item/show/305805/1/publ/14192

[STALA 2012]

Arbeitsplatzangebot und Pendlerverhalten 2012, Statistisches Landesamt Baden-Württemberg

[VDV 2012]

VDV Die Verkehrsunternehmen 2012, Statistik

[VVS 2013]

Das Mobilitätsverhalten im Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart; Verkehrs- und Tarifverbund Stuttgart GmbH (VVS), Stuttgart

[VDI 3783]

VDI 3783 Blatt 14: Umweltmeteorologie – Qualitätssicherung in der Immissionsberechnung – Kraftfahrzeugbedingte Immissionen; Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN-Normenausschuss KRdL

[39. BIMSCHV 2010]

Neununddreißigste Verordnung zur Durchführung des Bundesimmissionsschutzgesetzes. Verordnung über Luftqualitätsstandards und Emissionshöchstmengen vom 2. August 2010 (BGBl. I S. 1065)

Anhang

Erläuterungen zu den Partikelminderungsstufen

In der Anlage XXVI (zu §47 Absatz 3a der STVZO) sind die folgenden Minderungsstufen für Pkw definiert:

- Für die Nachrüstung mit einem Partikelminderungssystem die Minderungsstufen PM0, PM01, PM1, PM2, PM3, PM4;
- Für die Erstausrüstung: die Minderungsstufe PM5 für Fahrzeuge, die ab dem Tage, an dem sie erstmals für den Verkehr zugelassen werden, nach § 47 Absatz 3a als besonders partikelreduziert gelten.

Für die Nachrüstung von Nutzfahrzeugen wurden die Partikelminderungsklassen PMK01 bis PMK4 eingeführt (Anlage XXVII der STVZO).

Erläuterung der PM-Minderungsstufen für Pkw:

- **PM0** und **PM01** für die Nachrüstung von Euro 1-Diesel-Pkw. Durch die Nachrüstung mit einem Partikelfilter muss der Partikelgrenzwert für Euro 2-Diesel-Pkw von 0,1 g/km erreicht werden. Schwere Fahrzeuge können auch den Partikelgrenzwert der Euro 3-Norm erreichen.
- **PM1** ist für die Nachrüstung von Euro 1- und Euro 2-Diesel-Pkw vorgesehen. Durch die Nachrüstung mit einem Partikelfilter muss der Partikelgrenzwert Euro 3-Diesel-Pkw von 0,05 g/km erreicht werden.
- **PM2** ist für die Nachrüstung von Euro 3-Diesel-Pkw vorgesehen. Durch diese Nachrüstung mit einem Partikelfilter muss der Partikelgrenzwert für Euro 4-Diesel-Pkw von 0,025 g/km erreicht werden.
- **PM3** ist für die Nachrüstung von ab Werk nicht vorbereiteten Euro 4-Diesel-Pkw vorgesehen. Sie halten gemäß Euro 4 nur einen Partikelgrenzwert von 0,025 g/km ein. Mit der Nachrüstung eines Partikelfilters muss ein Grenzwert von 0,0125 g/km erreicht werden.
- **PM4** soll den Euro 5-Partikelgrenzwert von 0,005 g/km erreichen. Diese Stufe wurde für die Nachrüstung von im Verkehr befindlichen Euro 4-Diesel-Pkw geschaffen, die bereits ab Werk entsprechend vorbereitet sind.
- **PM5** gilt für Diesel-Pkw (auch für Euro 3 und Euro 4), die bereits ab Werk den für Euro 5 vorgeschriebenen Partikelgrenzwert von 0,005 g/km einhalten.

Erläuterung der PMK-Minderungsstufen für (leichte und schwere) Nutzfahrzeuge:

- **PMK0** und **PMK01** sind für die Nachrüstung von Euro 1-Diesel-Lkw vorgesehen. Durch die Nachrüstung mit einem Partikelfilter muss der Partikelgrenzwert Euro 2-Diesel-Lkw erreicht werden. Einige Fahrzeuge mit PMK01 erreichen auch den Partikelgrenzwert der Euro 3-Norm.
- **PMK1** ist für die Nachrüstung von Euro 1- und Euro 2-Diesel-Lkw vorgesehen. Durch die Nachrüstung mit einem Partikelfilter muss ein Partikelgrenzwert für Euro 3-Diesel-Lkw erreicht werden. Einige Fahrzeuge erreichen auch mit PMK1 den Partikelgrenzwert der Euro 4-Norm.
- **PMK2** ist für die Nachrüstung von Euro 1-, Euro 2- und Euro 3-Diesel-Lkw vorgesehen. Durch die Nachrüstung mit einem Partikelfilter muss der Partikelgrenzwert für Euro 4-Diesel-Lkw erreicht werden.
- **PMK3** und **PMK4** sind für die Nachrüstung leichter Lkw vorgesehen. Die Kriterien entsprechen der Partikelminderungsklasse PM3 und PM4 für Pkw.

