

ifeu -  
Institut für Energie-  
und Umweltforschung  
Heidelberg GmbH



## Entwicklung der Emissionen des Verkehrs in Baden-Württemberg bis zum Jahr 2025

Arbeiten im Rahmen der  
Fortschreibung des Generalverkehrsplans  
Baden-Württemberg

Im Auftrag des  
Innenministeriums Baden-Württemberg

Frank Dünnebeil und Ulrich Höpfner  
IFEU Heidelberg

Heidelberg, November 2009

## **Impressum**

Die Verantwortung für den Inhalt dieses Gutachtens liegt bei den Autoren. Die hier dargestellten wissenschaftlichen Erkenntnisse und Schlussfolgerungen müssen nicht mit denjenigen des Auftraggebers übereinstimmen.

Bearbeiter der Studie: Dipl.-Ing. Frank Dünnebeil und Dr. Ulrich Höpfner  
ifeu – Institut für Energie- und Umweltforschung Heidelberg GmbH,  
Wilckensstr. 3, D-69120 Heidelberg; Tel. 06221-4767-0; Fax -4767-19;  
E-Mail: frank.duennebeil@ifeu.de; Internet: [www.ifeu.de](http://www.ifeu.de)

## Inhaltsverzeichnis

<b>0</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>2</b>
<b>1</b>	<b>Rahmenbedingungen des Emissionsgutachtens.....</b>	<b>3</b>
1.1	Auftrag.....	3
1.2	Betrachtete Komponenten .....	3
1.3	Betrachtete Verkehrsträger .....	4
1.4	Verschiedene Bilanzierungsmethoden (Territorialprinzip vs. Energiebilanz) .....	4
1.5	Basisjahr der Berechnungen.....	4
<b>2</b>	<b>Straßenverkehr .....</b>	<b>5</b>
2.1	Fahrleistungen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg .....	5
2.1.1	Übersicht und Methode.....	5
2.1.2	Ergebnisse.....	6
2.2	Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg .....	8
2.2.1	Übersicht und Methode.....	8
2.2.2	Ergebnisse.....	9
2.3	Stickoxidemissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg.....	11
2.3.1	Übersicht und Methode.....	11
2.3.2	Ergebnisse.....	11
2.4	Partikel-Emissionen (Abgas und Abrieb) des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg .....	13
2.4.1	Übersicht und Methode.....	13
2.4.2	Ergebnisse.....	13
2.5	Energieverbrauch und Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg nach dem Territorial- und Energiebilanz-Prinzip.....	15
2.5.1	Übersicht zu beiden Abgrenzungsprinzipien.....	15
2.5.2	Vergleich der Daten nach Territorialprinzip und Energiebilanz für 2005 .....	16
<b>3</b>	<b>Schieneverkehr .....</b>	<b>18</b>
3.1	Energieverbrauch und Kohlendioxidemissionen .....	19
3.1.1	Ergebnisse 2004.....	19
3.1.2	Ergebnisse 2004 - 2025.....	20
3.2	Stickoxidemissionen.....	21
3.2.1	Ergebnisse 2004.....	21
3.2.2	Ergebnisse 2004 - 2025.....	22
3.3	Partikel-Emissionen aus Abgas und Abrieb.....	23
<b>4</b>	<b>Binnenschiffverkehr .....</b>	<b>25</b>
4.1.1	Ergebnisse.....	25
4.1.2	Vergleich der Ergebnisse nach Territorial- und Energiebilanzprinzip .....	25
<b>5</b>	<b>Flugverkehr.....</b>	<b>27</b>
5.1	Übersicht .....	27
5.2	Zum Verhältnis Fracht- und Personenflugverkehr .....	27
5.3	Energieverbrauch im Personenflugverkehr nach nationalen bzw. internationalen Flügen.....	28
5.4	Emissionsberechnungen Flugverkehr 2004 – 2025.....	29
<b>6</b>	<b>Gesamtverkehr Baden-Württemberg .....</b>	<b>31</b>
6.1	Kohlendioxidemissionen .....	31
6.1.1	Ergebnisse 2004 - 2025.....	31
6.1.2	Kohlendioxidemissionen nach Territorialprinzip und Energiebilanz .....	33
6.2	Stickoxidemissionen.....	33
6.3	Partikel-Emissionen .....	35
<b>7</b>	<b>Anhang: Tabellarische Darstellung der Abbildungen*.....</b>	<b>37</b>

## 0 Zusammenfassung

Der motorisierte Verkehr verursacht die Emission von Luftschadstoffen (vor allem Stickoxide und Partikel) und Klimagasen (vor allem Kohlendioxid). Die Emissionen hängen von der Technik, der Fahrweise und vor allem von der Fahrleistung des Fahrzeugs ab.

Die heutigen Verkehrs- und Fahrleistungen in Baden-Württemberg werden sowohl im Personen- wie auch im Güterverkehr vom Kfz-Verkehr auf der Straße geprägt. Der Verkehr auf der Schiene, auf den Wasserstraßen oder in der Luft spielt demgegenüber eine nachgeordnete Rolle. Die Dominanz des Straßenverkehrs am gesamten Verkehrsgeschehen spiegelt sich auch in seinem sehr hohen Beitrag zu den verkehrsbedingten Kohlendioxid- und Luftschadstoffemissionen wider.

Zwischen dem GVP-Basisjahr 2004 und dem Prognosejahr 2025 steigen die **Verkehrs- bzw. Fahrleistungen** aller Verkehrsträger in Baden-Württemberg deutlich an: Im Straßenverkehr wird ein Anstieg der gesamten Fahrleistung um rund 25% prognostiziert, darunter ein Zuwachs des Lkw-Verkehrs um 52%. Ein Teil dieser Zunahme liegt an dem überproportionalen Anstiegs des **Transits im Straßengüterverkehr**, dessen Transportleistung sich bis 2025 mehr als verdoppelt. Auch die Verkehrsleistungen der übrigen Verkehrsträger sollen bis 2025 zulegen.

Dennoch ist bei den gesamten **Kohlendioxidemissionen** aus dem motorisierten Verkehr im Prognosejahr 2025 gegenüber 2004 ein leichter Rückgang um 4 % festzustellen. Die höchste Minderung ist bei den Pkw zu erwarten, die trotz einer Fahrleistungszunahme von 23% eine Gesamtminderung von 20% erzielen. Der Grund dafür liegt überwiegend in der Nutzung von technisch effizienteren und tendenziell etwas kompakteren Fahrzeugen, zunehmend auch im Einsatz von Biokraftstoffen und Elektrizität.

Die Minderung bei den Pkw wird durch den CO<sub>2</sub>-Anstieg aller anderen Verkehrsträger fast wettgemacht. Der nach dem Pkw-Verkehr wichtigste CO<sub>2</sub>-Emittent, der Lkw-Verkehr, kann seine prognostizierte Transportzunahme mit verbesserter Technik und Logistik nur etwas abfedern, seine CO<sub>2</sub>-Emissionen nehmen um 44% zu. Der Güterdurchgangsverkehr hat daran den wesentlichen Anteil. Blicke er auf dem Niveau von 2004, läge der CO<sub>2</sub>-Zuwachs bei 8%; die gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen des motorisierten Verkehrs 2025 würden um 11% zurückgehen.

Ein wesentlich günstigeres Bild zeigt sich bei den **Stickoxidemissionen**. Trotz der hohen prognostizierten Zunahme der Fahrleistung werden sie im Zieljahr 2025 gegenüber 2004 um rund 64% geringer ausfallen. Die schon heute relativ geringen Pkw-Emissionen halbieren sich. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen der heute noch recht hoch emittierenden Lkw verringern sich um fast 80%. Denn hierfür stehen mittlerweile effiziente Minderungstechniken bereit, deren Nutzung durch die aktuelle und zukünftige EU-Gesetzgebung verlangt werden wird.

Noch stärkere Absenkungen sind bei den **PM<sub>2,5</sub>-Emissionen** zu erwarten. Diese sind die sehr kleinen Feinstäube, deren gesundheitsschädigende Auswirkungen zunehmend in den Blickpunkt geraten und die in den nächsten Jahren mit Immissionsgrenzwerten belegt werden. Die direkten PM<sub>2,5</sub>-Emissionen des Verkehrs in Baden-Württemberg werden trotz ansteigender Fahrleistung im Jahr 2025 fast 90% unter denjenigen des Jahres 2004 liegen. Dies ist eine Folge der zukünftig verschärften Grenzwertanforderungen bzw. der diesen Anforderungen entsprechenden technischen Verbesserungen der Motoren bzw. ihrer Abgasnachbehandlungssysteme. Die **PM<sub>10</sub>-Emissionen**, woran auch fahrleistungsabhängige Abriebemissionen einen größeren Anteil haben, die bisher nicht gesetzlich reguliert sind, werden bis 2025 um 37% sinken.

# 1 Rahmenbedingungen des Emissionsgutachtens

## 1.1 Auftrag

Für die Fortschreibung des Generalverkehrsplans (GVP) Baden-Württemberg aus dem Jahr 1995 werden die limitierten Luftschadstoffemissionen sowie die klimarelevanten Emissionen im Planungszeitraum bis 2025 ermittelt.

Die nachfolgende Studie beschreibt die dafür notwendigen Arbeitsschritte, die getroffenen Annahmen und die Ergebnisse.

## 1.2 Betrachtete Komponenten

Die Berechnungen der Treibhausgas- und Luftschadstoffemissionen des Verkehrs in Baden-Württemberg werden für die Komponenten:

- Treibhausgase: CO<sub>2</sub>
- Luftschadstoffemissionen: Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Feinstaub (PM<sub>10</sub> und PM<sub>2,5</sub>) aus dem Fahrzeugabgas sowie durch Abrieb

auf der Basis des Rechenmodells TREMOD mit weiteren IFEU-Abschätzungen durchgeführt.<sup>1</sup>

Die Darstellung der Emissionen erfolgt analog zum bisherigen GVP sowie zum Umweltplan des Landes Baden-Württemberg für die **direkten Emissionen** aus dem Energieverbrauch im Fahrzeugbetrieb („Quellenbilanz“). Ergänzend werden auch die **Emissionen der Energiebereitstellung** („indirekte Emissionen“ oder „Vorkette“) berechnet. Das ist vor allem für die vergleichende Beurteilung der Emissionen zwischen Kraftstoff- und elektrischem Antrieb wichtig. Nach dem System der Quellenbilanz würde der elektrische Schienenverkehr keine Emissionen verursachen, da sie in den Kraftwerken und der vorgelagerten Energiebereitstellung entstehen. Die Summe aus direkten Emissionen und den Emissionen der Endenergiebereitstellung wird als die **gesamten Emissionen** ausgewiesen.

Für den **Luftverkehr** werden nur die Kohlendioxidemissionen berechnet. Die Bilanzierung weiterer Luftschadstoffemissionen ist im Ergebnis nicht zielführend. Denn sie fallen nur zu einem geringen Anteil während des Betriebs auf dem Boden und in der unteren Luftschicht an. Der größte Anteil der Schadstoffe wird in größerer Höhe und zudem außerhalb der Landesgrenzen emittiert. Die Luftschadstoffe des Flugverkehrs werden zudem nicht wegen ihrer möglichen direkten Schadwirkung auf Mensch und Umwelt diskutiert, sondern wegen ihres besonderen und zusätzlichen Beitrags zur Klimawirksamkeit, der allerdings in seinem Ausmaß noch nicht hinreichend geklärt ist.

---

<sup>1</sup> TREMOD bildet fahrzeug- und verkehrstypenfein in sehr feiner Differenzierung die Fahr- und Verkehrsleistungen sowie Energieverbrauch und Emissionen sämtlicher Verkehrsträger ab. TREMOD wurde von IFEU im Auftrag des Umweltbundesamtes und der BASt entwickelt und wird fortlaufend aktualisiert. Die Ergebnisse von TREMOD sind Basis der gesamten nationalen wie internationalen offiziellen Berichterstattung der deutschen Bundesregierung für Energieverbrauch und Emissionen des Verkehrssektors.

### 1.3 Betrachtete Verkehrsträger

Diese zuvor genannten Daten werden für alle motorisierten Verkehrsträger für den Zeitraum 2004 bis 2025 ermittelt und getrennt nach den Verkehrsträgern Straßen-, Schienen- und Luftverkehr sowie für die Binnenschifffahrt dargestellt. Für die Bestandsanalyse werden die bisher für das Land Baden-Württemberg erfassten verkehrlichen, energetischen sowie emissionsbezogenen Daten berücksichtigt. Für das Trend-Szenario wird das verkehrliche Datengerüst aus der ebenfalls für die Fortschreibung erstellten Gesamt- und der Straßenverkehrsprognose übernommen.

### 1.4 Verschiedene Bilanzierungsmethoden (Territorialprinzip vs. Energiebilanz)

Die Emissionen des Verkehrs werden auf Grundlage des Fahr- und Verkehrsleistungsgerrüsts nach dem **Territorialprinzip** berechnet und dargestellt. Für die Treibhausgasemissionen wird für das Jahr 2004 auch eine zusätzliche Berechnung mit Hilfe der Daten der **Energiebilanz** durchgeführt. Die Energiebilanz ist Grundlage der nationalen Klimaberichterstattung in Deutschland und auch Basis der bisherigen Darstellung von Treibhausgasemissionen z.B. im Umweltplan des Landes. Besonders signifikante Abweichungen beider Prinzipien werden bei der Behandlung der Verkehrsträger erläutert. Zudem wird die Problematik der unterschiedlichen Bilanzierung im Kap. 2.5 am Beispiel des Straßenverkehrs noch einmal ausführlich dargestellt.

Die Bilanzierung des **Flugverkehrs** bezieht sich ausschließlich auf die Daten der **Energiebilanz 2004** des Landes Baden-Württemberg. Diese deckt die Kerosinabnahme des gesamten abgehenden Flugverkehrs der Flughäfen innerhalb des Landes Baden-Württemberg ab. Damit wird in der Regel die Verkehrsleistung der Flugzeuge bis zur ersten Zwischenlandung abgedeckt. Weitere Strecken und ankommende Flüge werden nicht erfasst, ebenso wenig die Verkehrsmengen, die von Bürgern Baden-Württembergs über Flughäfen der angrenzenden Bundesländer bzw. Staaten erbracht werden.

In der Internationalen Berichterstattung der Bundesregierung zu den Emissionen der Klimagase ist es üblich, einen Anteil von 20% des gesamten Flugkraftstoffverbrauchs der Energiebilanz dem inländischen Flugverkehr zuzusprechen. Wir übernehmen diese Vorgehensweise, um mit den internationalen Gepflogenheiten kompatibel zu sein.

### 1.5 Basisjahr der Berechnungen

Für die GVP-Betrachtungen wurde als Basisjahr 2004 bestimmt. Dieses soll die vollständige Vergleichbarkeit der hier verwendeten Daten zur Prognose der deutschland-weiten Verkehrsverflechtungen 2004 – 2025 sicherstellen. Damit sind allerdings kleinere Unterschiede zu anderen Statistiken des Landes Baden-Württemberg verbunden. Diese Unterschiede sind den Autoren bekannt. Ihre Gründe werden – wenn nötig – in den Sachkapiteln erläutert. Basisjahr der Berechnungen im vorliegenden Gutachten ist hingegen das Jahr 2005, da für dieses Jahr umfassende Fahrleistungsdaten aus der landesweiten Straßenverkehrszählung zur Verfügung stehen.

## 2 Straßenverkehr

### 2.1 Fahrleistungen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg

#### 2.1.1 Übersicht und Methode

Die Fahrleistungen des Straßenverkehrs insgesamt und vor allem in seiner Differenzierung in die verschiedenen Kategorien „Innerorts“, „Außerorts ohne Autobahn“ und „Autobahn“ sowie in die verschiedenen Fahrzeugkategorien sind die Basis für Berechnungen von Energieverbrauch und Emissionen. Dafür stehen fahrzeug- und fahrsituationsfein spezifische Verbräuche und Emissionsfaktoren über das Modell TREMOD bzw. weitergehende Arbeiten zur Verfügung.

Die **Fahrleistungen** des Straßenverkehrs für das Jahr **2005** werden für die GVP-Berechnungen vom Statistischen Landesamt Baden-Württemberg übernommen, um eine größtmögliche Kompatibilität zwischen verschiedenen Datenquellen des Landes zu gewährleisten. Dieses betrifft die Gesamtfahrleistung, deren Differenzierung nach Straßentyp (Bundesautobahn, Bundesstraßen, Land-, Kreis- und Gemeindestraßen) sowie nach Ortsklasse (frei oder Ortsdurchfahrt, was der Kategorie „Innerorts“ zugeordnet wird). Die Zurechnung nach den Fahrzeugkategorien Pkw, motorisierte Zweiräder, Leichte Nutzfahrzeuge, Lkw und Bus wurde ebenfalls mit dem Statistischen Landesamt abgestimmt.

Die Aufteilung der Fahrleistungen der Pkw und der Leichten Nutzfahrzeuge (LNFZ) in die **Antriebsarten Otto und Diesel** wird analog zur Aufteilung im Bundesgebiet des Jahres 2005 vorgenommen (Daten nach TREMOD). Für Baden-Württemberg stehen zwar Zulassungsdaten in einer großen regionalen Differenzierung zur Verfügung. Diese bilden jedoch die Zusammensetzung des realen Straßenverkehrs nur unvollständig ab. Zum einen, weil dieser schon innerhalb einer Region auch von Fahrzeugen außerhalb dieser Region geprägt ist, zum anderen, weil dieses auch für Baden-Württemberg insgesamt gilt, wie die Anteile an grenzüberschreitendem und Transitverkehr zeigen. Die Alternative, die Aufteilung der Fahrleistungen zusätzlich über die Zulassungszahlen des Pkw- bzw. LNFZ-Bestandes von Baden-Württemberg anzupassen, führte daher nur zu einer scheinbaren Erhöhung der Genauigkeit. In der Ausstattung des **Fahrzeugbestandes nach den verschiedenen Grenzwertstufen** bestehen ebenfalls nur geringe Unterschiede zwischen Baden-Württemberg und dem Bundesgebiet, so dass hier der zuvor genannten Argumentation folgend ebenfalls die Fahrleistungsanteile des Bundesgebietes verwendet wurden.

Die zukünftige Fahrleistungsentwicklung zwischen **2005 und dem GVP-Zieljahr 2025** wird mithilfe der Straßenverkehrsprognose abgeleitet. Diese ist differenziert nach Straßentyp und Ortsklasse im untersuchten klassifizierten Straßennetz und somit analog zur Differenzierung des Statistischen Landesamtes. Sie enthält allerdings nicht das vollständige beim Statistischen Landesamt erfasste Straßennetz. Die fehlenden Daten für so genannte nicht-klassifizierte Straßen wurden von uns analog zu den Entwicklungen im klassifizierten Straßennetz ergänzt. Die Straßenverkehrsprognose unterscheidet weiterhin nur in Leichtverkehr (<3,5t) und Schwerverkehr. Die prognostizierte Entwicklung im „Leichtverkehr“ haben wir auf die Fahrzeugkategorien Pkw, Motorisierte Zweiräder und Leichte Nutzfahrzeuge übertragen, die Entwicklung im Schwerverkehr auf die Lkw. Die Verkehrsleistungen der Reise- und Linienbusse werden nach den ÖSPV-Daten der Gesamtverkehrsprognose modelliert.

Die Übertragung der für das klassifizierte Straßennetz erstellten Straßenverkehrsprognose auf die Gesamtheit aller Fahrleistungen in Baden-Württemberg führt dementsprechend zu geringen Abweichungen bei der Fahrleistungsentwicklung bis 2025. In der für das Emissionsgutachten modifizierten Prognose werden neben dem klassifizierten Stra-

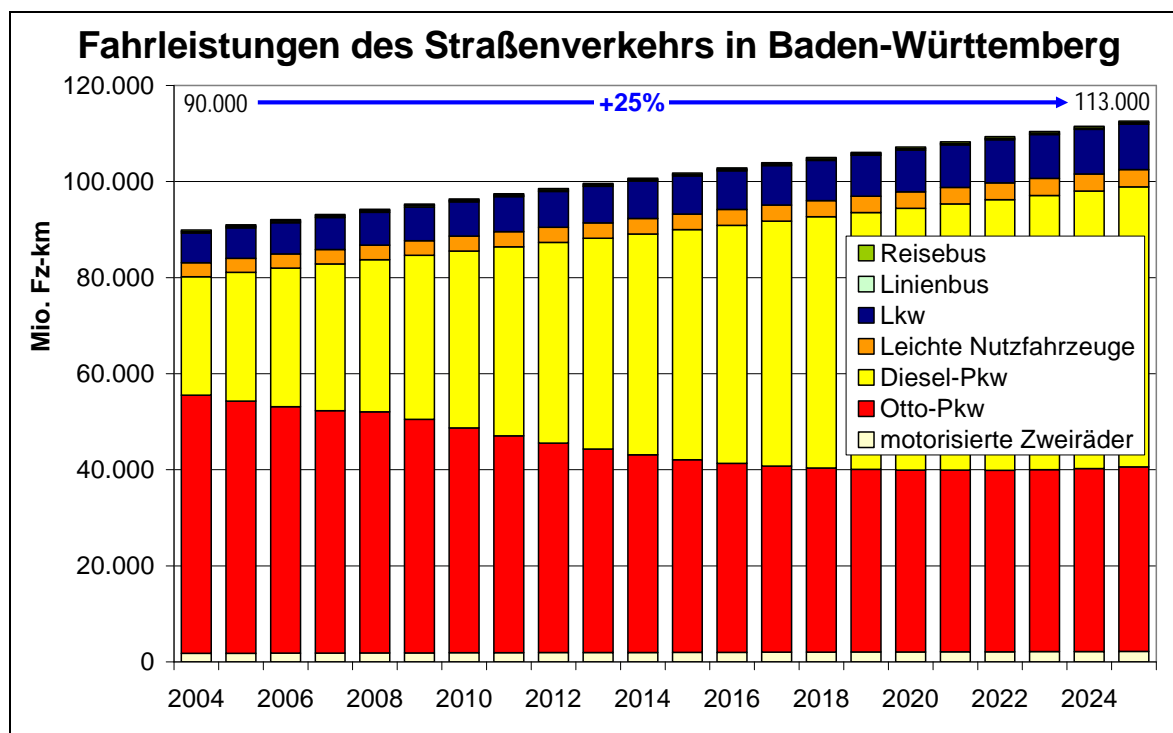
ßennetz zusätzlich die innerörtlichen Fahrleistungen im nicht-klassifizierten Straßennetz berücksichtigt, die gleichzeitig auch niedrigere Lkw-Anteile aufweisen. Da die Fahrleistungsentwicklung aus der Prognose zudem differenziert nach Straßentypen und Fahrzeugkategorien angewandt wird, weicht die ermittelte Gesamtentwicklung aller Fahrleistungen im Emissionsgutachten gegenüber der Straßenverkehrsprognose leicht ab.

Für die Zwecke des GVP werden alle Daten und Szenarienbetrachtungen aufbauend auf dem **Basisjahr 2004** benötigt. Daher wird die **Fahrleistung des Jahres 2004** durch lineare Extrapolation aus der Entwicklung zwischen den Jahren 2005 und 2025 rückgerechnet. Damit stimmt das Ergebnis der Rückrechnung für 2004 nicht exakt mit den Fahrleistungsbestimmungen des Statistischen Landesamtes für 2004 überein. Die geringfügigen Unterschiede werden in Kauf genommen, da das Ziel des Generalverkehrsplans in einer konsistenten Prognose und nicht in einer jahresfein nachgeführten aktuellen Bilanzierung liegt.

### 2.1.2 Ergebnisse

Die Fahrleistungen des Straßenverkehrs innerhalb des Landes Baden-Württemberg betragen im **Jahr 2004** etwa 90 Mrd. km. Sie wurden zu 87,2% von Pkw erbracht (siehe Abb. 1), der Lkw-Anteil (ohne Leichte Nutzfahrzeuge und Busse) lag bei 6,9%.<sup>2</sup>

**Abb. 1: Fahrleistungen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 bis 2025 nach Fahrzeugklassen**



Die Fahrleistungen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg im **Jahr 2025** werden gemäß der Prognose um 25% höher als im Basisjahr 2004 liegen. Die Anteile von Pkw und Lkw an den Gesamtfahrleistungen werden sich geringfügig verändern. So wird der Prognose

<sup>2</sup> Wie zuvor dargelegt, unterscheidet sich diese aus Konsistenzgründen rückgerechnete Fahrleistung 2004 von der vom Statistischen Landesamt bestimmten Fahrleistung. Letztere betrug für das Jahr 2004 91 Mrd. km und lag somit um rund 1 % höher.

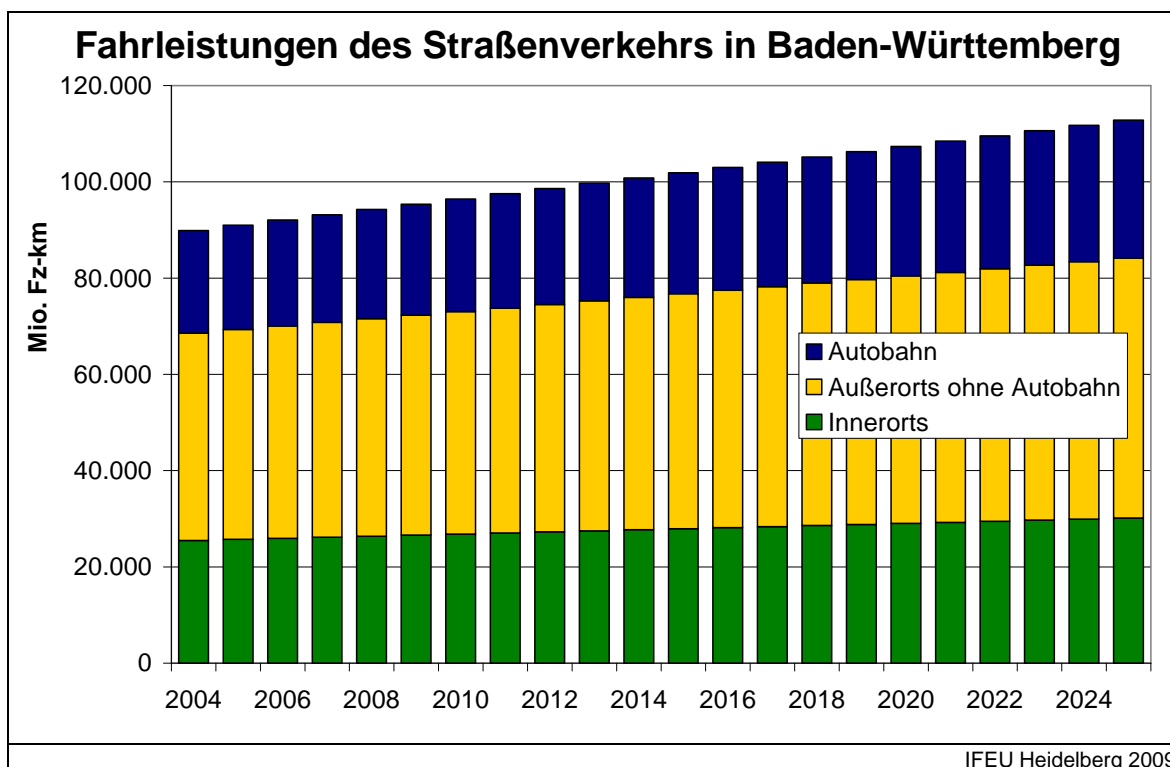
se entsprechend der Fahrleistungsanteil der Lkw (ohne Leichte Nutzfahrzeuge und Busse) von 6,9% auf 8,4% im Jahr 2025 ansteigen.

Der **Diesel-Anteil** an der Pkw-Fahrleistung steigt von 32% (im Jahr 2004) auf 60% (2025) an. Diese Zunahme orientiert sich an dem aktuell gültigen Trend-Szenario des Modells TREMOD. Dessen Fortschreibungsparameter waren von der bisher zu verzeichnenden Zunahme der Diesel-Pkw beeinflusst, vor allem auch im Segment der Pkw-Oberklasse, die vorzugsweise als Geschäftswagen zugelassen wird und eine besonders hohe jährliche Fahrleistung aufweist. Argument für den zukünftig erwarteten hohen Anstieg der Diesel-Anteile waren die realen bzw. erwarteten Preissteigerungen bei den Kraftstoffen und die relativ geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionen der Diesel-Pkw, die die zukünftige europäische Gesetzgebung mit weniger Aufwand erfüllen lassen als Otto-Pkw. Die aktuelle Situation zeigt allerdings eine Hinwendung zu kleineren und leichteren Otto-Pkw. Hier ist ein hohes und relativ preiswertes Einsparpotenzial vorhanden, was ihren Anteil an dem künftigen Bestand höher als bislang erwartet ausfallen lassen kann.

Allerdings sind die zukünftigen Grenzwerte für die limitierten Luftschadstoffe zwischen Otto- und Diesel-Pkw nahezu identisch. Für die Höhe der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist ihre Herkunft aus einer bestimmten Antriebsart ebenfalls unbedeutend, weshalb sich bis 2025 die Otto-Diesel-Relation als nebensächlich erweisen wird.

Die Verteilung der **Fahrleistungen auf die verschiedenen Kategorien „Innerorts“, „Außerorts ohne Autobahn“ und „Autobahn“** zeigt, dass im Jahr 2004 rund 70 % auf das außerörtliche Straßennetz entfiel (Abb. 2). Die Relationen der Fahrleistungen auf den einzelnen Straßenkategorien verändern sich bis zum Jahr 2025 nur geringfügig. Es findet eine leichte Erhöhung des Autobahnanteils von 23,7% (2004) auf 25,4% (2025) statt, wohingegen der Anteil des Innerortsverkehrs leicht abnimmt.

**Abb. 2: Fahrleistungen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 bis 2025 in den Kategorien „Innerorts“, „Außerorts ohne Autobahn“ und „Autobahn“**



## 2.2 Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg

### 2.2.1 Übersicht und Methode

Die Fahrleistungen des Straßenverkehrs sind Basis für die Berechnungen von Energieverbrauch und damit verursachten Kohlendioxidemissionen (CO<sub>2</sub>-Emissionen). Zusätzlich werden Faktoren zum Energieverbrauch aus dem Instrumentarium TREMOD verwendet, die dort für jede Fahrzeugkategorie, Antriebsart und das typische Fahrverhalten inkl. der Einflüsse des Kaltstarts auf den Straßenkategorien abgelegt sind.

Die im Straßenverkehr verwendeten **rein fossilen Kraftstoffe** verursachen **direkte** CO<sub>2</sub>-Emissionen und zudem vergleichsweise geringe **indirekte** Emissionen, die bei Herstellung und Transport („Vorkette“) anfallen. Beide werden als **Gesamtemissionen** zusammengefasst. So genannte **alternative Energieträger** zeigen andere Relationen: So wird bei der Nutzung von Wasserstoff und von Elektrizität CO<sub>2</sub> nur bei ihrer Bereitstellung emittiert, was sich dann lediglich in der Höhe der Gesamtemissionen ausdrückt.

Bei den **biogenen Kraftstoffen** fallen bei der motorischen Verbrennung zwar direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen an. Sie werden aber in den Bilanzen mit Null angesetzt, da sie keine zusätzlichen fossilen Emissionen darstellen. Das bei der Verbrennung entstehende CO<sub>2</sub> wurde erst kurz zuvor von den Energiepflanzen aus der Atmosphäre gebunden. Allerdings ist die Bereitstellung der Biokraftstoffe (Biomasseanbau, Transport, Umwandlung ...) mit umfangreichen (fossilen) Emissionen der Klimagase CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> und N<sub>2</sub>O verbunden. Diese Vorkettenemissionen sind je nach Herkunft der Bioenergie (Pflanzentyp, geographische Herkunft) sehr unterschiedlich. So kann die Menge der Treibhausgasemissionen aus der Bereitstellung der bisher bzw. zukünftig genutzten Biokraftstoffe nur mit großer Unschärfe bestimmt werden.

Die Europäische Kommission beabsichtigt, im Rahmen der RES-Direktive (Richtlinie zur Förderung der Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen) Kriterien für die Förderung von Biokraftstoffen festzulegen. Mit sehr großer Wahrscheinlichkeit gilt als Kriterium der nächsten Jahre eine Reduktion der Treibhausgasemissionen um mindestens 35% gegenüber dem substituierten fossilen Kraftstoff. Für das Jahr 2025 ist nach heutigem Diskussionsstand eine Reduktion um mindestens 60% erforderlich.

Die von der EU geforderte Minderung bezieht sich auf *alle* Treibhausgasemissionen. Im Straßenverkehr ist das dominierende Treibhausgas CO<sub>2</sub>. Hingegen haben Methan und N<sub>2</sub>O bei Benzin und Diesel nur einen Anteil von ca. 1,5% an den CO<sub>2</sub>-äquivalenten Treibhausgasemissionen. Deshalb werden die obligatorischen Reduktionsraten der RES-Richtlinie für die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Biokraftstoffe verwendet. Somit werden die *indirekten* CO<sub>2</sub>-Emissionen der Biokraftstoffe mit 65% (im Jahr 2004) bzw. mit 40% (im Jahr 2025) der *gesamten* Emissionen der substituierten Diesel- bzw. Otto-Kraftstoffe berechnet.

Für die Betrachtung des **Zieljahres 2025** sind die Daten des Basisjahres fortzuschreiben. Zwei Entwicklungen sind derzeit mit besonders hohen Unsicherheiten behaftet:

- Die Entwicklung der spezifischen Verbräuche der Neufahrzeuge, insbesondere Pkw, angesichts der aktuellen EU-Gesetzgebung. Eine zwischen den Bundesministerien und dem UBA abgestimmte Trend-Prognose gibt es bisher nicht. Daher hat IFEU für diese Untersuchung eine eigene Abschätzung zu den zukünftigen spezifischen Verbräuchen vorgenommen, die sich an den neuen EU-weit gültigen Grenzwerten, der für das Jahr 2020 zu erwartenden Verschärfung und einer weiteren Trendabsenkung orientiert.

- Art und Menge der verwendeten regenerativen Energieträger. Eine abgestimmte offizielle Position dazu liegt nicht vor. Wir gehen von einem Anteil der Biokraftstoffe von 10% aus, der in der Gesamtkette mit einer 60%igen Einsparung bewertet wird. Dieser Anteil erscheint allerdings für den Verkehrsbereich aus heutiger Sicht mit den heutigen Biokraftstoffen nur schwer realisierbar zu sein, zumal er nicht mit dem in Baden-Württemberg verfügbaren Biomaterial abdeckbar ist.<sup>3</sup> Zusätzlich nehmen wir an, dass der elektrische Betrieb von Batterie-elektrischen bzw. Plug-In-Hybrid-Pkw im Jahr 2025 3% der Pkw-Fahrleistung in Baden-Württemberg ausmacht.<sup>4</sup>

### 2.2.2 Ergebnisse

Die Berechnungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den Straßenverkehr in Baden-Württemberg für das Basisjahr 2004 und das Zieljahr 2025 ergaben folgende Ergebnisse (Abb. 3):

- Die *direkten Kohlendioxidemissionen* des **Jahres 2004** wurden durch den Pkw-Verkehr mit einem Anteil von 72% geprägt. Dieser Anteil ist geringer als sein Anteil an der Fahrleistung von 87%, denn die anderen Verkehrsträger, insbesondere die Lkw und Busse, weisen pro Fahrzeugkilometer höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen auf. Dementsprechend verursachten Lkw bei einem Fahrleistungsanteil von 7% rund 21% der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen.
- Die *Gesamtemissionen* an CO<sub>2</sub> zeigen für das Jahr 2004 gegenüber den direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen nahezu unveränderte Anteile der Verkehrsträger. Die geringfügigen Verschiebungen spiegeln lediglich den geringen Einfluss der Otto- und Diesel-Vorkette wider.
- Die *direkten Kohlendioxidemissionen* des **Jahres 2025** nehmen der Prognose der Fahrleistungen und der Veränderungen in Fahrzeugzusammensetzung und Technik folgend gegenüber 2004 um 11% ab. Diese Abnahme ist ungleich verteilt: Während sich die Emissionen des Pkw bezogen auf 2004 um 24% verringern, emittieren Lkw rund 33% mehr CO<sub>2</sub>. Der Anteil der Lkw an den CO<sub>2</sub>-Emissionen erhöht sich daher bis 2025 von 21% auf 31%.  
Diese Änderungen sind allerdings im Zusammenhang mit der Erhöhung der Fahrleistung um 26% zu sehen. Bei einer gegenüber 2004 unveränderten Fahrleistung läge die für die Prognose berechnete CO<sub>2</sub>-Einsparung aller Kfz bei knapp 30%, bei den Pkw sogar bei 35%. Bei den Lkw betrüge sie nur 4%, u.a. auch eine Folge des Einsatzes größerer Lkw. Ein Teil der Einsparungen der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen geht auch auf das Konto des Einsatzes der Biokraftstoffe, die definitionsgemäß keine direkten Emissionen verursachen.
- Die Definition und die Zurechnung der indirekten Emissionen der Biokraftstoffe zu den indirekten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs erklärt auch, dass die *gesamten*

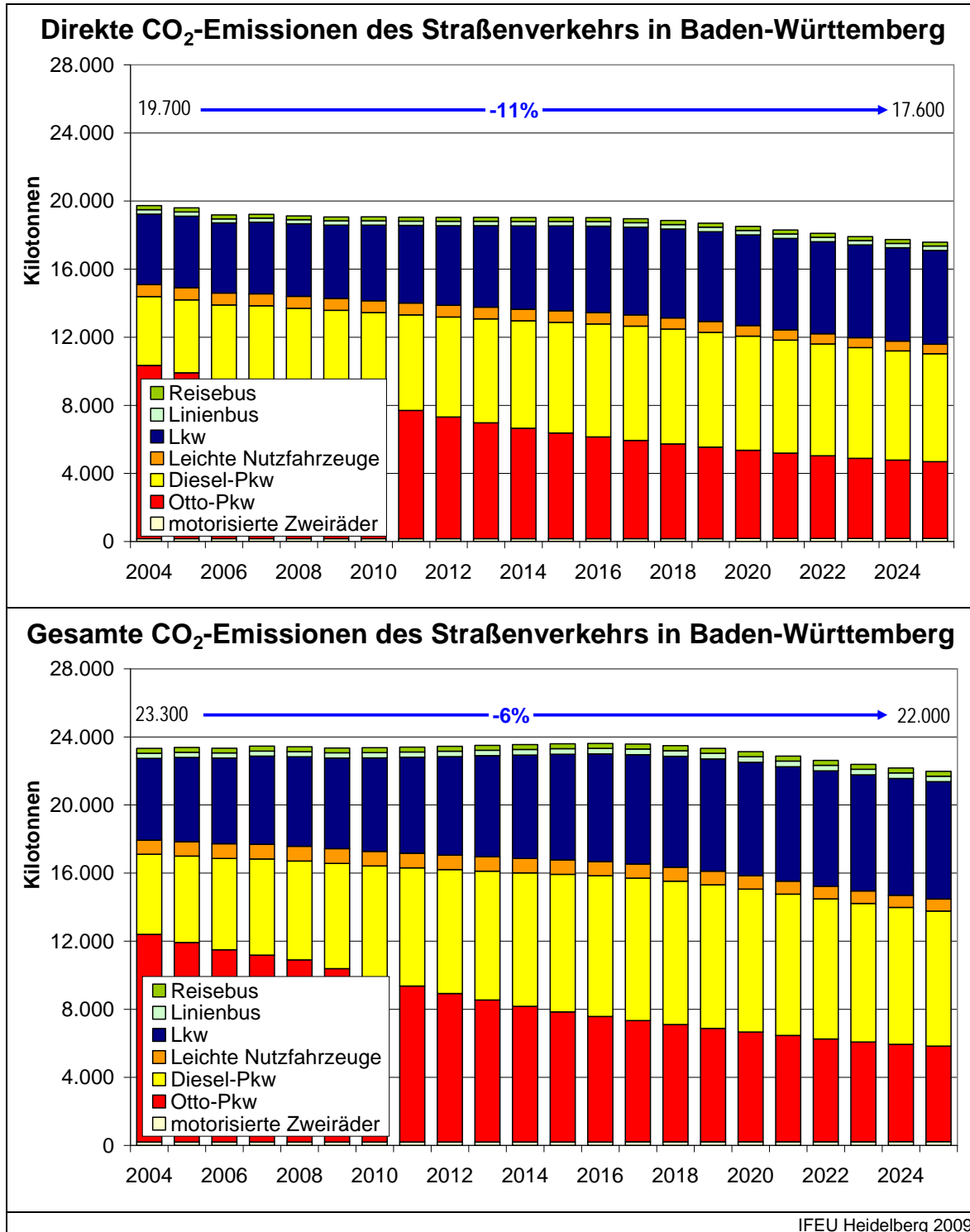
---

<sup>3</sup> Siehe das Gutachten der Nachhaltigkeitsbeirats der Landesregierung Baden-Württemberg: „Energie aus Biomasse: Potenziale und Empfehlungen für Baden-Württemberg“. April 2008. Allerdings wird heute erwartet, dass „Biokraftstoffe der 2. Generation“, die über die Nutzung des gesamten pflanzlichen Materials auf ein höheres Potenzial an Rohstoffen aufbauen können, zu einem erhöhten Angebot und besseren Kraftstoffeigenschaften führen. Die Verfahren dazu sind in der Entwicklung. Berechnungen der gesamten CO<sub>2</sub>-Einsparung stehen aus.

<sup>4</sup> Diese Zahl steht in Einklang mit diversen IFEU-Abschätzungen zur Rolle der Elektromobilität für das BMU. Sie geht davon aus, dass die Batterien mit ihren geringen Kapazitäten und hohen Kosten auch im nächsten Jahrzehnt noch den Engpass dieser Entwicklung darstellen werden. Daher werden die meisten Fahrzeuge auf den elektrischen Antrieb nur im Stadtverkehr zurückgreifen und nur einen Teil ihrer Fahrleistung elektrisch absolvieren.

CO<sub>2</sub>-Emissionen des Jahres 2025 etwas geringer abnehmen als die direkten Emissionen. Ansonsten verlaufen die Entwicklungen der direkten und gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen synchron (siehe Abb. 3 unten).

**Abb. 3: CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 – 2025**



## 2.3 Stickoxidemissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg

### 2.3.1 Übersicht und Methode

Die Stickoxidemissionen (NO<sub>x</sub>-Emissionen) des Straßenverkehrs werden analog zu den Kohlendioxidemissionen über die Fahrleistungen und Emissionsfaktoren berechnet. Zu der Differenzierung, die für die Berechnung des Verbrauchs und damit der Kohlendioxidemissionen erforderlich ist, kommt ergänzend die Auffächerung des Bestandes der Kfz in die Abgasgrenzwertstufen. Hier werden – wie eingangs bereits erwähnt und begründet – für Baden-Württemberg für das Basisjahr 2004 diejenigen Verteilungen als gültig unterstellt, wie sie für Deutschland insgesamt gültig und in TREMOD erfasst sind.<sup>5</sup>

Für die Betrachtung des **Zieljahres 2025** sind neben der Entwicklung der Fahrleistungen der einzelnen Fahrzeugkategorien und Antriebsarten auch die Bestandsdaten und die Emissionsfaktoren des Basisjahres fortzuschreiben. Neben der Aktualisierung der Emissionsfaktoren<sup>6</sup> hat IFEU für diese Untersuchung zusätzlich auch eine aktualisierte Abschätzung der Aufteilung des zukünftigen Kfz-Bestandes nach den EU-Grenzwertstufen vorgenommen.<sup>7</sup>

Die Emissionsberechnungen auf Basis der Fahrleistungen in Baden-Württemberg, mit bundesdurchschnittlichen Annahmen für die Fahrleistungsanteile der Otto- bzw. Diesel-Pkw, mit aktualisierten Anteilen der Grenzwertstufen am Kfz-Bestand sowie aktualisierten Emissionsfaktoren führen zu den Stickoxidemissionen aus dem Straßenverkehr in Baden-Württemberg. Für Kraftstoffe mit Biokraftstoffbeimischung wurden die gleichen NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren wie für rein fossile Kraftstoffe angesetzt. Eine Emissionsmodellierung der Nutzung von reinen Biokraftstoffen wird wegen geringer Unterschiede in den Faktoren und der geringen Mengen nicht vorgenommen.

### 2.3.2 Ergebnisse

Die *direkten* NO<sub>x</sub>-Emissionen **2004** werden durch den Lkw-Verkehr geprägt. Er hat daran einen Anteil von 54%. Dann folgen die Otto-Pkw mit 19% und die Diesel-Pkw mit 16%. Die *Gesamtemissionen* liegen um 10,6% höher als die direkten NO<sub>x</sub>-Emissionen (Abb. 4).

Die NO<sub>x</sub>-Emissionen des GVP-Prognosejahres **2025** beziehen sich auf die im Rahmen des GVP für Baden-Württemberg abgeschätzte Entwicklung der Fahrleistungen und ansonsten auf die zuvor dargestellten bundesweit gültigen Annahmen des Trend-Szenarios. Danach werden die *direkten* NO<sub>x</sub>-Emissionen um 74% zurückgehen. Die *gesamten* NO<sub>x</sub>-

---

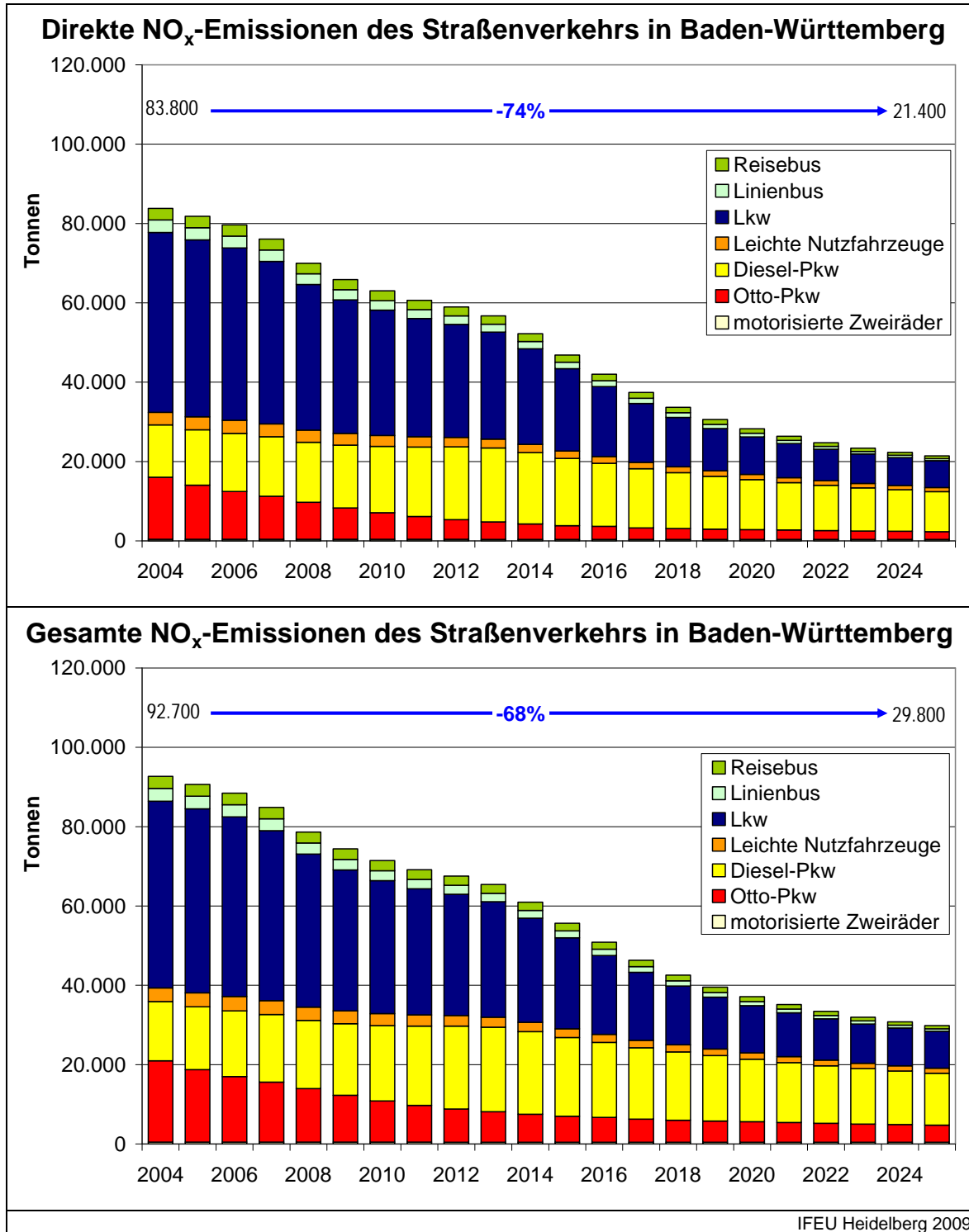
<sup>5</sup> Die derzeit in TREMOD verwendeten Emissionsfaktoren leiten sich – mit geringen Modifikationen – aus dem „Handbuch Emissionsfaktoren des Straßenverkehrs“ ab. Dieses „Handbuch“ wird insbesondere von INFRAS, Bern in enger Kooperation mit IFEU und TREMOD entwickelt. Allerdings ist ein grundlegendes Update des „Handbuchs“ in Bearbeitung. Die bisherigen Arbeitsschritte, in die IFEU fachlich involviert ist, zeigen, dass die heute abgeleiteten Faktoren für Pkw aktueller Grenzwertstufen von den Annahmen früherer „Handbuch-Versionen“ abweichen. Dieses gilt insbesondere für die Diesel-Pkw der Euro-Stufen 4, die in der Praxis höhere NO<sub>x</sub>-Emissionen als zuvor angenommen aufweisen. Dementsprechend hat das IFEU aus den aktuellen Unterlagen und Fachdiskussionen für diese Untersuchung „vorläufige NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktoren“ abgeleitet.

<sup>6</sup> Bearbeitung durch Wolfram Knörr, IFEU Heidelberg, April/Mai 2009, der als Hauptverantwortlicher für die TREMOD-Entwicklung in die internationalen Vereinbarungen eingebunden ist.

<sup>7</sup> Die bisher veröffentlichte TREMOD-Version ist diesbezüglich noch nicht auf dem Stand der neuesten EU-Gesetzgebung.

Emissionen nehmen um 68% ab. Der geringere Rückgang ist darauf zurückzuführen, dass sich die indirekten Stickoxidemissionen in der Vorkette zur Kraftstoffbereitstellung kaum verändern. Die NO<sub>x</sub>-Reduktionen fielen noch stärker aus, würden sie nicht zum Teil infolge der bis zum Prognose-Szenario 2025 steigenden Fahrleistung kompensiert.

**Abb. 4: NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 – 2025**



## 2.4 Partikel-Emissionen (Abgas und Abrieb) des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg

### 2.4.1 Übersicht und Methode

Partikel, Fein(st)staub,  $PM_{10}$  und  $PM_{2,5}$  sind fast synonyme Begriffe für Luftverunreinigungen. Epidemiologische Studien zeigen einen Zusammenhang zwischen Feinstaub-Konzentrationen und insbesondere Herz-Kreislauf-Erkrankungen. In den letzten Jahren verdichten sich Hinweise auf *die besondere gesundheitliche Bedeutung sehr kleiner Partikel*, das heißt in der Größenklasse von (viel) kleiner als  $2,5 \mu m$ . Mittlerweile geben Tierexperimente erste Hinweise auf die Wirkmechanismen dieser Kleinstpartikel, indem ihr Übergang aus der Lunge ins Blut nachgewiesen wird.

Die **aktuelle Gesetzgebung** bezieht sich auf  $PM_{10}$ -Immissionskonzentrationen. Hierzu tragen u.a. die Partikel der Motorenabgase und die direkten Abriebemissionen der Kfz bei. Sie bestehen aus dem Abrieb von Bremsen, Reifen und Fahrbahn. Sie sind je nach Fahrzeugtyp und Fahrweise sehr unterschiedlich.<sup>8</sup> Die in der EU **vorbereitete Gesetzgebung** fokussiert sich auf die  $PM_{2,5}$ -Konzentration. Zu dieser Größenklasse tragen dann nur noch die motorischen Emissionen vor allem der Diesel-Kfz bei. Deshalb trennen wir die Ergebnisdarstellung in die  $PM_{10}$ -Emissionen und in die zukünftig wichtigeren  $PM_{2,5}$ -Emissionen.

Die direkten Partikel-Abgasemissionen wurden über die Fahrleistungen in Baden-Württemberg, die Flottenzusammensetzung nach TREMOD (Deutschland) und die Emissionsfaktoren aus TREMOD berechnet. Sie werden der Größenklasse  $PM_{2,5}$  zugerechnet. Die Faktoren für die Abriebemissionen sind bisher nicht im TREMOD implementiert. Die kommende Version von TREMOD wird die Faktoren auf der Grundlage von Ecofys/CORINAIR berücksichtigen.<sup>9</sup> Wegen der Kompatibilität zu den bundesdeutschen Berechnungen verwenden wir diese Faktoren auch für diese Arbeit. Abriebemissionen fallen vollständig unter die  $PM_{10}$ -Emissionen, sind jedoch größer als  $PM_{2,5}$ .

### 2.4.2 Ergebnisse

Die direkten  **$PM_{2,5}$ -Abgasemissionen** des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg des Jahres **2004** wurden zu fast gleichen Teilen vom Lkw-Verkehr und den Diesel-Pkw verursacht. Die direkten **Abriebemissionen** des Straßenverkehrs im Jahr 2004 trugen knapp die Hälfte der direkten  **$PM_{10}$ -Emissionen** in Baden-Württemberg bei. Sie wurden überwiegend von den Pkw emittiert, deren höhere Fahrleistung den Einfluss der spezifisch höheren Abriebemissionen der Nutzfahrzeuge überwiegt (siehe Abb. 5).

Die direkten  $PM_{10}$ -Emissionen weisen im Prognose-Szenario **2025** große Unterschiede zwischen Abgas- und Abriebemissionen auf. Die *Abriebemissionen* steigen wegen der Zunahme der Fahrleistungen bis ins Prognosejahr 2025 um insgesamt rund 25% an. Daher gehen die direkten  **$PM_{10}$ -Emissionen** nur um 50 % zurück.

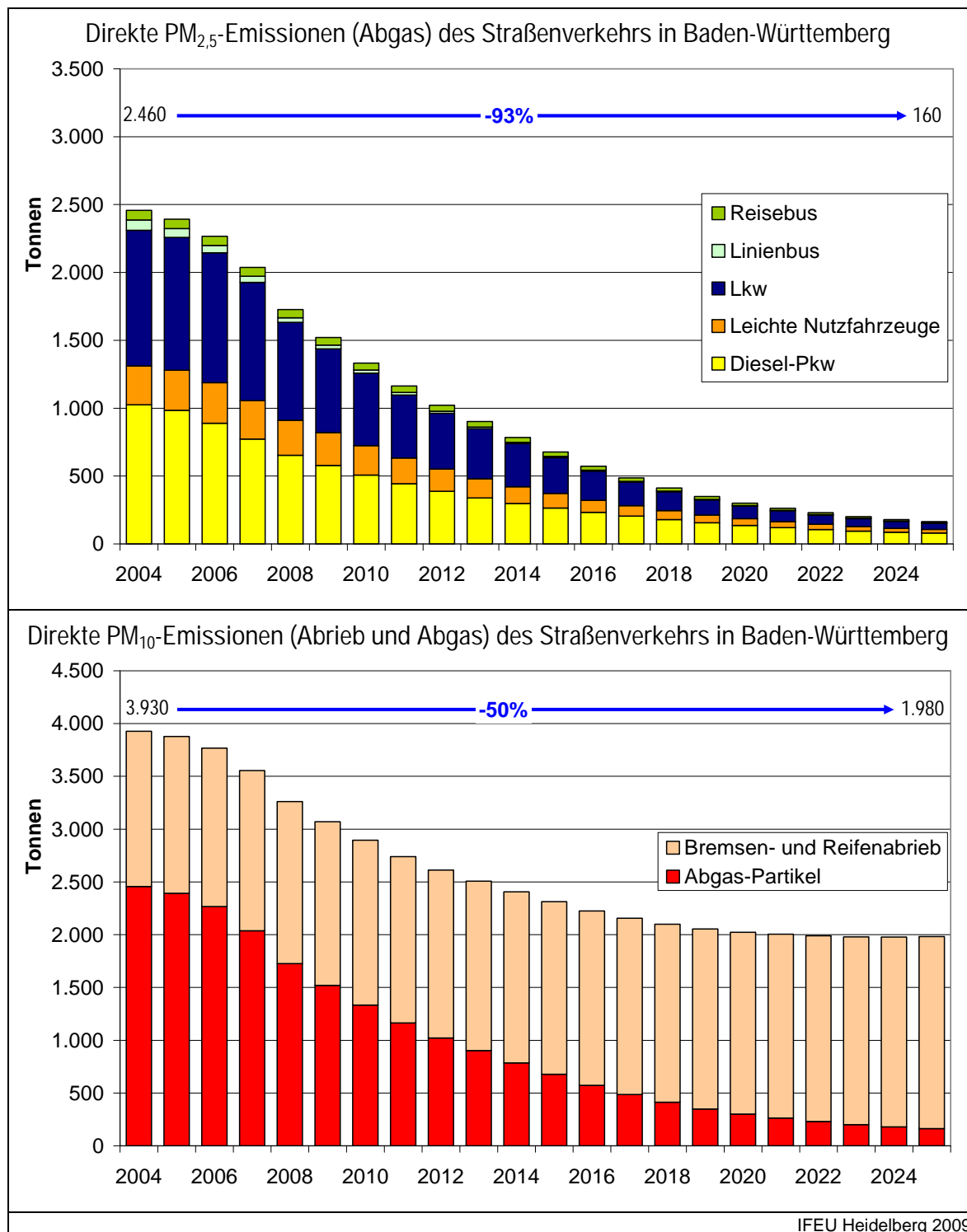
---

<sup>8</sup> In manchen Arbeiten werden auch die Abriebemissionen der Straße berücksichtigt. Die dazu verfügbaren Emissionsfaktoren weisen sehr große Bandbreiten auf. Diese Unsicherheiten und die wohl vernachlässigbare gesundheitliche Relevanz dieser Emissionen lassen eine Quantifizierung im Rahmen eines Landesinventars als nicht zielführend erscheinen.

<sup>9</sup> M. Koch, Ecofys: „Harmonisierung der Emissionsberichtserstattung II: Staub, Feinstaub,  $PM_{10}$  und  $PM_{2,5}$ “. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Oktober 2004. Der Bericht referiert bei den Abriebemissionen des Straßenverkehrs die Faktoren aus dem EMNEP/CORINAIR-Guidebook, Group 7 „Road Transport“ (Januar 2003) und dort die Ergänzung „Road Vehicle Tyre & Brake Wear, Road Surface Wear“ von Ntziachristos, 2003.

Die gesundheitlich bedeutsamen **PM<sub>2,5</sub>-Emissionen** zeigen hingegen trotz des angenommenen Anstiegs der Fahrleistung der Diesel-Kfz bis in das Jahr 2025 einen Rückgang von über 90%. Dies ist eine Folge der Durchdringung des Bestandes mit Fahrzeugen, die aktuellen und den kommenden Grenzwerten mit sehr geringen Partikelemissionen genügen müssen.

**Abb. 5: Direkte PM<sub>2,5</sub>- und PM<sub>10</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 – 2025**



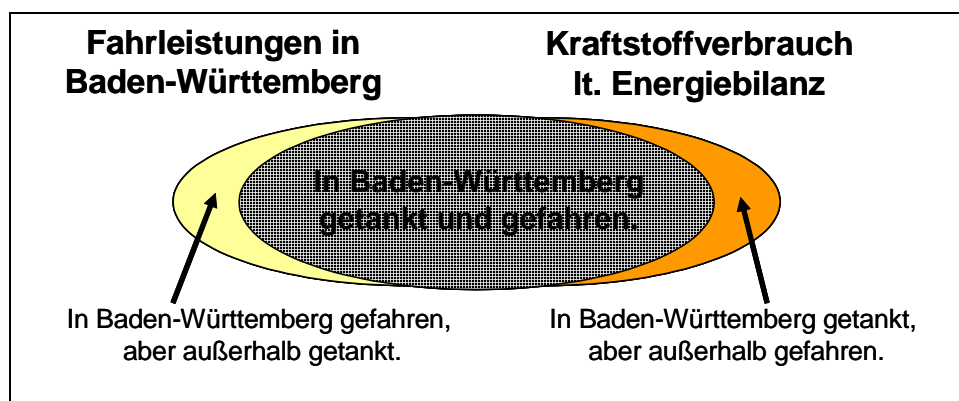
## 2.5 Energieverbrauch und Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg nach dem Territorial- und Energiebilanz-Prinzip

### 2.5.1 Übersicht zu beiden Abgrenzungsprinzipien

Der Energieverbrauch (und parallel dazu die Emissionen) des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg wurde in den vorstehenden Kapiteln auf Grundlage der gemessenen bzw. teilweise hochgerechneten **Fahrleistungen** in Baden-Württemberg und damit nach dem **Territorialprinzip** berechnet und dargestellt. Der Energieverbrauch des motorisierten Verkehrs lässt sich auch der **Energiebilanz** eines Landes entnehmen, da dort der *Absatz* an Diesel-Kraftstoff und Benzin erfasst sind. Damit kann die Energiebilanz ein gutes Korrektiv für die punktuelle und unvollständige Messung und landesweite Hochrechnung der Verkehrsströme und die Berechnungen des Verbrauchs nach dem Territorialprinzip sein.

Die Energiebilanz ist Rechengrundlage der nationalen Klimaberichterstattung in Deutschland und auch Basis der bisherigen Darstellung von Treibhausgasemissionen z.B. im Umweltplan des Landes Baden-Württemberg.

**Abb. 6: Abweichungen zwischen statistischem und tatsächlichem Kraftstoffverbrauch des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg (schematisch)**



Allerdings müssen diese beiden Datensätze nicht miteinander übereinstimmen. Dafür gibt es, neben der Möglichkeit der Fehler in der Erfassung der Daten, der Beschreibung der Verkehrsabläufe und den Unsicherheiten der Emissionsfaktoren, v.a. zwei Ursachen:

- Zum einen ist der innerhalb der Grenzen eines Landes getankte Kraftstoff nicht identisch mit demjenigen Kraftstoff, der zur Erbringung der Fahrleistung in diesem Land dient (siehe Schema in Abb. 6):
  - Dieses Problem wird offensichtlich, wenn dies- und jenseits einer Landesgrenze unterschiedliche Preise bestehen. So werden Baden-Würtemberger oder Fahrer, die durch Baden-Württemberg fahren, dann in Baden-Württemberg tanken, wenn im Nachbarland, in das sie anschließend fahren, ein höherer Preis zu erwarten ist. Der Kraftstoffabsatz findet dann in Baden-Württemberg statt, die Fahrleistung hingegen im Ausland. Die Energiebilanz zeigt einen größeren Verbrauch an als er der Fahrleistung im Land entspricht. Umgekehrt erniedrigt das Tanken im Ausland die Werte der Energiebilanz Baden-Württembergs, obwohl die (Durch-) Fahrt in Baden-Württemberg stattfindet. Die Fahrleistungswerte reduzieren sich also nicht.
  - Bei den Pkw ist der Tanktourismus dadurch limitiert, dass aus Zeit- und Kostengründen in der Regel dort getankt wird, wo auch gefahren wird. Bei den Fernverkehrs-Lkw ist wegen der großen Tanks der Kraftstoffpreis in den Ländern der gewählten Route für den Ort der Betankung ausschlaggebend.

- Schließlich deckt sich auch ohne den Tanktourismus bei vielen Autofahrern der Ort/das Bundesland des Tankens nicht mit dem Ort/dem Bundesland der Fahrleistung. Gerade bei untypischen und weiteren Fahrten wird getankt, wo man sich gerade befindet, unabhängig der Grenzen der Bundesländer. Im besten Fall heben sich beide Effekte auf, aber es kann auch zu größeren Unterschieden zwischen Kraftstoffstatistik und tatsächlichem Verbrauch im Land kommen.
- Zum zweiten enthält die Energiebilanz eine Zuordnung des abgesetzten Kraftstoffes auf die einzelnen Verbrauchersektoren. Hier können unterschiedliche Kriterien angesetzt werden:
  - Für den Absatz von Benzin (= Otto-Kraftstoff) kommt in der Regel nur der Straßenverkehr in Frage. Andere Verbraucher sind marginal, beispielsweise kleine Sportboote oder Rasenmäher. Laut Energiebilanz Baden-Württemberg 2005 entfallen 0,9% des gesamten Benzinverbrauchs auf den Bereich „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher“.
  - Bei Diesel-Kraftstoff hat dieser Bereich laut Energiebilanz einen Anteil von 4,9%. Hierunter fällt auch der Dieserverbrauch im Off-Road-Sektor (Land- und Forstwirtschaft, Baubereich) und beim Militär. Untersuchungen des IFEU haben ergeben, dass der Energieverbrauch des Off-Road-Sektors höher sein muss als in der offiziellen Energiebilanz ausgewiesen wird.<sup>10</sup> Hier liegt die Vermutung nahe, dass ein Teil des Kraftstoffs, der tatsächlich in Bau-, Land- und Forstwirtschaft verbraucht wird, in der offiziellen Energiebilanz dem Straßenverkehr zugerechnet wird.

### 2.5.2 Vergleich der Daten nach Territorialprinzip und Energiebilanz für 2005

Wir vergleichen nachfolgend die Daten zum Energieverbrauch und den Kohlendioxidemissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg, die für das Jahr 2005<sup>11</sup> zum einen vom Statistischen Landesamt nach dem Energiebilanz-Prinzip und zum anderen von uns nach dem Territorialprinzip berechnet wurden (siehe Abb. 7):

- Die Energiebilanz Baden-Württemberg 2005 weist für den Straßenverkehr einen **Benzinverbrauch** aus, der etwa 3% niedriger ist als mit den Berechnungen nach dem Territorialprinzip. Hier ist demnach ein Einfluss von Tanktourismus erkennbar.
- Der **Dieserverbrauch** laut Energiebilanz ist hingegen um 14% höher, als die Berechnungen nach dem Territorialprinzip ergeben.
  - Die Hauptursache für diese Diskrepanz ist die unvollständige Zurechnung des Dieserverbrauchs auf die Bau-, Land- und Forstwirtschaft, die in Baden-Württemberg einen großen Stellenwert hat. In der Energiebilanz für Deutschland des Jahres 2005 hatte der Bereich „Haushalte, Gewerbe, Handel, Dienstleistungen und übrige Verbraucher“, der auch den Off-Road-Sektor (Land- und Forstwirtschaft, Baubereich) enthält, einen Anteil von 7,1% am gesamten Dieserverbrauch, in Baden-Württemberg hingegen von 4,9%. Allein dieser Unterschied legt nahe, dass die Angabe in der Energiebilanz Baden-Württembergs zu niedrig ist. Hinzu kommt, dass – wie oben zitiert – der Off-Road-Sektor generell unterschätzt wird. Eine Hochrechnung der IFEU-Auswertung für Deutschland zeigt, dass der gesamte Bereich „Übrige Verbraucher“ einen Anteil von rund 15% am Dieserverbrauch hat. Danach sind

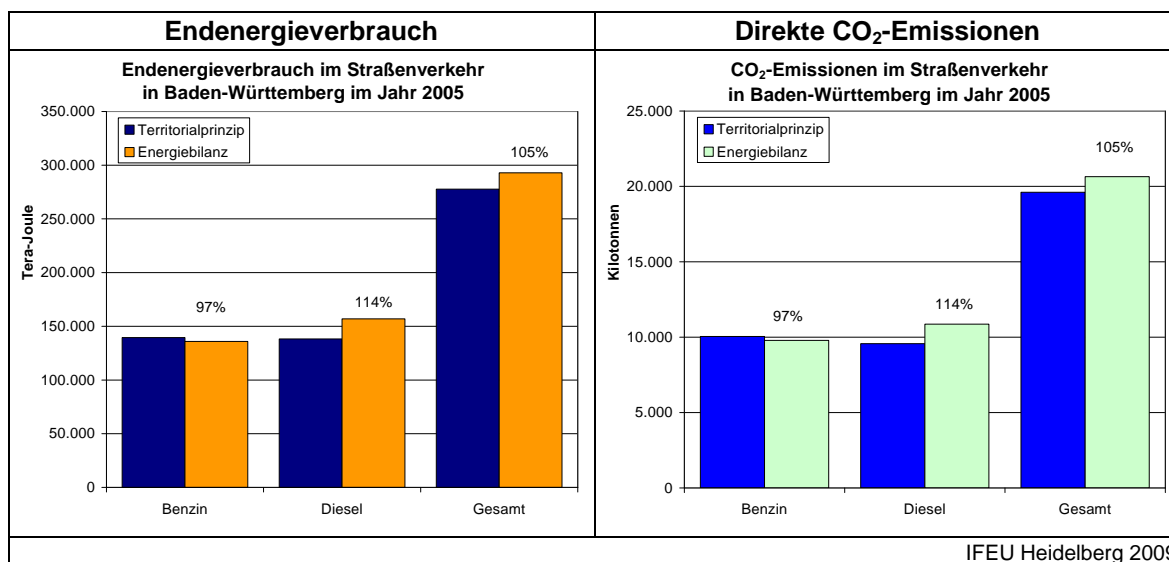
<sup>10</sup> Udo Lambrecht et al, IFEU: „Entwicklung eines Modells zur Berechnung der Luftschadstoffemissionen und des Kraftstoffverbrauchs von Verbrennungsmotoren in mobilen Geräten und Maschinen“. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Januar 2004

<sup>11</sup> Wir verwenden das Jahr 2005 als Vergleichsjahr, weil hier das Statistische Landesamt und diese Untersuchung auf ein abgestimmtes Fahrleistungsgerüst des Verkehrs zurückgreifen.

rund 10%-Punkte des Unterschiedes von 14% zwischen Energiebilanz und Territorialprinzip in Baden-Württemberg der unvollständigen Zurechnung auf den Sektor „Übrige Verbraucher“ zuzuschreiben.

- Eine zweite Ursache liegt in dem negativen Preisgefälle bei Dieselmotoren zu der Schweiz. Dort ist Diesel üblicherweise teurer als in Deutschland. Der exakte Beitrag des inländischen „Tanktourismus“ kann hier nicht vertiefend betrachtet werden.
- Beide Kraftstoffe zusammen betrachtet lag der **Endenergieverbrauch** des Straßenverkehrs im Jahr 2005 nach Energiebilanz um 5% höher als nach dem Territorialprinzip.
- Die Unterschiede zwischen Territorialprinzip und Energiebilanzprinzip wirken sich auch auf die Berechnung der **CO<sub>2</sub>-Emissionen** aus. Sie liegen nach dem Energiebilanzprinzip 2005 um 5% höher als nach dem Territorialprinzip.

**Abb. 7: Vergleichende Darstellung des Endenergieverbrauchs und der direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg 2005 nach der Energiebilanz und dem Territorialprinzip**



Bei der Berechnung der **Luftschadstoffemissionen** würde sich der unterschiedliche Bilanzierungsansatz deutlicher auswirken. Denn der vermeintlich höhere Absatz an Dieselmotoren würde wegen der hohen spezifischen NO<sub>x</sub>- und Partikelemissionen der Dieselmotoren zu höher berechneten direkten Stickoxid- und Abgas verursachten Partikelemissionen des Straßenverkehrs führen, als dieses nach dem Territorialprinzip der Fall ist.

International verpflichtende nationale Berichterstattungen, die sich wie das NEC-Protokoll auf die Energiebilanz beziehen müssen, würden demnach für Baden-Württemberg höhere Werte angeben, als sie nach dem Territorialprinzip anfallen. Bisher ist eine derartige Berichterstattung nur für das gesamte Bundesgebiet verpflichtend. Dagegen ist unter dem Aspekt der regionalen Luftreinhaltung im Land Baden-Württemberg die tatsächliche Höhe der Luftschadstoffemissionen die entscheidende Größe. Daher wurden in dieser Untersuchung die Luftschadstoffemissionen des Verkehrs ausschließlich nach dem Territorialprinzip bilanziert.

### 3 Schienenverkehr

Der Schienenverkehr umfasst die Verkehrsleistungen der Deutschen Bahn und der nicht bundeseigenen Bahnen (Antriebsenergie Elektrizität, Diesel; Beförderung von Personen bzw. Gütern) und die Verkehrsleistungen des Öffentlichen Personennahverkehrs mit Straßen-, Stadt- und U-Bahnen. Diese Daten sind die Grundlage für die Berechnungen von Energieverbrauch, Kohlendioxid und der Schadstoffemissionen  $\text{NO}_x$  und Partikel. Die Emissionsfaktoren des Dieselbetriebs sowie die durchschnittlichen energetischen Verbräuche werden über das IFEU-Modell TREMOD bereitgestellt.

Im Rahmen des Emissionsgutachtens für den GVP werden die Emissionen des Schienenverkehrs in Baden-Württemberg für die Jahre 2004 bis 2025 berechnet. Verkehrsleistungen für das Basisjahr 2004 sowie für das Fortschreibungsjahr 2025 werden aus der Gesamtverkehrsprognose übernommen. Für die Emissionsberechnungen der Zwischenjahre 2005-2024 werden von IFEU die Verkehrsleistungen linear interpoliert. Zusätzlich wird von IFEU eine Aufteilung der Verkehrsleistungen zwischen Elektro- und Dieseltraktion analog zu den bundesdurchschnittlichen Anteilen vorgenommen.

Zu unserem Vorgehen im Einzelnen:

- Die Verkehrsleistungen für das Territorium Baden-Württembergs im Jahr 2004 sowie im Prognosejahr 2025 werden für den Personenverkehr (Fernverkehr, Regionalverkehr) sowie den Güterverkehr aus der Gesamtverkehrsprognose übernommen.
- Die Verkehrsleistungen der Straßen-, Stadt- und U-Bahnen („SSU-Bahnen“) werden in der Gesamtverkehrsprognose nur innerhalb des Summenwerts „ÖSPV“ aufgeführt. Sie enthalten auch die Personenverkehrsleistung der Linien- und Reisebusverkehre. Die Verkehrsleistung der SSU-Bahnen am ÖSPV wurden anhand von Daten des Statistischen Landesamtes sowie des Verbands Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) wie folgt abgeleitet.
  - Die Verkehrsleistung des ÖSPV (Liniennah- und -fernverkehr mit Bussen, Straßen- und U-Bahnen) beträgt nach der Gesamtverkehrsprognose 10,9 Mrd. Pkm (2004).
  - Laut Statistischem Landesamt wies der ÖSPV im Jahr 2005 mit 11,1 Mrd. Pkm eine fast gleich hohe Verkehrsleistung wie in der Gesamtverkehrsprognose des GVP für das Jahr 2004. Der Analyse des Statistischen Landesamtes folgend hatte der Liniennahverkehr (Linienbus, Straßen- und U-Bahnen) an der Verkehrsleistung einen Anteil von 73% (8,1 Mrd. Pkm). Den Rest von 27% trug der Fern-Gelegenheitsverkehr (also Reisebusse) bei.
  - Die Statistik des VDV erfasst alle Straßen-, Stadt- und U-Bahnen in Baden-Württemberg und beziffert sie mit 1,5 Mrd. Pkm. Wir verwenden diesen Wert zur Bestimmung der Verkehrsleistungen der SSU-Bahnen für das Jahr 2004. Die Daten für Linien- und Reisebusse ergeben sich aus der Differenz zum gesamten ÖSPV und der prozentualen Aufteilung nach den Werten des Statistischen Landesamtes.
- Die Fortschreibung der Verkehrsleistungen bis 2025 wurde für alle ÖSPV-Verkehrsträger entsprechend der Daten der Gesamtverkehrsprognose einheitlich mit einer Steigerungsrate von 1 % angesetzt.

### 3.1 Energieverbrauch und Kohlendioxidemissionen

Die Emissionsfaktoren für CO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und Abgaspartikel des Schienenverkehrs stammen für die direkten Emissionen wie auch für die Vorkette der Energiebereitstellung aus TREMOD. Somit verwenden wir für die Bewertung der Emissionen aus der Bereitstellung der Elektrizität den bundesdeutschen Wert. Für die Berechnung mit den Emissionen eines Baden-Württemberg-spezifischen Stromerzeugungsmixes besteht unseres Erachtens angesichts der hohen Ausgleiche der Stromerzeugung bzw. -nachfrage zwischen den Bundesländern keine Veranlassung.

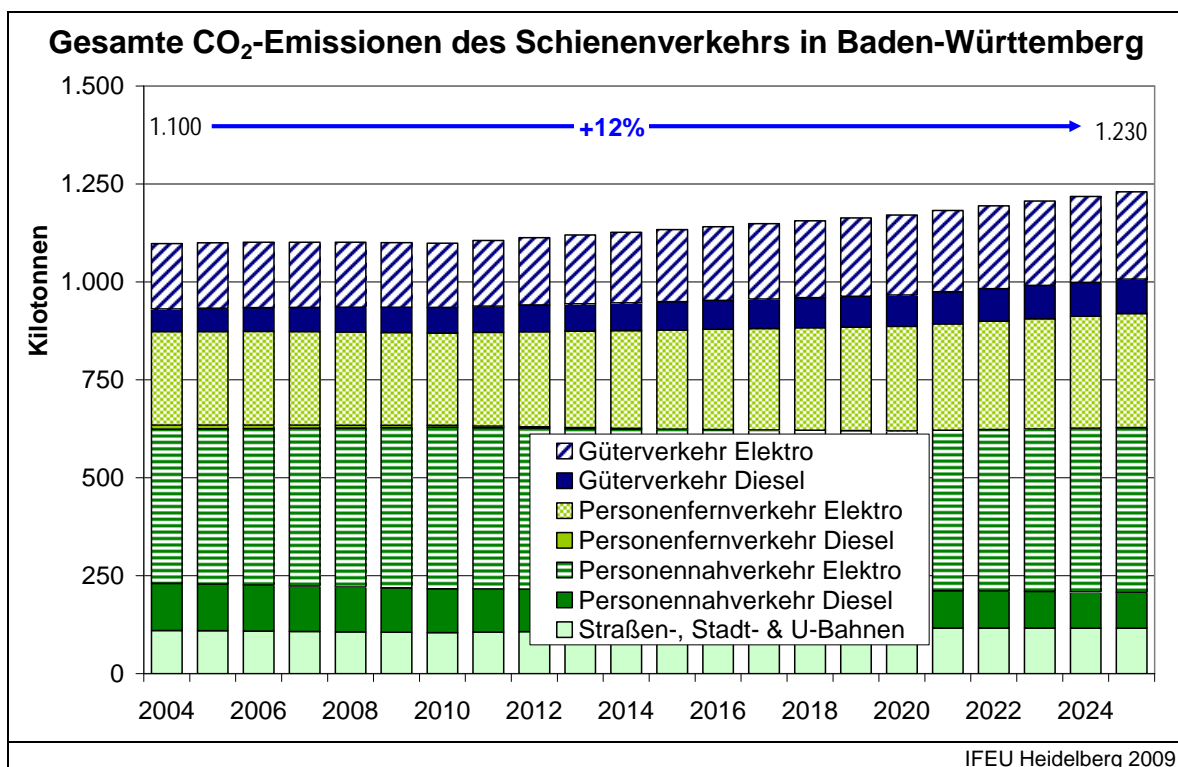
Die Energieverbräuche und die Emissionsfaktoren für den Dieselbetrieb im Jahr **2025** werden aus den in TREMOD enthaltenen Abschätzungen für den zukünftigen Schienenverkehr übernommen. Die Energiewerte für die elektrischen Bahnen des Jahres 2025 stammen ebenfalls aus TREMOD. Aus dieser Quelle werden auch die Emissionen der bundesweiten Stromerzeugung des Jahres 2025 übernommen.

#### 3.1.1 Ergebnisse 2004

Die *gesamten* CO<sub>2</sub>-Emissionen im Schienenverkehr setzen sich aus den direkten Emissionen der Nutzung des Dieselkraftstoffes sowie den vorgelagerten Kraftwerks- bzw. Raffinerieemissionen der Strom- bzw. Diesel-Erzeugung sowie ihren energetischen Vorketten zusammen.

Die *direkten* CO<sub>2</sub>-Emissionen werden allein über den Verbrauch an Diesel-Kraftstoff erzeugt, eine im Vergleich zur Elektrotraktion geringe Größe. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen der Dieseltraktion erweisen sich mit einem Anteil von 15% an der Gesamtemission „Schienenverkehr“ im Jahr 2004 als gering und sind nicht separat dargestellt.

**Abb. 8: Gesamte CO<sub>2</sub>-Emissionen des Schienenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 – 2025**



Der Personenverkehr hat an den *gesamten* CO<sub>2</sub>-Emissionen des Schienenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 einen Anteil von 80%. Zudem zeigt Abb. 8 die große Bedeutung des elektrischen Schienen*nah*verkehrs, der in Baden-Württemberg mehr elektrischen Strom verbraucht und Kohlendioxidemissionen verursacht als der Personenfernverkehr.

Die bisher dargestellten Daten entsprechen den im Land erbrachten Verkehrsleistungen (**Territorialprinzip**). Die nach der **Energiebilanz** abgeleiteten Werte würden davon abweichen. Denn gegenüber dem geringen Verbrauch an **Dieselmotorkraftstoff**, der auf der Basis der Verkehrsleistungen des Statistischen Landesamts und der bundesdurchschnittlichen Daten zum Auslastungsgrad und dem Energieverbrauch der verwendeten dieselbetriebenen Bahnen ermittelt wurde, liegt der im Schienenverkehr verbrauchte Dieselmotorkraftstoff nach der Energiebilanz Baden-Württemberg 2004 um 33% niedriger. Das würde dann auch für die CO<sub>2</sub>-Emissionen gelten. Dagegen fallen die Daten der Energiebilanz für den **elektrischen Schienenverkehr** höher aus, als sie nach dem Territorialprinzip von uns berechnet würden. Dadurch werden die statistischen Minderverbräuche der Dieseltraktion kompensiert.

Diese Abweichung halten wir allerdings nicht für besonders problematisch. In den Länder-Energiebilanzen ist für den Schienenverkehr der Stromverbrauch angegeben, der von Kraftwerken im Land in das Stromnetz eingespeist wird. Der angegebene Dieselmotorkraftstoffverbrauch entspricht der im Land von Dieselloks und -triebwagen getankten Energiemenge. Das kann, ähnlich wie im Straßenverkehr, zu Abweichungen zwischen dem statistischen und dem tatsächlichen Energieverbrauch des Schienenverkehrs in Baden-Württemberg führen. Der Bahnstrom wird im besten Fall so eingespeist und abgerechnet, dass er die Landesgrenzen wiedergibt. In Wirklichkeit werden aber eher bestimmte Trassen bzw. Relationen dafür bestimmend sein.

### 3.1.2 Ergebnisse 2004 - 2025

Basierend auf den Ergebnissen der Gesamtverkehrsprognose für Baden-Württemberg werden über die Änderungen in den Verkehrsleistungen der einzelnen Zugarten, geänderte technische Ausstattungen und den geänderten Strommix (beides nach TREMOD) die Energieverbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen bis in das Prognosejahr 2025 berechnet. (s. Abb. 8).

Die *direkten* CO<sub>2</sub>-Emissionen des Schienenverkehrs bleiben danach zwischen 2004 und 2025 nahezu unverändert. Allerdings werden sie nur über die Dieseltraktion des Güterverkehrs und des Schienen*nah*verkehrs verursacht und stellen daher eine für den gesamten Schienenverkehr untergeordnete Größe dar. Die *gesamten* CO<sub>2</sub>-Emissionen erhöhen sich um 12%. Dabei steigen die Emissionen des Personenverkehrs um 5%, die des Güterverkehrs nehmen um 38% zu.

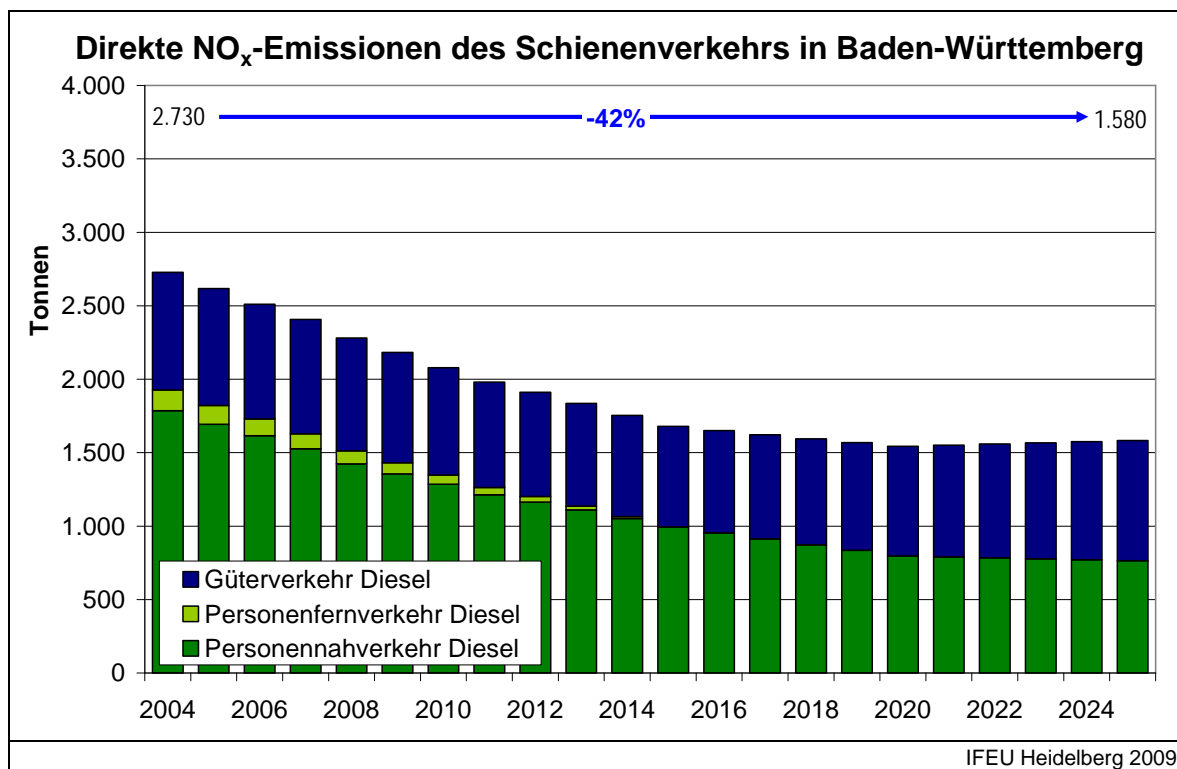
### 3.2 Stickoxidemissionen

Die direkten NO<sub>x</sub>-Emissionen werden analog zu den Kohlendioxidemissionen über die Verkehrsleistungen und die für die bundesdeutsche Situation typischen Emissionsfaktoren berechnet. Die gesamten Stickoxidemissionen enthalten wiederum auch die Emissionen infolge der Stromnutzung. Die Emissionen der Dieselnutzung tragen viel stärker zu den gesamten Emissionen des Schienenverkehrs bei als bei den Kohlendioxidemissionen. Dieses erklärt sich durch die hohen spezifischen Stickoxidemissionen im Diesel-betriebenen Schienenverkehr.

#### 3.2.1 Ergebnisse 2004

Im Jahr 2004 kamen etwa 75% der gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen des Schienenverkehrs aus den **direkten Emissionen** im Dieselbetrieb. Der überwiegende Teil davon kam mit 65% aus dem Personen-Nahverkehr. Der Güterverkehr trug ca. 29% bei. Aus dem Personen-Fernverkehr, der kaum mit Dieseltraktion erfolgt, stammten nur 5% der direkten NO<sub>x</sub>-Emissionen (siehe Abb. 9).

**Abb. 9: Direkte NO<sub>x</sub>-Emissionen des Schienenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 – 2025**

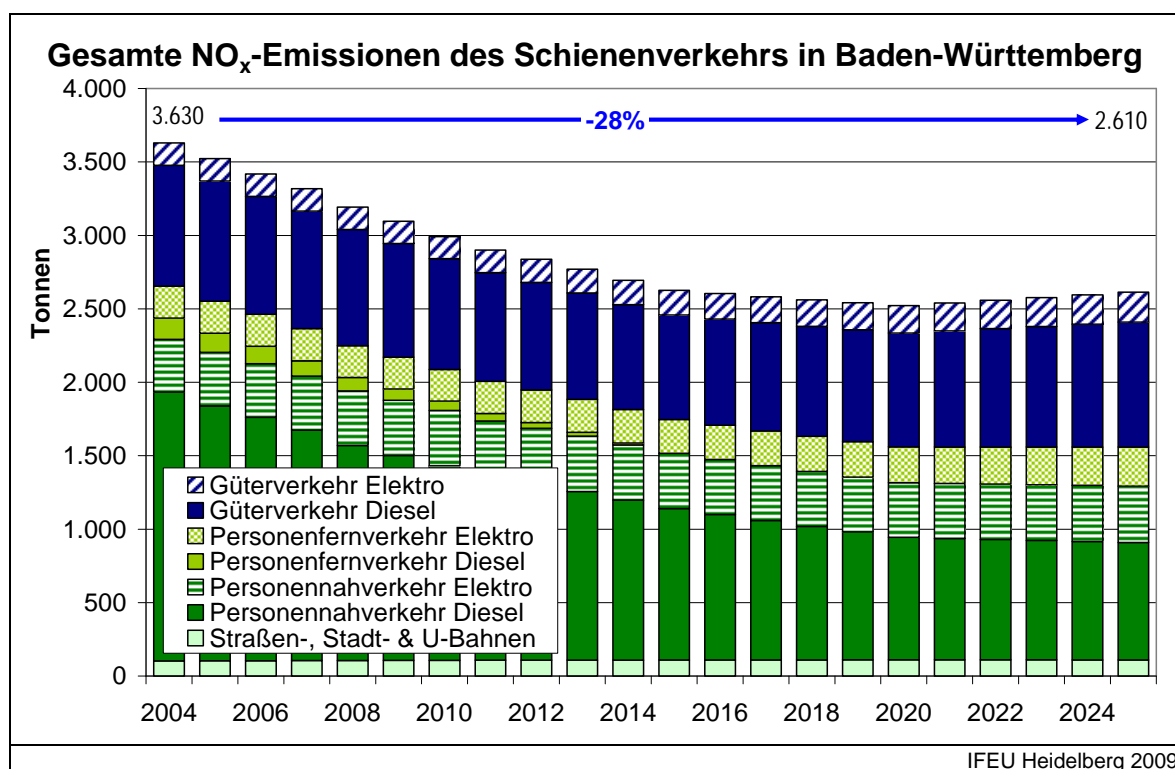


Bei den **gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen** spielt der (überwiegend elektrische) Fernverkehr zwar eine größere Rolle, hat aber dennoch nur einen Anteil von 10%. Dominierend waren auch hier der Personen-Nahverkehr mit 60% und der Güterverkehr mit 27% (Abb. 10).

### 3.2.2 Ergebnisse 2004 - 2025

Da zukünftig infolge der Grenzwertsetzung spezifisch geringere NO<sub>x</sub>-Emissionen der Dieseltraktion zu erwarten sind und auch in der Berechnung berücksichtigt wurden, kompensiert dies den zwischen 2004 und 2025 prognostizierten Anstieg der Bahn-Verkehrsleistung in Baden-Württemberg und führt zu abnehmenden NO<sub>x</sub>-Emissionen. Die direkten NO<sub>x</sub>-Emissionen gehen um 42%, die gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen um 28% zurück. Der Güterverkehr bekommt wegen seines besonders hohen Anstiegs der Verkehrsleistung bis ins Prognosejahr mit 52% (direkte Emissionen) bzw. 40% (gesamte Emissionen) an den NO<sub>x</sub>-Emissionen des gesamten Schienenverkehrs ein höheres Gewicht.

**Abb. 10: Gesamte NO<sub>x</sub>-Emissionen des Schienenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 – 2025**



### 3.3 Partikel-Emissionen aus Abgas und Abrieb

Die Partikel-*Abgasemissionen* werden analog zu den Stickoxidemissionen über die Verkehrsleistungen und die für die bundesdeutsche Situation typischen Emissionsfaktoren ermittelt. Dafür kommen dann die direkten Emissionen des Diesel-betriebenen Schienenverkehrs in Baden-Württemberg in Frage. Diese entsprechen als Diesel-motorische Emissionen den Partikelemissionen der Größenklasse  $PM_{2,5}$ .

Die *Abriebemissionen* des Personennahverkehrs, Personenfernverkehrs und des Güterverkehrs bestehen vor allem aus dem Abrieb der Bremsbeläge, der Räder und der Schienen. Für die Berechnung der Abriebemissionen stehen seit Neuestem  $PM_{10}$ -Emissionsfaktoren der Deutschen Bahn zur Verfügung.<sup>12</sup> Diese sollen auch in TREMOD implementiert werden. Die Faktoren werden auch für die hier vorliegenden Berechnungen genutzt; die Faktoren für den Nahverkehr werden als Abriefaktoren für die Straßen-, Stadt- und U-Bahnen verwendet.

Wir lassen die Faktoren zwischen dem Basisjahr 2004 und dem Zieljahr 2025 weitestgehend unverändert. Dies betrifft nicht die  $PM_{10}$ -Abriebemissionen der Bremsbeläge. Denn heute sind die Wagen der Bahnen noch überwiegend mit Grauguss-Bremsklötzen ausgestattet. Allein aus Gründen des Lärmschutzes werden diese allmählich durch Komposit-Bremssohlen ersetzt werden, was auch zu geringeren Abriebemissionen führen wird. Da über den Zeitraum und den Umfang der finanziell aufwändigen Umrüstung der Bremsbeläge keine zuverlässige Aussage getroffen werden kann, halbieren wir die dadurch verursachten Abriebemissionen in dem Zeitraum 2004 bis 2025.

Wir berücksichtigen die Abriebemissionen wegen ihrer durchschnittlichen Größe nicht als  $PM_{2,5}$ -Emissionen und trennen wie beim Straßenverkehr die Ergebnisdarstellung nach den gesundheitlich relevanten  $PM_{2,5}$ -Emissionen und den vom Gesetzgeber in seiner Immissionserfassung noch vorgeschriebenen  $PM_{10}$ -Emissionen, die ja auch die  $PM_{2,5}$ -Emissionen enthalten.

#### Ergebnisse

Die Partikel-Abgasemissionen (=  $PM_{2,5}$ -Emissionen) wurden **im Jahr 2004** zu fast der Hälfte vom Diesel-betriebenen Güterverkehr verursacht. Die in der Grafik ebenfalls aufgeführten Bahnen mit Elektrotraktion weisen keine direkten Partikelemissionen auf (Abb. 11).

Die  $PM_{10}$ -Emissionen werden von den Abriebemissionen mit einem Anteil von 93% an den gesamten Partikel-Emissionen dominiert. Die direkten Partikel-Abgasemissionen spielen bei dieser rein massebezogenen Darstellung keine große Rolle, sind aber – wie mehrfach dargestellt – für die menschliche Gesundheit wesentlich bedeutsamer.

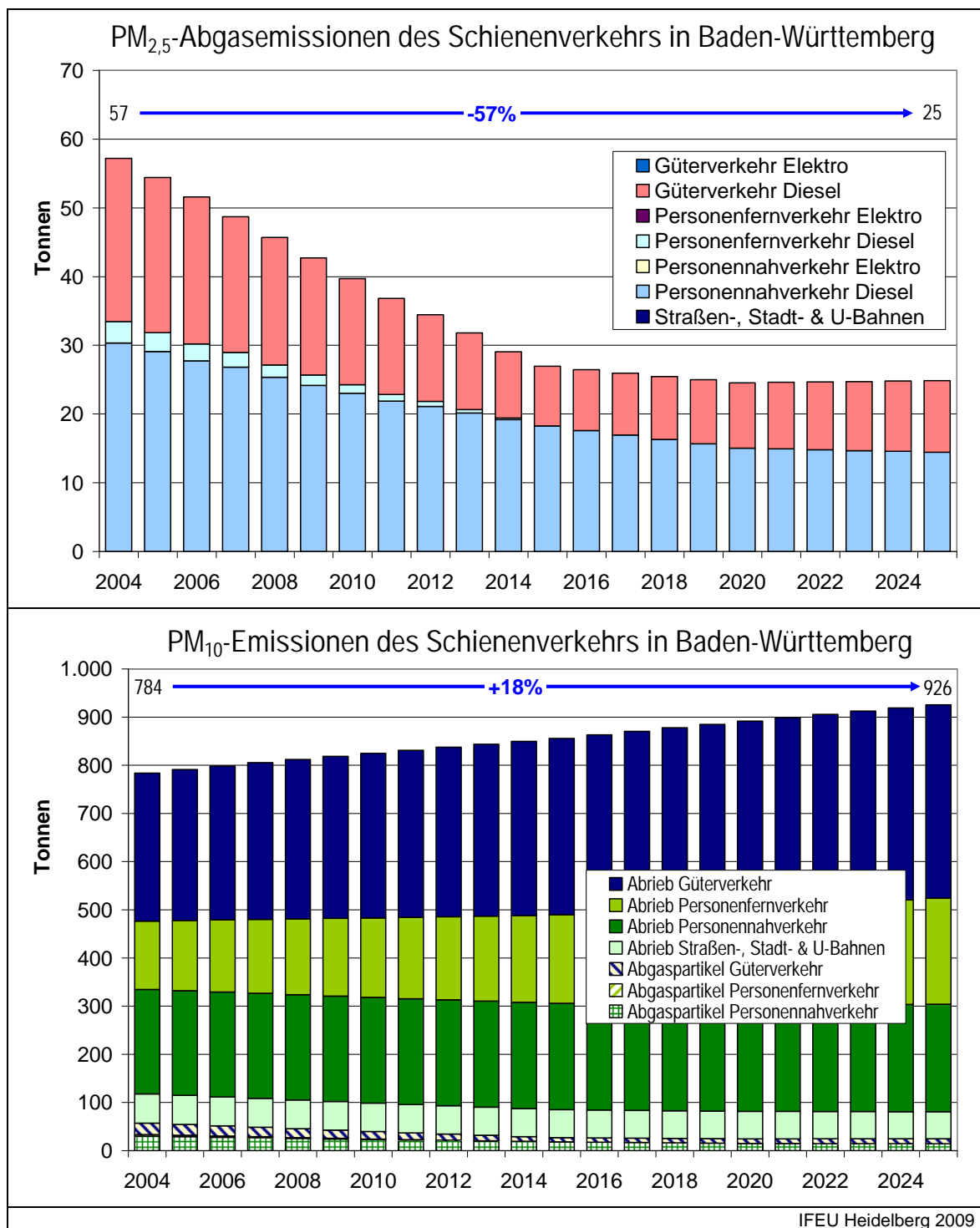
Zukünftig werden die  $PM_{2,5}$ -Emissionen, die allein den direkten Partikel-*Abgasemissionen* der Dieseltraktion entsprechen, durch die Grenzwertsetzung der EU-Gesetzgebung spezifisch geringer ausfallen. Demzufolge gehen die direkten Partikel-Abgasemissionen vom **Basisjahr 2004 bis ins Prognosejahr 2025** um 52% zurück (Abb. 11).

---

<sup>12</sup> A. Löchter, Deutsche Bahn, Bahn-Umwelt-Zentrum: "Modellsystem zur Berechnung des Abriebs und anderer luftgetragener Schadstoffe des Schienenverkehrs" Zeitschrift Immissionsschutz 04/2007. Erich Schmidt Verlag

Die direkten Abriebemissionen des Schienenverkehrs steigen im Zeitraum 2004 bis 2025 um 24% an. Dies ist insbesondere eine Folge des prognostizierten Anstiegs der Bahn-Verkehrsleistung in Baden-Württemberg und einer in diesem Größenspektrum nur geringen Verbesserung durch die Umrüstung der Bremsbeläge. Die gesamten direkten PM<sub>10</sub>-Emissionen nehmen bis 2025 trotz der Reduktion bei den PM<sub>2,5</sub>-Emissionen um 18% zu. Die Abriebemissionen haben im Jahr 2025 einen Anteil von 97%.

**Abb. 11: Direkte PM<sub>2,5</sub> und PM<sub>10</sub>-Emissionen des Schienenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 – 2025**



## 4 Binnenschiffverkehr

Der Verkehr mit Binnenschiffen beschreibt den Güter- und Personenverkehr auf den Binnengewässern in Baden-Württemberg. Die überwiegende Verkehrsleistung wird als Güterverkehr auf dem Rhein und auf dem Neckar erbracht. Personenschifffahrt und Sportboote sind mengenmäßig unbedeutend; sie werden im Rahmen des GVP nicht betrachtet.

Die Verkehrsleistungen der Binnenschifffahrt im Basisjahr 2004 sowie für das Fortschreibungsjahr 2025 werden aus der Gesamtverkehrsprognose übernommen. Die Verkehrsleistungen sind Basis der Berechnungen von Energieverbrauch, Kohlendioxid und der Schadstoffemissionen  $\text{NO}_x$  und Abgas-Partikel. Luftgetragene Partikelemissionen per Abrieb von Bremsen, Reifen oder Straßenbelag fallen bei Binnenschiffen nicht an.

Die Emissionsfaktoren sowie die durchschnittlichen energetischen Verbräuche werden über das Modell TREMOD bereitgestellt. Für die Emissionsberechnungen der Zwischenjahre 2005 - 2024 werden von IFEU die Verkehrsleistungen linear interpoliert.

### 4.1.1 Ergebnisse

Entsprechend der alleinigen Nutzung von Dieselkraftstoff stellen die direkten Emissionen den größten Anteil an den gesamten Emissionen (Abb. 12): bei den  $\text{CO}_2$ -Emissionen sind es 88%, bei den Stickoxiden 98% und bei den Partikel-Abgasemissionen 100%, da bei der Kraftstoffbereitstellung („Vorkette“) keine Partikelemissionen berücksichtigt werden. Die Partikelemissionen sind den  $\text{PM}_{2,5}$ -Emissionen zuzurechnen (siehe Kap. 2.4.1).

Nach den Vorgaben der Gesamtverkehrsprognose steigen die Verkehrsleistungen zwischen 2004 und 2025 um 28%. Dieses hat prinzipiell einen Anstieg der Emissionen zur Folge, der aber wegen unterstellter technischer Verbesserungen teilweise kompensiert wird. So steigen die  $\text{CO}_2$ -Emissionen in diesem Zeitraum um 22 bzw. 23% und die Partikel-Abgasemissionen um 12% an. Für die  $\text{NO}_x$ -Emissionen werden wegen der bevorstehenden EU-Gesetzgebung weitergehende technische Minderungen unterstellt, die einen Rückgang um 7% bewirken könnten.

### 4.1.2 Vergleich der Ergebnisse nach Territorial- und Energiebilanzprinzip

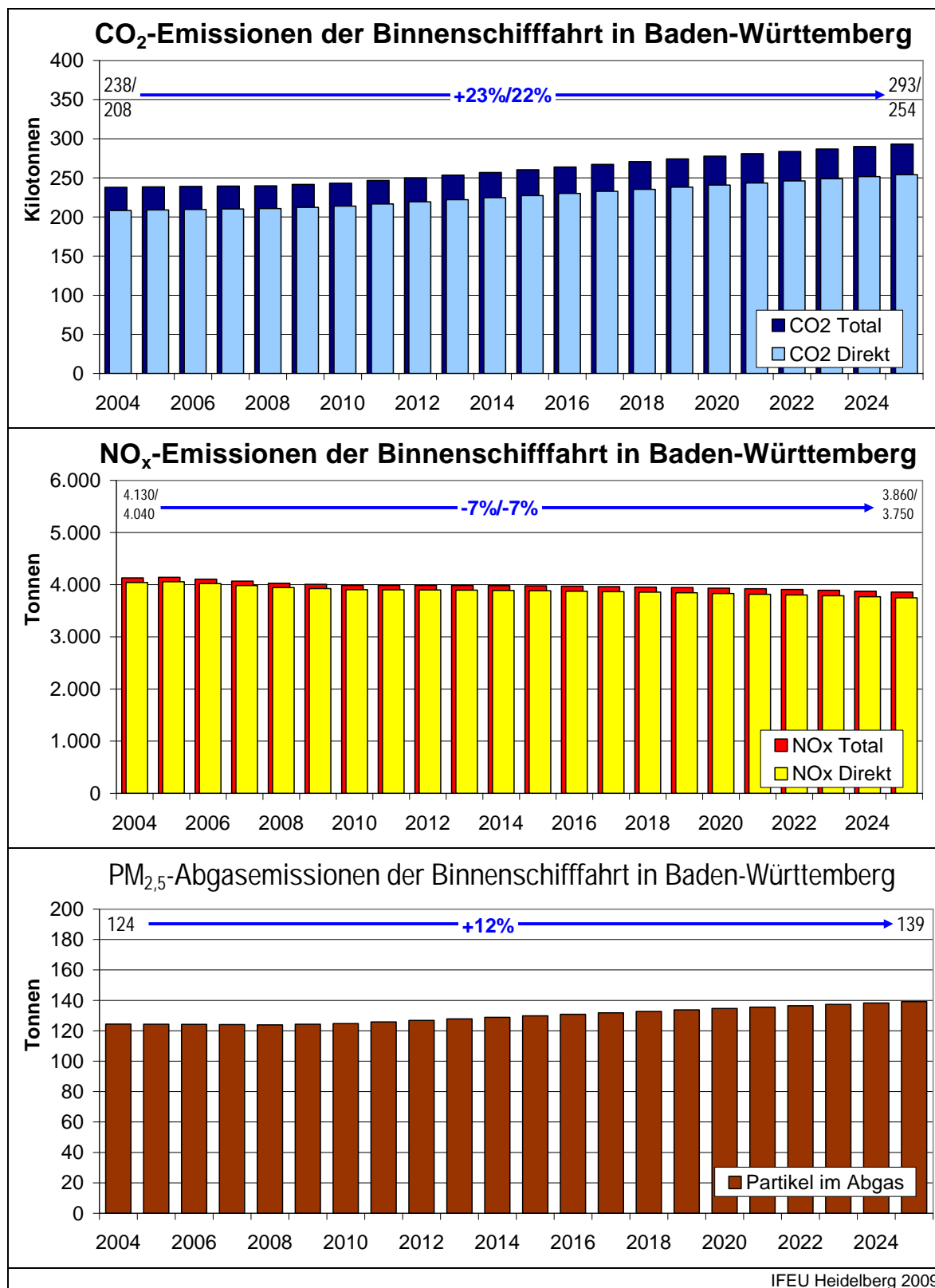
Die zuvor berichteten Daten bilden den Binnenschiffverkehr nach dem Territorialprinzip ab. Sie wurden über die Verkehrsleistungen der Binnenschifffahrt in Baden-Württemberg und Faktoren für den durchschnittlichen Energieverbrauch von Binnenschiffen berechnet. Zwar weisen die spezifischen Traktionsverbräuche der Binnenschiffe wegen der Unterschiede in der Schiffsgröße, im Alter und Zustand der verwendeten Technik, im Beladungsgrad der Schiffe und in den Anteilen der flussaufwärts bzw. flussabwärts transportierten Güter eine große Bandbreite auf. Doch ist der Abstand zu den Daten der Energiebilanz derart groß, dass er dadurch nicht erklärt werden kann. Denn die offizielle Energiebilanz des Landes Baden-Württemberg listet nur 24% des Energieverbrauchs auf, den eine Berechnung nach Territorialbilanz ergibt. Diese Diskrepanz kann nur die Ursache haben, dass die Betankung der Binnenschiffe mit großer Konsequenz außerhalb der Landesgrenzen erfolgt, was auch in anderen Bundesländern beobachtet wurde.<sup>13</sup>

---

<sup>13</sup> So sind von 1993 bis 2002 die Verbrauchswerte in den Energiebilanzen aller betrachteten Länder und des Bundes bei nahezu unveränderter Verkehrsleistung um rund 70% zurückgegangen. Siehe F. Dünnebeil et al., IFEU Heidelberg: „Datenzusammenstellung und Erstellung von Teilberichten zum 1. Klimaschutzbericht Rheinland-Pfalz – Teilbereich 1.2 Verkehr“. Im Auftrag der LfUWG Rheinland-Pfalz. September 2006

Für die Zwecke des GVP ist diese Fehlabbildung der baden-württembergischen Energiebilanz nicht von Belang. Doch führt dies dazu, dass die auf der Basis der Energiebilanz berechneten CO<sub>2</sub>-Inventare den Binnenschiffverkehr nur rudimentär darstellen.

**Abb. 12: Emissionen der Binnenschifffahrt in Baden-Württemberg 2004 – 2025**



## 5 Flugverkehr

### 5.1 Übersicht

Im vorliegenden Gutachten wird sich das Vorgehen auf den Flugverkehr, der von den Flughäfen Baden-Württembergs ausgeht, beschränken.<sup>14</sup> Demnach wird der Flugverkehr Baden-Württembergs über das Flugaufkommen und seine Energie- und CO<sub>2</sub>-Daten mit Hilfe der **Energiebilanz** abgebildet. Das aktuelle Flugverkehrsgeschehen dient dabei lediglich als Basis, um die in der Prognose zu erwartenden Energieverbräuche bzw. die **CO<sub>2</sub>-Emissionen** berechnen zu können.

In der Internationalen Berichterstattung zu den Emissionen der Klimagase ist es üblich, einen Anteil von 20% des gesamten Flugkraftstoffverbrauchs der Energiebilanz dem inländischen Flugverkehr zuzusprechen. Wir übernehmen diese Vorgehensweise, um mit den internationalen Gepflogenheiten kompatibel zu sein.

Die Emissionen der typischen **Luftschadstoffe** wie Stickoxide oder Partikel werden nicht berechnet. Sie fallen überwiegend in größerer Höhe und außerhalb der Landesgrenzen an. Im Gegensatz zu den Emissionen des Straßen-, Schienen- oder Schiffsverkehrs werden sie nicht in unmittelbarer Nähe zum Menschen emittiert. Die Luftschadstoffe des Flugverkehrs werden daher vor allem wegen ihres besonderen und zusätzlichen Beitrags zur Klimawirksamkeit beachtet, der allerdings in seinem Ausmaß noch nicht hinreichend geklärt ist und für die Themen dieses Gutachtens keine Rolle spielt.

### 5.2 Zum Verhältnis Fracht- und Personenflugverkehr

Um die Daten der Energiebilanz Baden-Württembergs für die Berechnungen der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Flugverkehrs und deren prognostische Fortschreibung bis ins Jahr 2025 verwenden zu können, muss geklärt werden, für welche Zwecke der Flugkraftstoffverbrauch derzeit verwendet wird. Der Bereich der **Klein- und Sportflugzeuge** wird dabei nicht bilanziert. Hierfür wird Flugbenzin getankt, das 0,7% des gesamten Kraftstoffverbrauchs des Flugverkehrs in Baden-Württemberg ausmacht und somit vernachlässigt werden kann.

Bedeutsam ist die Frage, welcher **Anteil des Flugverkehrs auf den Personen- bzw. den Güterverkehr** entfällt, um eine Basis für die Fortschreibung der Verkehrsleistungen und vor allem der Energieverbräuche des Personen- bzw. Güterverkehrs zu erhalten.

---

<sup>14</sup> Der Flugverkehr eines Bundeslandes ist zahlenmäßig nicht eindeutig zu beschreiben. Er kann z.B. die Verkehrsleistungen abbilden, die im Personen- und Güterverkehr *von baden-württembergischen Flughäfen* aus stattgefunden haben. Dabei können die Strecken bis zur Landesgrenze, zur ersten Zwischenlandung oder bis zum Flugziel bilanziert werden. Zudem können auch die Verkehrsleistungen der Rückflüge erfasst werden.

Andererseits nutzen viele Baden-Württemberger benachbarte Flughäfen wie Frankfurt, München, Zürich, Basel oder Straßburg. Somit kann als Alternative der *Flugverkehr eines Baden-Württembergers* erfasst werden, wiederum mit den unterschiedlichen Möglichkeiten der Definition „Landesgrenze“, „Zwischenlandung“, „Reiseziel“, „Hin- und Rückflug“.

Dieser Vielzahl der Fragestellungen folgen verschiedene Ansätze der Bilanzierung. Wenn es z.B. darum geht, wie die Klimagasemissionen einer Bevölkerung zu erfassen und evtl. zu reduzieren sind, sind ganzheitliche Ansätze wie diejenigen der Reiseziele und -länge zu bevorzugen, weil sie Handlungsoptionen ermöglichen.

Der Luftfrachtverkehr in Baden-Württemberg hatte im Jahr 2004 nach Angaben des Statistischen Bundesamtes am gesamtdeutsch abgehenden Frachtverkehr (Tonnen Einladung an deutschen Flughäfen) nur einen Anteil von 0,7%. Nach der Gesamtverkehrsprognose zum GVP wird sich dies bis ins Jahr 2025 nicht gravierend ändern.

Auch der Vergleich zwischen Personen- und Güterverkehr zeigt, dass die Gütermenge, die in Baden-Württemberg mit dem Flugzeug transportiert wird, um den Faktor 10 niedriger ist als im Bundesdurchschnitt. Da der gesamte Luftfrachtverkehr Deutschlands im Jahr 2004 nach TREMOD für 20% des gesamten Flugkraftstoffverbrauchs verantwortlich war, wird deutlich, dass der Frachtanteil des Flugverkehrs in Baden-Württemberg rund 2% des Flugkraftstoffes verbraucht.

Somit spielt die Luftfracht von Baden-Württemberg aus eine sehr geringe Rolle. Es ist für die Emissionsberechnungen und vor allem deren Fortschreibung hinreichend genau, den Energieverbrauch, den die Energiebilanz des Landes Baden-Württemberg dem Flugverkehr zuordnet, in seiner Gesamtheit dem **abgehenden Personenflugverkehr** zuzurechnen und denjenigen des Güterflugverkehrs nicht eigens zu berücksichtigen.

### 5.3 Energieverbrauch im Personenflugverkehr nach nationalen bzw. internationalen Flügen

Der Flugkraftstoffverbrauch der Energiebilanz Baden-Württemberg wird mit folgenden Überlegungen auf den nationalen und den internationalen Personenflugverkehr aufgeteilt:

- Der von Baden-Württemberg abgehende innerdeutsche Personenflugverkehr hatte im Jahr 2004 einen Anteil am gesamten innerdeutschen Verkehr von 6,7 - 6,8% (Kriterium: Passagiere an Bord bzw. Verkehrsleistung).<sup>15</sup> Allerdings werden dabei nur die Flughäfen Stuttgart, Friedrichshafen und Karlsruhe erfasst. Die Leistung "sonstiger Flugplätze" berücksichtigend wurde für Baden-Württemberg ein Verkehrsleistungsanteil von 7% am gesamten innerdeutschen Personenflugverkehr abgeschätzt.<sup>16</sup>
- Somit wurden 7% des bundesdeutschen Endenergieverbrauchs, der in TREMOD für den innerdeutschen Personenflugverkehr des Jahres 2004 ausgewiesen ist, dem von Baden-Württemberg ausgehenden innerdeutschen Personenflugverkehr zugerechnet.
- Der Kraftstoffverbrauch für internationale Flüge Baden-Württembergs wurde über den Abzug des für nationale Flüge abgeleiteten Kraftstoffverbrauchs vom gesamten Energieverbrauch des Flugverkehrs in der Energiebilanz abgeleitet. Daraus resultiert eine Aufteilung des Flugkraftstoffverbrauchs der Energiebilanz Baden-Württembergs 2004 von 13% auf den nationalen und von 87% auf den internationalen Flugverkehr.
- Die Quoten unterscheiden sich von den deutschen Daten: In Deutschland entfielen im Jahr 2004 laut TREMOD 8% des Flugkraftstoffverbrauchs im Personenverkehr auf nationale Flüge, 92% auf internationale Flüge. Baden-Württemberg hat danach einen deutlich höheren Anteil an nationalen Flügen, einen geringeren Anteil an Auslandsflügen. Nach ergänzenden Auswertungen der Daten des Statistischen Bundesamtes liegt dies an einem vergleichsweise geringen Anteil an außereuropäischen Flügen.

---

<sup>15</sup> Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Reihe 6.2 Luftverkehr. Erscheinungsweise jährlich

<sup>16</sup> basierend auf Zahl der "Reisenden" laut vorstehendem Zitat, Kap. 5.1.2.1, wo die Anzahl der Reisenden auch für kleinere Flughäfen nach Bundesland erfasst ist (z.B. Mannheim)

## 5.4 Emissionsberechnungen Flugverkehr 2004 – 2025

Die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Flugverkehrs erfolgt über den Kerosinverbrauch (direkte Emissionen) und die indirekten Emissionen der Energiebereitstellung:

- Basis ist der dem Flugverkehr zugeordnete Endenergieverbrauch der Energiebilanz im Basisjahr 2004 in der Zurechnung von 13% auf den nationalen und von 87% auf den internationalen Personenflugverkehr.
- Aus der Gesamtverkehrsprognose folgt bis zum Jahr 2025 eine Zunahme der Fluggastzahlen um 169% (national) und um 112% (international). Angaben zu einer Änderung der durchschnittlichen Reiseweiten liegen nicht vor. Somit werden die Verkehrsleistungen um die Zunahmen der Fluggastzahlen erhöht.
- Die Minderung der spezifischen Verbräuche je Pkm wurde analog zu den Einschätzungen in der Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025<sup>17</sup> angenommen, um eine Vergleichbarkeit der für Baden-Württemberg ermittelten Entwicklungen mit der gesamtdeutschen Entwicklung zu gewährleisten.

Die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen des Flugverkehrs nach Landes-Energiebilanz steigen zwischen 2004 und dem Prognosejahr 2025 von 873 auf 1.377 kt und damit um 58%. Die Aufteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen zwischen nationalem und internationalem Personenflugverkehr ändert sich kaum.

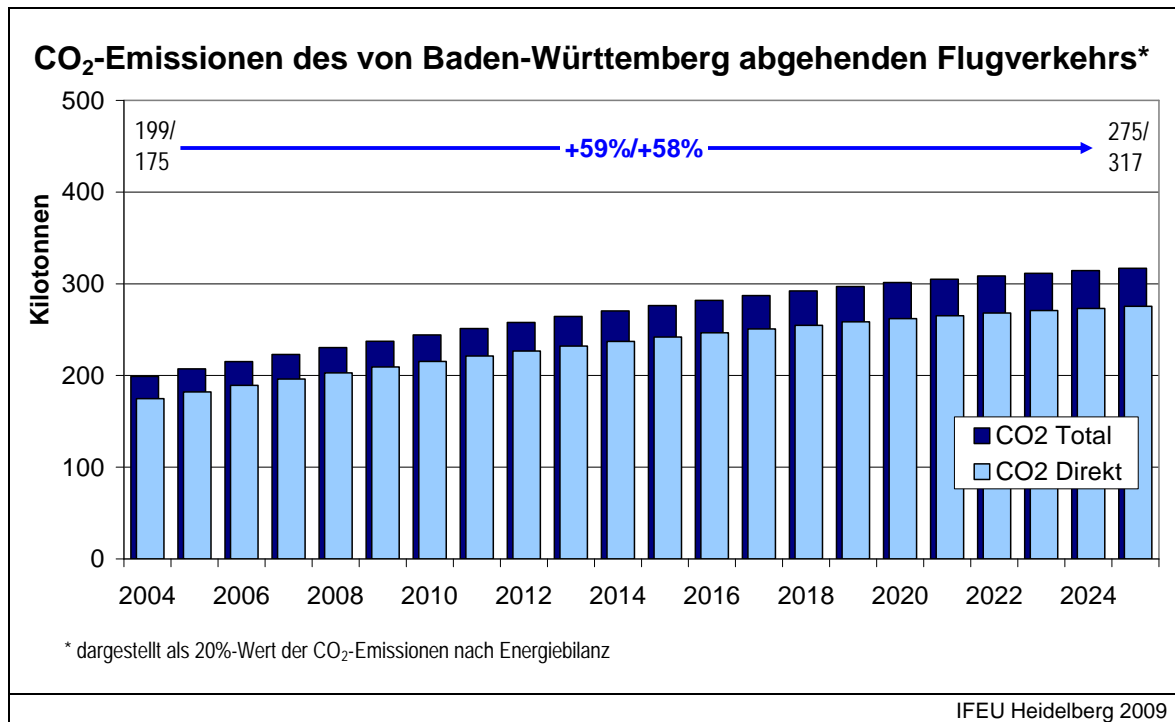
Für die offizielle CO<sub>2</sub>-Berichterstattung wird zwar eine Aufteilung auf den Flugtreibstoffverbrauch der nationalen und internationalen Flüge gefordert. Jedoch sind nach „IPCC Good Practice Guidance (IPCC, 2000: S. 2.57) nur die Daten für die nationalen Flüge **als Bestandteil der nationalen Gesamtinventare** zu berichten. Die Bundesregierung hat in den bisherigen Inventaren (bis einschließlich 2008) den pauschalen Wert von 20% des in der Energiebilanz ausgewiesenen Treibstoffes berücksichtigt.<sup>18</sup> Dieses Vorgehen übernehmen wir für die Darstellungen des GVP (siehe Abb. 13)

---

<sup>17</sup> ITP 2007: Prognose der deutschlandweiten Verkehrsverflechtungen 2025, FE-Nr. 96.0857/2005. ITP INTRAPLAN Consult GmbH und BVU Beratergruppe Verkehr + Umwelt GmbH. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung; 2007.

<sup>18</sup> UBA: Nationaler Inventarbericht zum Deutschen Treibhausgasinventar 1990 – 2006. Berichterstattung unter der Klimarahmenkonvention der Vereinten Nationen 2008; Mai 2008

**Abb. 13: Emissionen des von Baden-Württemberg abgehenden Flugverkehrs 2004 – 2025 (dargestellt als 20 %-Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Energiebilanz)**



## 6 Gesamtverkehr Baden-Württemberg

Der gesamte motorisierte Verkehr in Baden-Württemberg setzt sich aus den zuvor vertieft dargestellten Verkehrsträgern zusammen: Motorisierter Individualverkehr (MIV), Öffentlicher Straßenpersonenverkehr (ÖSPV), Bahn-Personenverkehr, Straßengüterverkehr, Schienengüterverkehr und Binnenschiffverkehr. Dabei werden die Emissionen Kohlendioxid, Stickoxide und Partikel betrachtet. Zudem werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Flugverkehrs einbezogen.

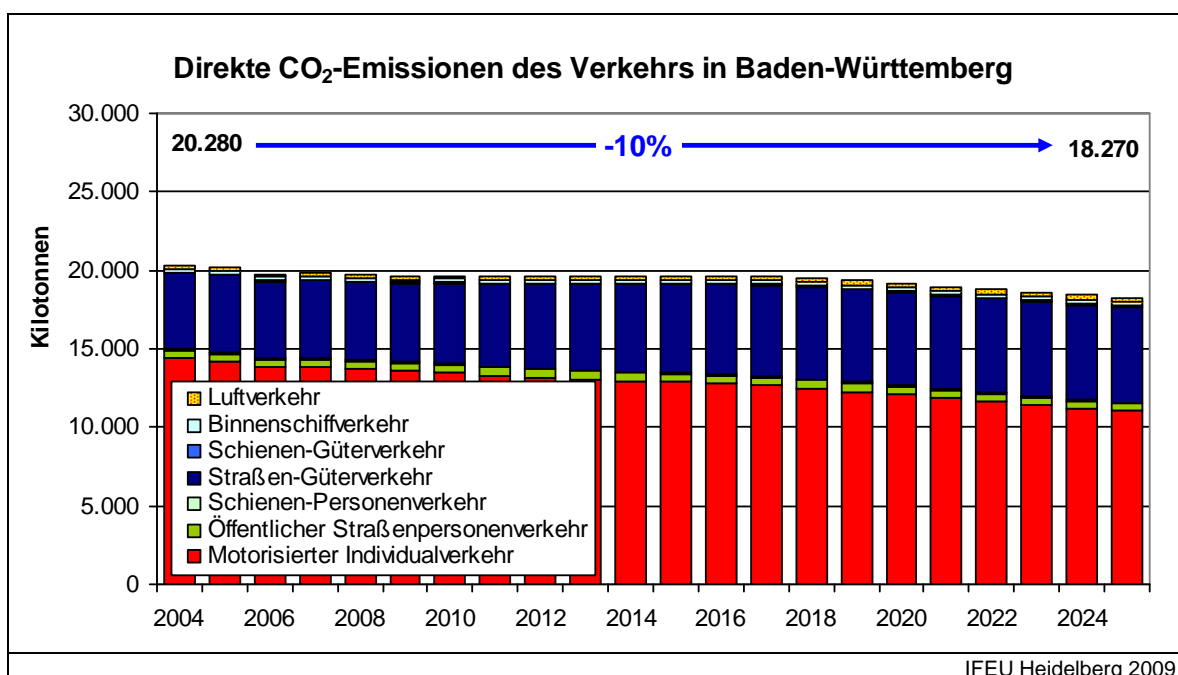
Im **Zeitraum 2004 bis 2025** sind einige verkehrliche Veränderungen zu verzeichnen, die an anderer Stelle der GVP-Gutachten vertieft erläutert werden. Für die Umweltauswirkungen von Bedeutung ist die prognostizierte deutliche Zunahme in der **Verkehrs- bzw. Fahrleistung** aller Verkehrsträger. Im Straßenverkehr wird ein Anstieg der gesamten Fahrleistung um rund 25% prognostiziert, dabei von Lkw von 52% (siehe Abb. 1). Der prognostizierte Zuwachs im Schienenverkehr liegt im Personenverkehr bei 30%, im Güterverkehr bei 62%, im Güterverkehr der Binnenschiffe bei 28% und schließlich hat der von Baden-Württemberg abgehende Flugverkehr der Prognose nach einen Zuwachs von insgesamt rund 120%. Die Transportleistung des **Transitverkehrs im Straßengüterverkehr** nimmt bis 2025 um über 100% zu.

### 6.1 Kohlendioxidemissionen

#### 6.1.1 Ergebnisse 2004 - 2025

Bei den **direkten** CO<sub>2</sub>-Emissionen dominiert im Basisjahr 2004 der motorisierte Individualverkehr (MIV, also Pkw und motorisierte Zweiräder) mit 71% den motorisierten Verkehr. Der Güterverkehr auf der Straße folgt mit 24%. Geringe Anteile haben die Busse im ÖPNV mit 3%, der Flugverkehr mit 1 % (hier bilanziert mit 20% des Kerosinverbrauchs nach Energiebilanz) und die Binnenschiffe mit 1%. (siehe Abb. 14)

**Abb. 14: Direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen des motorisierten Verkehrs in Baden-Württemberg 2004 - 2025**



Bei den **gesamten** CO<sub>2</sub>-Emissionen verschiebt sich das Bild etwas, da hier die Emissionen der Elektrotraktion und der Vorkette der Kraftstoffe berücksichtigt werden. Der MIV verursacht 69%, der Straßengüterverkehr 23%, der Öffentliche Schienen- und Busverkehr 6%, der Schienen-Güterverkehr, der Flugverkehr und das Binnenschiff jeweils 1%. Somit emittiert der Straßenverkehr 94% und der Schienenverkehr 4% der gesamten CO<sub>2</sub>-Emissionen. Diese liegen um 23% höher als die direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen. (Abb. 15)

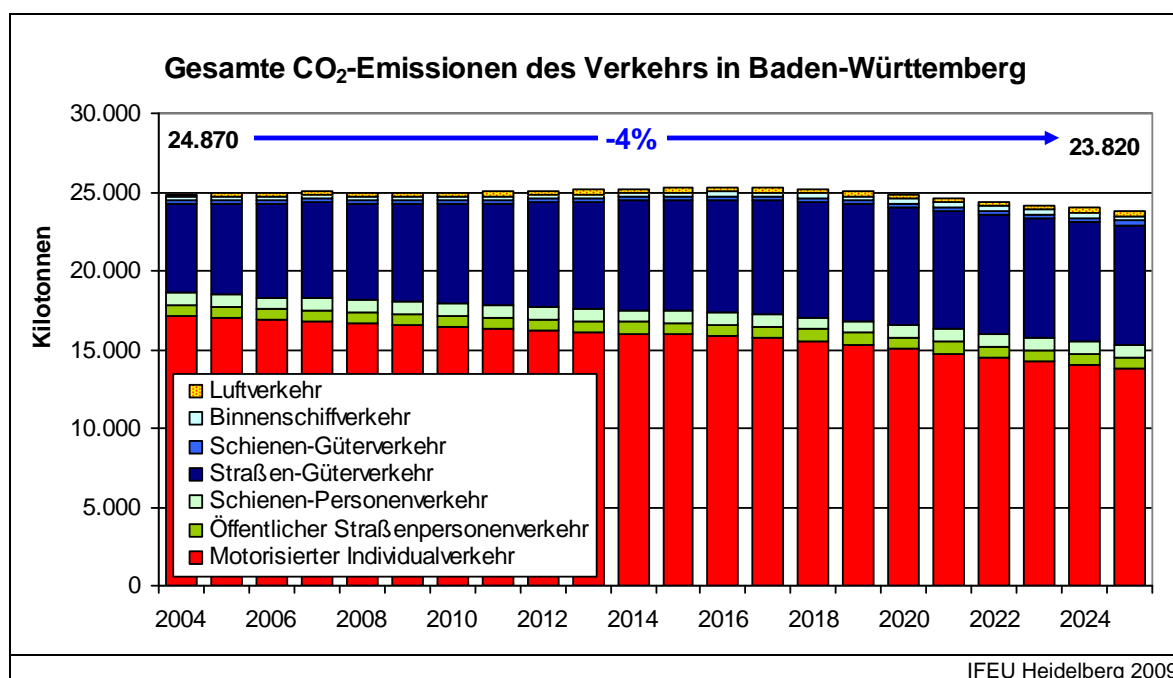
Im **Zeitraum 2004 bis 2025** gehen die **direkten** CO<sub>2</sub>-Emissionen des motorisierten Verkehrs trotz der großen Zuwächse bei den Fahrleistungen um 10% zurück. Denn die spezifischen Verbräuche und damit die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen aller Verkehrsträger werden zwischenzeitlich abnehmen.

Der CO<sub>2</sub>-Rückgang im Pkw-Verkehr wird vor allem durch die CO<sub>2</sub>-Zunahme im Straßengüterverkehr zum Teil kompensiert. Der CO<sub>2</sub>-Anteil von Pkw und motorisierten Zweirädern sinkt von 71% auf 60%. Hingegen erhöht der Straßengüterverkehr seinen Anteil von 24% auf 33%. Die Änderungen der anderen Verkehrsträger spielen im Gesamtbild keine Rolle (siehe Abb. 14). Bei einer Bilanzierung des gesamten Energieverbrauchs des Flugverkehrs steigerte er seinen Anteil von 4% auf 7%.

Die **gesamten** CO<sub>2</sub>-Emissionen enthalten auch die indirekten Emissionen aus den Raffinerien, Kraftwerken und der Biokraftstoffbereitstellung. Sie weisen im Prognosejahr 2025 einen Rückgang der CO<sub>2</sub>-Emissionen um 4% gegenüber 2004 auf. Dies wird durch die Pkw verursacht, deren CO<sub>2</sub>-Emissionen trotz eines Fahrleistungsanstiegs von 23% um 20% abnehmen. Der CO<sub>2</sub>-Zuwachs insbesondere der schweren Lkw (+44%) kompensiert einen großen Teil der Pkw-Minderungen (Abb. 15).

Besonders hoch ist der Einfluss des **Gütertransits auf der Straße**. Verdoppelte er sich nicht im Zeitraum von 2004 bis 2025, sondern bliebe auf dem Niveau von 2004, bedeutete das eine CO<sub>2</sub>-Minderemission von 1.700 kt mit der Folge, dass das gesamte CO<sub>2</sub> des motorisierten Verkehrs gegenüber 2004 um insgesamt 11% zurückginge.

**Abb. 15: Gesamte CO<sub>2</sub>-Emissionen des motorisierten Verkehrs in Baden-Württemberg 2004 - 2025**



### 6.1.2 Kohlendioxidemissionen nach Territorialprinzip und Energiebilanz

Die Kohlendioxidemissionen, die nach dem Territorialprinzip für Baden-Württemberg berechnet werden, fallen je nach Verkehrsträger anders aus als diejenigen, die nach der Energiebilanz berechnet werden. Die in der Abb. 14 dargestellten direkten CO<sub>2</sub>-Emissionen orientieren sich an dem Verkehrsgeschehen innerhalb des Landes, das heißt: Sie bilden den Straßen-, Schienen- und Wasserverkehr so ab, wie er für das Gebiet Baden-Württemberg ermittelt wurde. Lediglich die CO<sub>2</sub>-Emissionen des Flugverkehrs beziehen sich auf die Energiebilanz.

Für die Erstellung der international erforderlichen Klimabilanzen ist eine Erfassung der Kohlendioxidemissionen nach der Energiebilanz vereinbart. Um eine Kompatibilität der hier dargestellten Emissionen nach dem Territorialprinzip mit denjenigen Berechnungen des Landes zu ermöglichen, die sich auf die Energiebilanz beziehen, wird nochmals zusammenfassend auf die Ergebnisse beider Berechnungsmethoden eingegangen.

Die **direkten** CO<sub>2</sub>-Emissionen nach der **Energiebilanz** Baden-Württemberg **im Jahr 2005** fallen um 4,0% höher aus als diejenigen, die für den GVP nach dem Territorialprinzip berechnet wurden und die den realen Verkehr in den Landesgrenzen abbilden. Ursachen dafür sind vornehmlich die nach Energiebilanz um 5% höheren CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs, die durch die in der Energiebilanz niedrigeren CO<sub>2</sub>-Emissionen des Diesel-Schienenverkehrs und die sehr niedrigen CO<sub>2</sub>-Emissionen des Binnenschiffverkehrs etwas kompensiert werden.

## 6.2 Stickoxidemissionen

Im **Basisjahr 2004** ist der Güterverkehr auf der Straße mit 54% der größte Verursacher der **direkten** NO<sub>x</sub>-Emissionen. Es folgen der motorisierte Individualverkehr mit 32% der NO<sub>x</sub>-Emissionen, der Öffentliche Personenverkehr (Busse und Schiene) mit 9%, dann die Binnenschiffahrt mit 4% und schließlich der diesel-betriebene Schienengüterverkehr mit 1%. (Abb. 16) Der Flugverkehr wird in seinen bodennahen Emissionen nicht bilanziert, spielte jedoch mengenmäßig über das gesamte Land Baden-Württemberg keine Rolle.

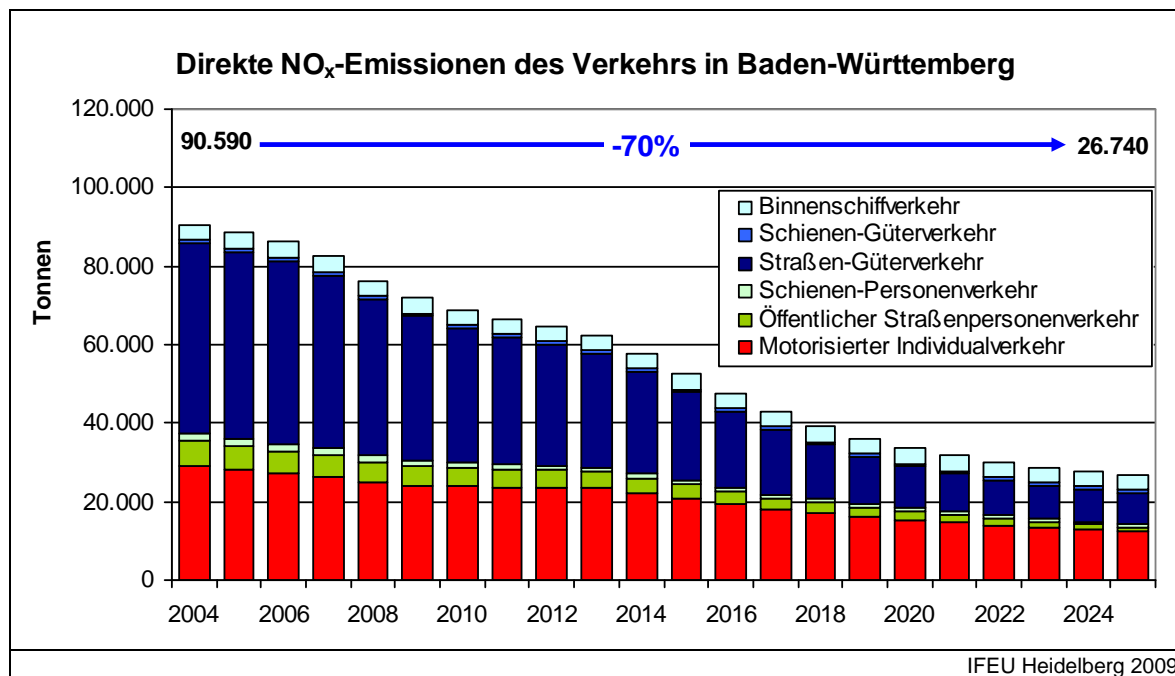
Die **gesamten** NO<sub>x</sub>-Emissionen enthalten zusätzlich die Vorkette der fossilen Kraftstoffe und die Aufwendungen in den Kraftwerken. Sie sind um 11% höher als die direkten NO<sub>x</sub>-Emissionen. Die Anteile ändern sich gegenüber den direkten Emissionen etwas zu Lasten der Pkw und zu Gunsten der Lkw, da die NO<sub>x</sub>-Emissionen aus den Raffinerien bei den Pkw mit ihren ansonsten geringeren direkten NO<sub>x</sub>-Emissionen stärker ins Gewicht fallen als bei den Lkw. Die anderen Verursacher bleiben weitestgehend unverändert (Abb. 17).

**Für den Zeitraum von 2004 bis zum Prognosejahr 2025** zeigen die **direkten** NO<sub>x</sub>-Emissionen des motorisierten Verkehrs (ohne Flugverkehr) in Baden-Württemberg einen Rückgang um 70% (siehe Abb. 16). Die NO<sub>x</sub>-Emissionen des Personenverkehrs gehen um 61%, die des Güterverkehrs um 77% zurück. Diese gegen den angenommenen Anstieg der Verkehrsleistung prognostizierte sehr hohe Reduktion ist eine Folge der technisch wesentlich verbesserten Stickoxidemissionen der Fahrzeuge. Der Anteil des Personenverkehrs an den direkten NO<sub>x</sub>-Emissionen steigt von 41% auf 54% bzw. bei den gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen von 45% auf 57%.

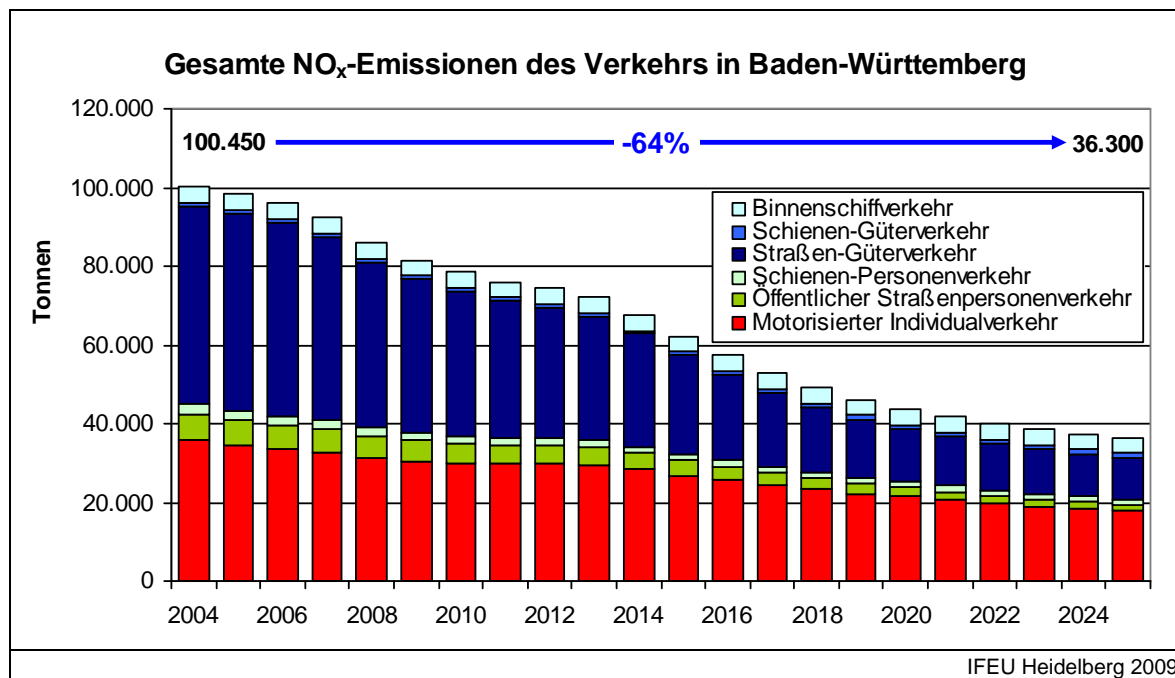
Bei den **gesamten** NO<sub>x</sub>-Emissionen sehen die Rückgänge ähnlich aus, fallen aber etwas geringer aus, da bei der vorgelagerten Kette nur geringe NO<sub>x</sub>-Reduktionen zu erwarten sind. Die gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen gehen insgesamt um 64% zurück. Die Stickoxid-

emissionen des Personenverkehrs nehmen um 54% ab, die des Güterverkehrs um 72% (Abb. 17).

**Abb. 16: Direkte NO<sub>x</sub>-Emissionen des motorisierten Verkehrs in Baden-Württemberg 2004 – 2025 (ohne Flugverkehr)**



**Abb. 17: Gesamte NO<sub>x</sub>-Emissionen des motorisierten Verkehrs in Baden-Württemberg 2004 – 2025 (ohne Flugverkehr)**



### 6.3 Partikel-Emissionen

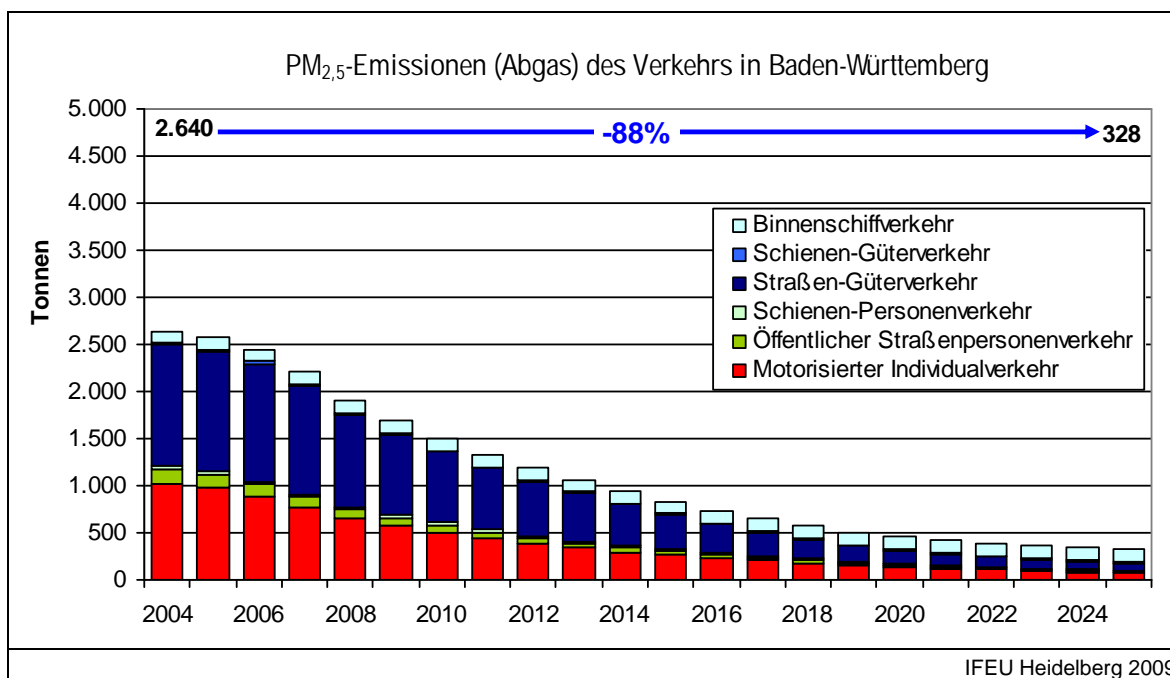
Die Partikelemissionen des motorisierten Verkehrs fallen in verschiedene Größenklassen. Die reinen **Abgasemissionen** sind sämtlich kleiner als  $PM_{2,5}$  und sind somit vollständig bei den beiden Größenklassen  $PM_{2,5}$  und  $PM_{10}$  zu berücksichtigen. Die **Abriebemissionen** (Reifen, Bremsen und Straßenabrieb) fallen überwiegend in die Größenklasse über  $PM_{2,5}$ , weshalb wir sie vollständig den  $PM_{10}$ -Emissionen zurechnen.

Die  $PM_{2,5}$ -Emissionen werden durch Dieselfahrzeuge mit dem Abgas verursacht. Der Straßengüterverkehr hatte **im Jahr 2004** einen Anteil von 49%, gefolgt von den Diesel-Pkw mit 39%. Der Öffentliche Personenverkehr (vor allem der Bus) verursacht 6%, die Binnenschiffe 5% und der Schienengüterverkehr 1%. (Abb. 18)

Die  $PM_{10}$ -Emissionen „**Abrieb**“ richten sich u.a. nach Fahrleistung, Fahrverhalten, Fahrbahnbelag und nach dem Gewicht der Fahrzeuge. Der motorisierte Individualverkehr verursachte im Jahr 2004 45%, der Öffentliche Personenverkehr 23%. Der Straßengüterverkehr folgt mit 19% und der Schienen-Güterverkehr mit 14%. Die  **$PM_{10}$ -Partikelemissionen** (Summe der direkten Emissionen aus Abgas und Abrieb) beliefen sich im Jahr 2004 auf insgesamt 4.900 Tonnen, die Abriebemissionen hatten daran einen Anteil von 46% (Abb. 19).

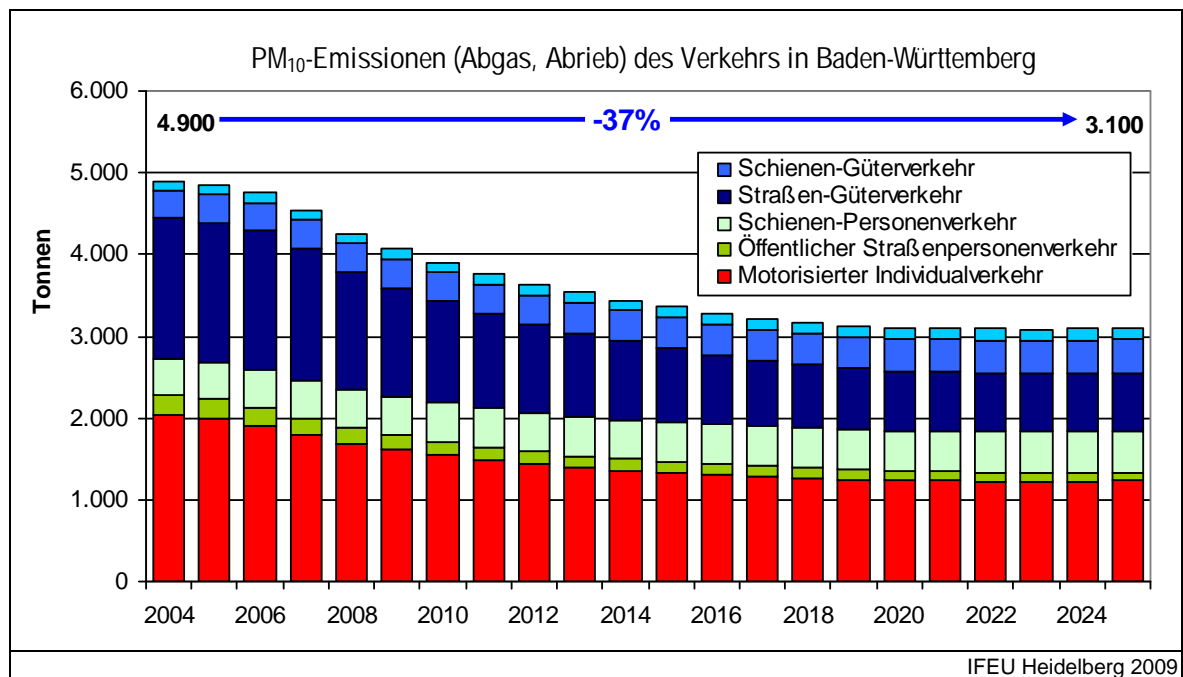
Zwischen dem **Basisjahr 2004** und dem **Prognosejahr 2025** gehen die gesundheitlich relevanten  $PM_{2,5}$ -**Abgasemissionen** durch den motorisierten Verkehr in Baden-Württemberg (Territorialprinzip, ohne Flugverkehr) trotz ansteigender Verkehrs- bzw. Fahrleistung um 88% zurück. Dies ist eine Folge der auch zukünftig verschärften Grenzwert-Anforderungen bzw. der diesen Anforderungen entsprechenden technischen Verbesserungen der Motoren resp. ihrer Abgasnachbehandlungssysteme. Der Rückgang im Personenverkehr liegt bei 91%, der im Güterverkehr bei 85% (siehe Abb. 18).

**Abb. 18:  $PM_{2,5}$ -Emissionen (Abgasemissionen) des motorisierten Verkehrs in Baden-Württemberg 2004 – 2025 (ohne Flugverkehr)**



Die **gesamten PM<sub>10</sub>-Emissionen** bestehen aus den Abgas- und den Abriebsemissionen. Sie könnten sich im Prognosejahr 2025 auf insgesamt 3.100 Tonnen belaufen, die Abriebsemissionen hätten daran einen Anteil von knapp 90%. Die Partikelemissionen fallen im Prognosejahr 2025 vor allem wegen der sehr hohen Minderungen bei den Abgasemissionen um 37 % geringer aus als im Jahr 2004.

**Abb. 19: PM<sub>10</sub>-Emissionen (Abgas, Abrieb) des motorisierten Verkehrs in Baden-Württemberg 2004 – 2025 (ohne Flugverkehr)**



## 7 Anhang: Tabellarische Darstellung der Abbildungen\*

**Tabelle zu Abb. 1: Fahrleistungen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg 2004, 2005 und 2025 nach Fahrzeugklassen in Mio. Fzg.-km**

Fahrzeugklasse	2004	2005	2025
Motorisierte Zweiräder	1.790	1.810	2.180
Otto-Pkw	53.760	52.480	38.450
Diesel-Pkw	24.650	26.800	58.270
Leichte Nutzfahrzeuge	2.890	2.920	3.600
Lkw	6.210	6.370	9.460
Linienbus	290	290	290
Reisebus	325	325	330

**Tabelle zu Abb. 2: Fahrleistungen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg 2004, 2005 und 2025 in den Kategorien „Innerorts“, „Außerorts ohne Autobahn“ und „Autobahn“ in Mio. Fzg.-km**

Kategorie	2004	2005	2025
Innerorts	25.510	25.720	30.050
Außerorts ohne Autobahn	43.090	43.610	53.940
Autobahn	21.310	21.660	28.580

**Tabelle zu Abb. 3: Direkte und gesamte CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 und 2025 in Kilotonnen**

Fahrzeugklasse	Direkte CO <sub>2</sub> -Emissionen		Gesamte CO <sub>2</sub> -Emissionen	
	2004	2025	2004	2025
Motorisierte Zweiräder	171	178	210	220
Otto-Pkw	10.170	4.520	12.190	5.610
Diesel-Pkw	4.050	6.330	4.720	7.930
Leichte Nutzfahrzeuge	710	570	820	710
Lkw	4.130	5.510	4.810	6.900
Linienbus	258	255	300	320
Reisebus	248	228	289	286

**Tabelle zu Abb. 4: Direkte und gesamte NO<sub>x</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 und 2025 in Tonnen**

Fahrzeugklasse	Direkte NO <sub>x</sub> -Emissionen		Gesamte NO <sub>x</sub> -Emissionen	
	2004	2025	2004	2025
Motorisierte Zweiräder	390	360	470	450
Otto-Pkw	15.630	1.970	20.500	4.300
Diesel-Pkw	13.240	10.070	14.930	13.070
Leichte Nutzfahrzeuge	3.130	1.030	3.420	1.290
Lkw	45.350	6.770	47.080	9.290
Linienbus	3.150	530	3.260	650
Reisebus	2.930	670	3.030	770

**Tabelle zu Abb.5: Direkte PM<sub>2,5</sub>- und PM<sub>10</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 und 2025 in Tonnen**

Fahrzeugklasse	Direkte PM <sub>2,5</sub> -Emissionen		Direkte PM <sub>10</sub> -Emissionen	
	2004	2025	2004	2025
Motorisierte Zweiräder	-	-	12	14
Otto-Pkw	-	-	740	530
Diesel-Pkw	1.025	80	1.290	690
Leichte Nutzfahrzeuge	290	27	350	100
Lkw	1.000	46	1.370	600
Linienbus	76	2	91	18
Reisebus	71	9	88	27

**Tabelle zu Abb. 7: Endenergieverbrauch und direkte CO<sub>2</sub>-Emissionen des Straßenverkehrs in BW 2005 nach der Energiebilanz und dem Territorialprinzip**

	Endenergieverbrauch 2005 in Tera-Joule		CO <sub>2</sub> -Emissionen 2005 in Kilotonnen	
	Territorial-P.	Energiebilanz	Territorial-P.	Energiebilanz
Benzin	139.510	135.940	10.040	9.790
Diesel	138.260	156.960	9.570	10.860
Kraftstoff Gesamt	277.770	292.900	19.610	20.650

**Tabelle zu Abb. 8: Gesamte CO<sub>2</sub>-Emissionen des Schienenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 – 2025 in Kilotonnen**

Schienenverkehrsmittel	2004	2025
Straßen-, Stadt- und U-Bahnen	110	116
Personennahverkehr (Diesel)	120	92
Personennahverkehr (Elektro)	394	420
Personenfernverkehr (Diesel)	10	-
Personenfernverkehr (Elektro)	239	291
Güterverkehr (Diesel)	58	88
Güterverkehr (Elektro)	167	223

**Tabelle zu Abb. 9 und 10: Direkte und gesamte NO<sub>x</sub>-Emissionen des Schienenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 und 2025 in Tonnen**

Schienenverkehrsmittel	Direkte NO <sub>x</sub> -Emissionen		Gesamte NO <sub>x</sub> -Emissionen	
	2004	2025	2004	2025
Straßen-, Stadt- und U-Bahnen	-	-	103	110
Personennahverkehr (Diesel)	1.790	765	1.830	799
Personennahverkehr (Elektro)	-	-	360	384
Personenfernverkehr (Diesel)	140	-	144	-
Personenfernverkehr (Elektro)	-	-	218	266
Güterverkehr (Diesel)	801	818	822	851
Güterverkehr (Elektro)	-	-	152	204

**Tabelle zu Abb. 11 oben: Direkte PM<sub>2,5</sub>-Emissionen des Schienenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 und 2025 in Tonnen**

	PM <sub>2,5</sub> -Emissionen	
	2004	2025
<b>Schienenverkehrsmittel</b>		
Straßen-, Stadt- und U-Bahnen	-	-
Personennahverkehr (Diesel)	30	14
Personennahverkehr (Elektro)	-	-
Personenfernverkehr (Diesel)	3	-
Personenfernverkehr (Elektro)	-	-
Güterverkehr (Diesel)	24	10
Güterverkehr (Elektro)	-	-

**Tabelle zu Abb. 11 unten: Direkte PM<sub>10</sub>-Emissionen des Schienenverkehrs in Baden-Württemberg 2004 und 2025 in Tonnen**

	PM <sub>10</sub> -Emissionen	
	2004	2025
<b>Schienenverkehrsmittel</b>		
Abgaspartikel Personennahverkehr	30	14
Abgaspartikel Personenfernverkehr	3	0
Abgaspartikel Güterverkehr	24	10
Abrieb Straßen-, Stadt- & U-Bahnen	60	56
Abrieb Personennahverkehr	217	223
Abrieb Personenfernverkehr	142	220
Abrieb Güterverkehr	307	401

**Tabelle zu Abb. 12: Emissionen der Binnenschifffahrt in Baden-Württemberg 2004 und 2025**

	Direkte Emissionen		Gesamt-Emissionen	
	2004	2025	2004	2025
<b>Schadstoffe</b>				
Kohlendioxidemissionen in Kilotonnen	208	254	238	293
Stickoxidemissionen in Tonnen	4.040	3.750	4.130	3.860
PM <sub>2,5</sub> -Emissionen in Tonnen	124	139		

**Tabelle zu Abb. 13: Emissionen des von Baden-Württemberg abgehenden Flugverkehrs 2004 und 2025 (dargestellt als 20 %-Anteil der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Energiebilanz)**

	Direkte Emissionen		Gesamt-Emissionen	
	2004	2025	2004	2025
Kohlendioxidemissionen in Kilotonnen	175	275	199	317

**Tabelle zu Abb. 14 und 15: Direkte und gesamte CO<sub>2</sub>-Emissionen des motorisierten Verkehrs in Baden-Württemberg 2004 und 2025 in Kilotonnen**

Verkehrsträger	Direkte Emissionen		Gesamt-Emissionen	
	2004	2025	2004	2025
Motorisierter Individualverkehr	14.392	11.027	17.113	13.765
Öffentlicher Straßenpersonenverkehr	506	483	699	721
Schienen-Personenverkehr	114	80	763	803
Straßen-Güterverkehr	4.838	6.075	5.630	7.607
Schienen-Güterverkehr	51	77	225	311
Binnenschiffverkehr	208	254	238	293
Luftverkehr	175	275	199	317

**Tabelle zu Abb. 16 und 17: Direkte und gesamte NO<sub>x</sub>-Emissionen des motorisierten Verkehrs in Baden-Württemberg 2004 und 2025 (ohne Flugverkehr) in Tonnen**

Verkehrsträger	Direkte Emissionen		Gesamt-Emissionen	
	2004	2025	2004	2025
Motorisierter Individualverkehr	29.558	12.403	35.905	17.824
Öffentlicher Straßenpersonenverkehr	6.080	1.198	6.395	1.537
Schienen-Personenverkehr	1.926	765	2.552	1.449
Straßen-Güterverkehr	48.483	7.807	50.493	10.578
Schienen-Güterverkehr	801	818	975	1.055
Binnenschiffverkehr	4.043	3.749	4.130	3.858

**Tabelle zu Abb. 18 und 19: PM<sub>2,5</sub>-Emissionen (Abgasemissionen) und PM<sub>10</sub>-Emissionen (Abgas, Abrieb) des motorisierten Verkehrs in Baden-Württemberg 2004 und 2025 (ohne Flugverkehr) in Tonnen**

Verkehrsträger	PM <sub>2,5</sub> Emissionen		PM <sub>10</sub> -Emissionen	
	2004	2025	2004	2025
Motorisierter Individualverkehr	1.025	80	2.035	1.229
Öffentlicher Straßenpersonenverkehr	147	11	240	100
Schienen-Personenverkehr	33	14	453	514
Straßen-Güterverkehr	1.285	72	1.714	708
Schienen-Güterverkehr	24	10	331	412
Binnenschiffverkehr	124	139	124	139

\* Die Tabellen enthalten Zahlengenauigkeiten, die nicht den realen Ungenauigkeiten entsprechen. Jede Rundung ist ein Kompromiss zwischen Lesbarkeit, Nachvollziehbarkeit und Fehlerbreite. Deshalb können bei der Addition von Einzelwerten oder der prozentualen Berechnung nach den hier dargestellten Werten leichte Unterschiede zum Beispiel zu den Werten in den zugehörigen Grafiken auftreten. Sämtliche Werte wurden ohne Rundungen berechnet.