

BAFU

Pilotstudie zum Treibstoffverbrauch und den Treibhausgasemissionen im Verkehr 1990-2050

Szenarien für den Strassenverkehr

Schlussbericht
Bern, 21. August 2017

Ph. Wüthrich, B. Notter, J. Heldstab, M. Keller

Impressum

Pilotstudie zum Treibstoffverbrauch und den Treibhausgasemissionen im Verkehr 1990-2050

Szenarien für den Strassenverkehr

Schlussbericht, Bern, 21. August 2017

7309b_Emissionsszenarien_Schweiz_SB_final.docx

Bundesamt für Umwelt

BAFU

3003 Bern

Projektleitung

Ph. Wüthrich

Autorinnen und Autoren

Ph. Wüthrich, B. Notter, J. Heldstab, M. Keller

INFRAS/MK Consulting

INFRAS AG, Sennweg 2, 3012 Bern

Tel. +41 31 370 19 19

Begleitgruppe

Babst M., BFE

Dickenmann S., BFE

Jenk H., BAFU

Justen A., ARE

Pfister K., ASTRA

Ramer R., BAFU

Röthlisberger R., BAFU

Siegenthaler Ch., BFS

Zbinden M., ASTRA

Inhalt

Zusammenfassung	5
1. Einleitung	12
1.1. Ausgangslage und Ziel	12
1.2. Zur Begriffsverwendung	12
2. Methodik und Vorgehen	14
2.1. Überblick	14
2.2. Systemabgrenzung und -gliederung	15
2.3. Modellierung Strassenverkehr	17
2.3.1. Gesamtfahrleistung pro Fahrzeugkategorie (A0)	17
2.3.2. Fahrleistung nach Verkehrssituationen (A1)	18
2.3.3. Flottenzusammensetzung (A2)	19
2.3.4. Spezifischer Verbrauch (B)	21
2.3.5. Anteil biogene Treibstoffe (C)	25
3. Abgleich Verbrauch/Absatz (Ex-Post)	26
3.1. Grundlagen Strasse	26
3.1.1. Gesamtfahrleistungen pro Fahrzeugkategorie und Verkehrssituationen	26
3.1.2. Flottenzusammensetzung (Bestand, Fahrleistungen)	27
3.1.3. Verbrauch, Absenkraten	32
3.2. Grundlagen Non-road und Tanktourismus	34
3.3. Treibstoffabsatz	34
3.4. Abgleich Verbrauch/Absatz (Ex-Post)	35
4. Inputs und Ergebnisse der Berechnungen	39
4.1. Überblick Szenarien und Sensitivitäten	39
4.2. Berechnungsgrundlagen für das Hauptszenario (EES 2020+)	42
4.2.1. Strasse: Fahrleistungen, Bestand, Start, Stopps	42
4.2.2. Strasse: Flottenzusammensetzung und Verbrauchsentwicklung der Neuzulassungen	43
4.2.3. Biotreibstoffe	51
4.2.4. Non-Road-Verkehr und Tanktourismus	53

4.3.	Berechnungsgrundlagen für das Alternativszenario (S1) und die Sensitivitätsrechnungen (S2, S3)	53
4.3.1.	Alternativszenario (S1)	53
4.3.2.	Sensitivität 2 (S2)	55
4.3.3.	Sensitivität 3 (S3)	56
5.	Resultate	59
5.1.	Hauptszenario	59
5.1.1.	Endenergieverbrauch nach Verwendungszwecken	59
5.1.2.	Endenergieverbrauch nach Energieträger	60
5.1.3.	CO ₂ -Emissionen nach Verwendungszweck	62
5.1.4.	CO ₂ -Emissionen nach Energieträger	63
5.2.	Szenarien und Sensitivitätsrechnungen	64
5.3.	Hauptszenario EES 2020+ im Vergleich mit den Ergebnissen der Energieperspektiven 2050	68
6.	Fazit	71
	Glossar	73
	Annex	75
	Flottenzusammensetzungen (Neuwagen, Bestand, Fahrleistungsanteile)	75
	Herleitung der Anteile der Verkehrssituationen	78
	Fahrleistungen nach Fahrzeugkategorie	80
	Fahrzeugbestand, Starts und Stopps nach Fahrzeugkategorie	82
	Treibstoffeigenschaften (Energie-, CO ₂ -Inhalt, Dichte)	83
	Ergebnis Energieverbrauch Alternativszenario 1 (S1) und Sensitivitäten (S2, S3)	84
	Ergebnis CO ₂ -Emissionen	90
	Literatur	97

Zusammenfassung

Die bestehenden Berechnungen zum Energieverbrauch und den CO₂-Emissionen des Verkehrs in der Schweiz beruhen auf Grundlagen, für die mittlerweile neuere Erkenntnisse zur Verfügung stehen. Ziel der vorliegenden Pilotstudie ist es daher, ein aus heutiger Sicht aktuelles, wahrscheinliches Szenario zur künftigen Entwicklung des Treibstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen des Strassenverkehrs zu erstellen. Indem Annahmen gezielt verändert und damit weitere Szenarien und Sensitivitäten berechnet werden, soll zudem sichergestellt werden, dass später der Einfluss von Änderungen der Ausgangslage auf den Treibstoffverbrauch und die Treibhausgasemissionen abgeschätzt werden können.

Unter «Verkehr» werden die in Tabelle 1 zusammengefassten Verbrauchergruppen verstanden. Der Fokus liegt in der vorliegenden Studie auf der Modellierung des Strassenverkehrs. Für diesen Bereich werden die Grundlagen aktualisiert und Energieverbrauchsszenarien berechnet. Im Gegensatz dazu werden für die übrigen Bereiche (Non-Road, Tanktourismus) die Ergebnisse der bestehenden Grundlagen übernommen.

Tabelle 1: Verbrauchsklassen: Gliederung und Teilmodelle

	Strassenverkehr (Fahrzeugkategorien)	Non-Road	Tanktourismus
Gliederung	▪ Personenwagen (PW) ▪ Motorräder (MR) ▪ Reisebusse (Car) ▪ Linienbusse (LBus) ▪ Leichte Nutzfahrzeuge (LNF) ▪ Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	▪ Schiene (inkl. Rangierverkehr) ▪ Schiffe ▪ Flugverkehr (national und Militär) ▪ Land-/Forstwirtschaft* ▪ Baumaschinen* ▪ Industriefahrzeuge* ▪ Militär (o. Flugverk.) ▪ Mobile Geräte*	Im Ausland getankte, aber auf dem Territorium der Schweiz verbrauchte Treibstoffmengen (bzw. umgekehrt).
Modell (Quelle)	HBEFA (INFRAS 2017)	Non-Road-Inventar der Schweiz (BAFU 2015), Treibhausgasinventar der Schweiz (FOEN 2017)	ExPost-Analyse (BFE 2016c), Tanktourismusstudie (Keller 2015)

* Für die Beurteilung der Erreichung des CO₂-Emissionsziels des Verkehrs gemäss CO₂-Verordnung (SR 641.711) werden diese Verbrauchsklassen nicht mitberücksichtigt

Tabelle INFRAS.

Der Energieverbrauch des Verkehrs wird mit Hilfe von Bottom-up-Modellen quantifiziert, welche die Verbrauchsgruppen detailliert abbilden und eine differenzierte, über die Energieträger hinausgehende Aufschlüsselung des Energieabsatzes erlauben. Voraussetzung ist, dass die Er-

gebnisse der Bottom-up-Modellierungen (die den Verbrauch nach dem Territorialprinzip abbilden) mit dem Energieabsatz (Inlandprinzip) übereinstimmen. Das Vorgehen im vorliegenden Projekt umfasst deshalb zwei Teile: Zunächst werden auf Basis der aktuellsten verfügbaren Grundlagen die Energienachfrage und der Absatz für die Jahre bis 2015 abgeglichen und dabei die wesentlichen Annahmen zur Verbrauchsmodellierung kalibriert. Für den Strassenverkehr werden die statistischen Zeitreihen zu den Fahrleistungen des BFS bis 2015 verwendet, die Flottenzusammensetzungen stammen aus dem Motorfahrzeugregister des ASTRA und die Effizienzentwicklung bzw. die spezifischen CO₂-Emissionen der PW und LNF aus dem Monitoring des BFE. Diese NEFZ-Entwicklungen werden auf der Basis von Auswertungen zur Diskrepanz zwischen NEFZ und Realverbrauch korrigiert, welche vom «International Council on Clean Transportation» (ICCT) seit 2000 erhoben werden. Für die übrigen Teile des Verkehrs (Non-Road und Tanktourismus) wird auf die entsprechenden Arbeiten aus den Ex-Post-Analysen des Energieverbrauchs des BFE bzw. das Non-Road-Inventar des BAFU abgestützt. Ausserdem werden die Biotreibstoffanteile verwendet, die von der EZV bzw. vom BFE veröffentlicht werden.

Anschliessend werden die Modellinputs der Bottom-up-Modelle fortgeschrieben und bis 2050 die Energienachfrage berechnet. Die zukünftige Entwicklung wird in der vorliegenden Studie mit zwei Szenarien und zwei Sensitivitätsrechnungen abgebildet:

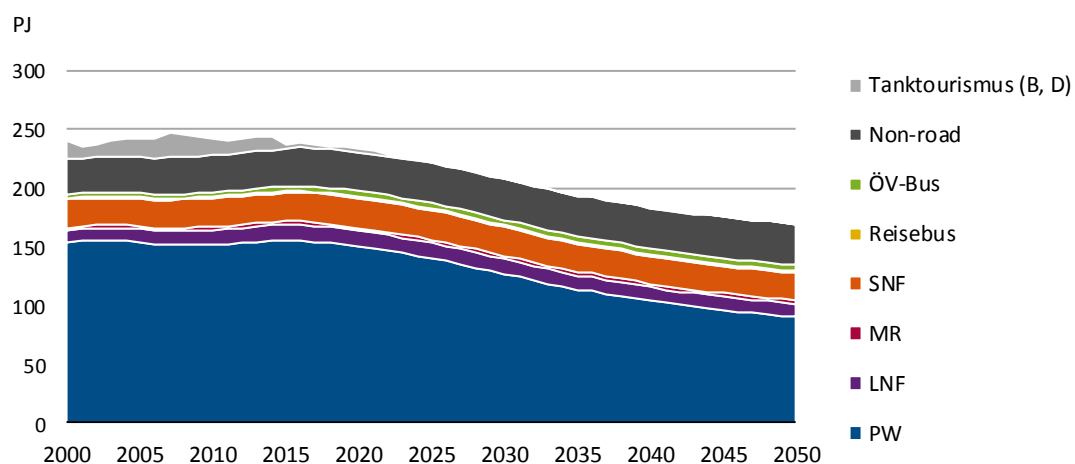
- Im **Hauptszenario («EES 2020+»)** wird eine Entwicklung unterstellt, welche die beschlossenen und aus heutiger Sicht absehbaren Massnahmen bis 2050 beinhaltet. Dies betrifft hauptsächlich die CO₂-Zielwerte für die PW und LNF. Bei den PW erreichen die Neufahrzeuge bis 2023 im Mittel den Zielwert von 95 g CO₂/km (d.h. rund drei Jahre später als in der EU). Bis 2027 wird der Wert von 78 g CO₂/km erreicht, der heute in den Diskussionen der EU als Richtwert (obere Bandbreite) zur Fortführung der post-2020-Zielwerte für PW bis 2025 angegeben wird. Bei den LNF wird der Zielwert von 147 g CO₂/km im Jahr 2023 erreicht. Im Jahr 2040 stossen die Neu-LNF noch 100 g CO₂/km aus. Die Elektromobilitätsanteile und die Verbrauchsabsenkraten der fossil angetriebenen Fahrzeuge werden so gewählt, dass diese Pfade der Effizienzentwicklung der Neuzulassungen nachgebildet werden.
- Im **Alternativszenario (S1)** werden die CO₂-Zielwerte für PW nach 2025 nicht weiter verschärft. Die Elektromobilitätsanteile nach 2025 nehmen damit weniger stark zu als in EES 2020+ (bis 2050: 27 % der Neu-PW, gegenüber 65 % in EES 2020+). Gleichzeitig wird von tieferen jährlichen Absenkraten nach 2025 ausgegangen. Damit werden die 78 g CO₂/km für die Neu-PW erst im Jahr 2033 erreicht, statt bereits 2027 wie im Hauptszenario. Bis 2050 sinkt der CO₂-Wert der Neuwagen auf 70 g CO₂/km ab (statt auf 33 g CO₂/km in EES 2020+).
- In der **Sensitivität 2 (S2)** wird untersucht, wie sich veränderte Annahmen bezüglich der realen Absenkraten bis 2050 auswirken. Dies wird modelliert über die Ausnutzungsfaktoren der

NEFZ-Absenkraten, d.h. Anteil der jährlichen Verbrauchsabsenkung in NEFZ, der im Realbetrieb erreicht wird. Es werden die Ausnutzungsfaktoren wie in den Energieperspektiven (POM) unterstellt. Die Annahmen zur Effizienzentwicklung gemäss NEFZ und damit die Flottenzusammensetzungen (E-Fahrzeug-Anteile) bleiben unverändert wie in EES 2020+.

- In der **Sensitivität 3 (S3)** werden die Fahrleistungsdaten direkt (absolute Werte) aus den aktuellen Verkehrsperspektiven des Bundes übernommen. Dies im Unterschied zum Hauptszenario, wo lediglich die relativen Wachstumsraten aus den Bundesperspektiven auf die aktuell, bis 2015 verfügbaren Fahrleistungsdaten des BFS übertragen wurden. Die PW-Fahrleistungen sind damit in Sensitivität 3 rund 5 % tiefer als in EES 2020+. Bei den LNF sind die beiden Datenreihen nahezu identisch, während bei den schweren Nutzfahrzeugen die Fahrleistungen in Sensitivität 3 gut 10 % höher sind als in EES 2020+.

Die Ergebnisse der Verbrauchsmodellierungen – unterschieden nach Verwendungszwecken – für das Hauptszenario sind in Abbildung 1 dargestellt. Verglichen mit 2015 wird der Energieverbrauch des Verkehrs bis 2050 um rund 29 % abnehmen, beim Strassenverkehr beträgt die Abnahme gegenüber 2015 rund 33 %. Namhafte Effizienzgewinne sind insbesondere bei den PW zu verzeichnen, die eine überdurchschnittliche Abnahme des Energieverbrauchs aufweisen. Bei den SNF vermögen die erwarteten Effizienzgewinne die Zunahme der Fahrleistung nur teilweise zu kompensieren. Dadurch verringert sich auch der Anteil der PW am Gesamtverbrauch des Verkehrs von heute rund 66 % in 2015 auf 53 % im Jahr 2050.

Abbildung 1: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Verwendungszwecken in EES 2020+, 2000 – 2050, in PJ

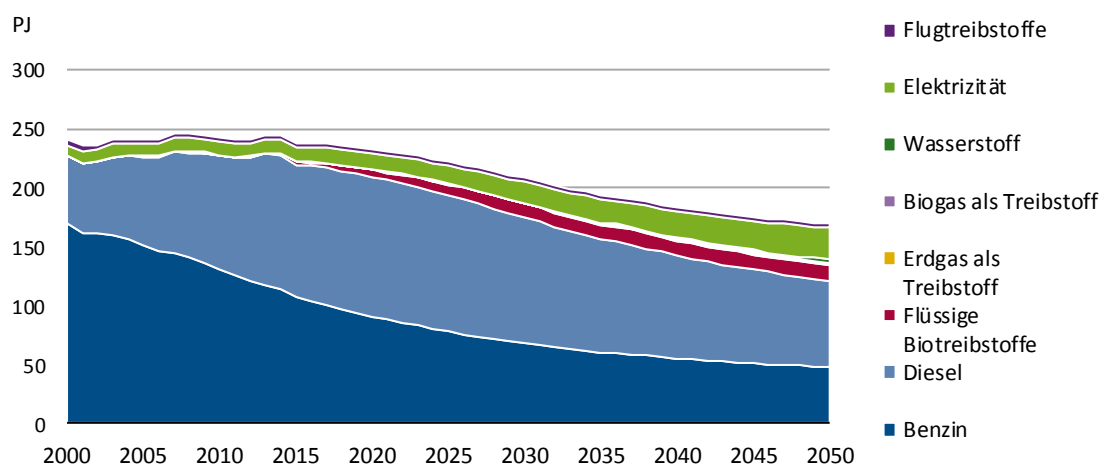


PW: Personenwagen, LNF: Leichte Nutzfahrzeuge (Lieferwagen), MR: Motorräder, SNF: Schwere Nutzfahrzeuge
Non-road gemäss Tabelle 1.

Grafik INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Der Energieverbrauch lässt sich auch nach Energieträgern aufschlüsseln, siehe Abbildung 2. Benzin und Diesel bleiben auch 2050 die Hauptenergieträger, ihr Anteil am Gesamtverbrauch nimmt von heute rund 93 % (220 PJ) auf 71 % (121 PJ) im Jahr 2050 ab. Parallel dazu nimmt der Stromanteil (von heute knapp 5 % auf 16 % in 2050) und der Anteil der erneuerbaren Energieträger (von heute knapp 1 % auf 8 % zu).

Abbildung 2: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Energieträgern in EES 2020+, 2000 – 2050, in PJ



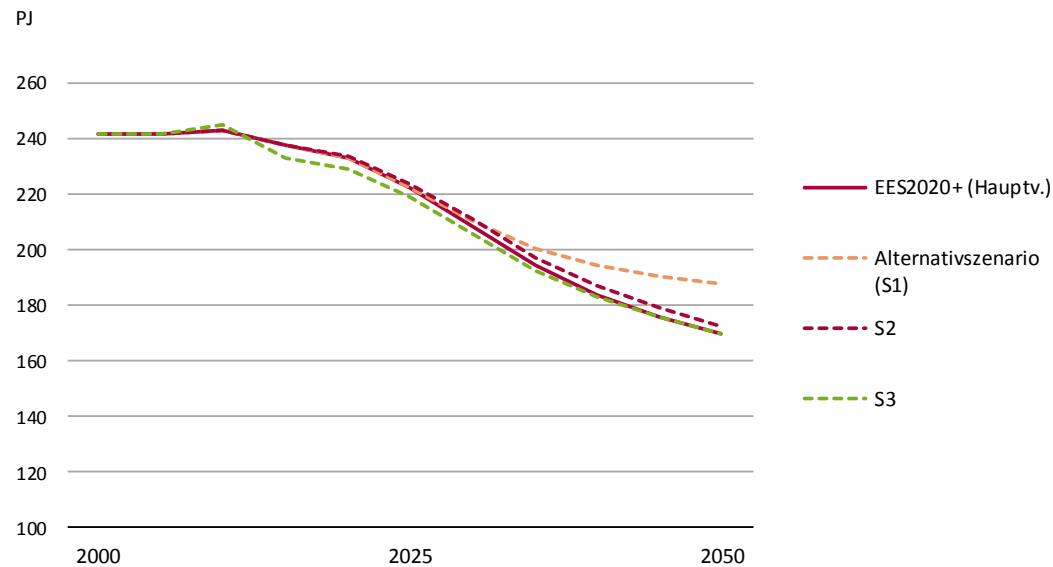
Grafik INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Die Resultate der Szenarien- und der Sensitivitätsrechnungen sind in Abbildung 3 einander gegenübergestellt. Werden die CO₂-Zielwerte für Neu-PW nach 2025 nicht weiter verschärft (Alternativszenario S1), so ist für die PW 2050 mit rund 20 % höherem Energieverbrauch im Vergleich zum Hauptszenario zu rechnen. Auf den Energieverbrauch des Gesamtverkehrs macht die Erhöhung rund 11 % aus.

Vergleichsweise gering ist der Effekt der neuen Annahmen zur künftigen Entwicklung der Absenkraten des Realverbrauchs (Ausnutzungsfaktoren) in Sensitivität S2: Der Energieverbrauch des Verkehrs wäre 2050 knapp 2 % höher mit den Ausnutzungsfaktoren (Diskrepanz Real- zu NEFZ-Verbrauch) wie sie in den Energieperspektiven verwendet wurden.

Die Berechnungen mit den Fahrleistungen aus den ARE-Verkehrsperspektiven (S3) führen im Total zu ähnlichen Ergebnissen bis 2050, allerdings mit unterschiedlichem zeitlichem Verlauf. Während der Energieverbrauch der PW über die gesamte Zeitreihe aufgrund der tieferen Fahrleistungen rund 5 % tiefer ist als im Hauptszenario EES 2020+, ist derjenige der schweren Nutzfahrzeuge höher. Insgesamt gleichen sich die beiden Effekte bis 2050 ungefähr aus.

Abbildung 3: Endenergieverbrauch des Verkehrs im Hauptszenario EES 2020+, Alternativszenario (S1) und den Sensitivitätsrechnungen (S2, S3), in PJ

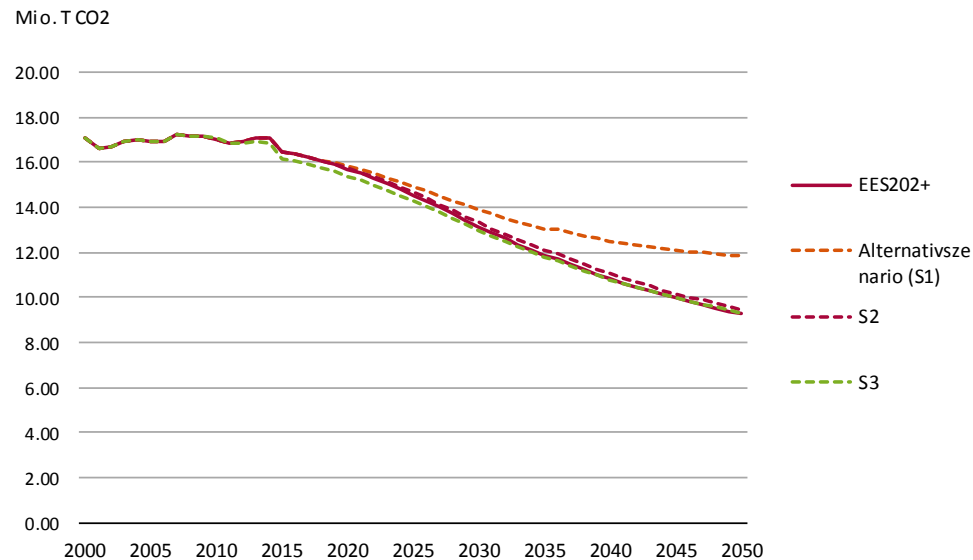


Abgeschnittene Skala der Y-Achse beachten

Grafik INFRAS. Quelle: Eigene Berechnungen, Prognos 2012

Die aus dem Energieverbrauch abgeleiteten fossilen CO₂-Emissionen (biogene Energieträger werden mit Null CO₂-Emissionen verrechnet) sind in Abbildung 4 dargestellt. Es sind ausschliesslich die beim Betrieb entstehenden Emissionen («tank-to-wheel», TTW) dargestellt, die Emissionen für die Energieproduktion wurden in vorliegender Studie nicht berechnet. Die Abnahme des Verbrauchs fossiler Energieträger im Verkehr wirkt sich auch auf die fossilen CO₂-Emissionen aus. Im Hauptszenario stösst der Verkehr 2015 rund 16.5 Mio. Tonnen fossiles CO₂ aus. Dieser Ausstoss verringert sich bis 2050 um 44 % auf rund 9.3 Mio. Tonnen CO₂. Die Verhältnisse zwischen den Szenarien und Sensitivitätsrechnungen sind ähnlich wie beim Energieverbrauch oben. Die fossilen CO₂-Emissionen im Alternativszenario 1 sind rund 28 % höher als im Hauptszenario, u.a. eine Folge des tieferen Elektromobilitätsanteils bei den PW im Alternativszenario S1.

Abbildung 4 Fossile CO₂-Emissionen (TTW) des Verkehrs in EES 2020+, Alternativszenario S1, Sensitivitäten S2 und S3, 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂



Grafik INFRAS

Die in der vorliegenden Studie aktualisierten Berechnungen des Energieverbrauchs des Verkehrs werden schliesslich mit den bisherigen Ergebnissen aus den Szenarien zu den Energieperspektiven des Bundes bis 2050 verglichen: Bis 2050 liegt der Energieverbrauch des Verkehrs innerhalb des durch die Szenarien der Energieperspektiven WWB und NEP aufgespannten Spektrums. Der Energieverbrauch im Hauptszenario der vorliegenden Studie ist aber deutlich höher als in POM (13 % höher im Jahr 2050) und liegt zeitweise (bis ca. 2030) über demjenigen von WWB. Augenfällig ist der gegenüber POM verzögerte Rückgang des Energieverbrauchs in EES 2020+. Erst nach 2015 ist der Energieverbrauch rückläufig und folgt dann ab ca. 2025 dem Verlauf von POM.

Die Ursache für den neu höheren Energieverbrauch im Hauptszenario (verglichen mit POM) liegt hauptsächlich in den aktualisierten Grundlagen der Modellierung des PW-Energieverbrauchs begründet, welcher mit einem Anteil von rund zwei Dritteln am Energieverbrauch (2015) mit Abstand die grösste Verbrauchergruppe darstellt. Namentlich wird neu von einer gegenüber POM verzögerten Zielwert-Entwicklung für den CO₂-Ausstoss bei Neu-PW ausgegangen: Der 95 g CO₂-Zielwert wird von den Neu-PW erst im Jahr 2023 erreicht statt bisher bereits 2020. Ausserdem werden die neuen Erkenntnisse zur Diskrepanz zwischen NEFZ- und Realverbrauch berücksichtigt und in die Zukunft extrapoliert. Gemäss ICCT beträgt heute die Differenz zwischen NEFZ- und Realverbrauch rund 40 %. Es wird angenommen, dass mit der Einführung einer neuen Prüfprozedur Ende 2017 (WLTP) diese Diskrepanz vorübergehend zurückgeht,

dann aber wieder zunehmen dürfte. In den Arbeiten zu den Energieperspektiven wurde noch von konservativeren Entwicklungen ausgegangen.

1. Einleitung

1.1. Ausgangslage und Ziel

Im Hinblick auf die Erarbeitung der Botschaft zur Klimapolitik nach 2020 sind aktuelle Grundlagen zur Entwicklung des Treibstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen im Strassenverkehr für den Zeitraum 1990-2050 wichtig. Zudem sind die Grundlagen für die Nationalen Berichterstattungspflichten (z.B. im Rahmen des Kyoto-Protokolls) möglichst aktuell zu halten.

Die massgeblichen, bestehenden Arbeiten zum Energieverbrauch und den CO₂-Emissionen sind die Energieperspektiven 2050 aus dem Jahr 2012 (Prognos 2012), der Bericht «Luftschadstoffemissionen des Strassenverkehrs 1990-2035» aus dem Jahr 2010 (BAFU 2010a) und die jährlich aktualisierten Ex-Post-Analysen des schweizerischen Energieverbrauchs (BFE 2016c). Methodisch bildete für den Strassenverkehr das «Handbuch für Emissionsfaktoren» (HBEFA) die Grundlage, allerdings in unterschiedlichen Versionen. Die Berechnungen der ersten beiden Arbeiten beruhen teilweise auf Grundlagen, für die mittlerweile neuere Erkenntnisse zur Verfügung stehen. Ziel der vorliegenden Pilotstudie ist es daher, ein aus heutiger Sicht aktuelles, wahrscheinliches Szenario zur künftigen Entwicklung des Treibstoffverbrauchs und der Treibhausgasemissionen des Strassenverkehrs zu erstellen. Indem Annahmen gezielt verändert und damit weitere Szenarien und Sensitivitäten berechnet werden, ist zudem sichergestellt, dass später der Einfluss von Änderungen der Ausgangslage auf den Treibstoffverbrauch und die Treibhausgasemissionen abgeschätzt werden kann.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeiten konnte keine umfassende Überarbeitung sämtlicher Sektoren der Energieperspektiven erfolgen. Der Fokus liegt hier auf dem Verbrauch des Verkehrs im Allgemeinen bzw. des Strassenverkehrs im Besonderen. Aus diesem Grund wurde beschlossen, die vorliegende Studie als «Pilot» zu bezeichnen. Eine umfassende Aktualisierung der Energieperspektiven zu einem späteren Zeitpunkt kann dann ggf. auf die Erkenntnisse aus dieser Pilotstudie zum Strassenverkehr zurückgreifen.

1.2. Zur Begriffsverwendung

«Szenarien» und «Sensitivitäten»

Für die Begriffswahl der die Zukunft betreffenden Berechnungen wurde auf die im Rahmen der Energieperspektiven verwendete Nomenklatur abgestützt. Als Szenario wird dabei eine mögliche zukünftige Entwicklung verstanden, basierend auf bestimmten Annahmen zur Entwicklung der Eingangsgrössen für die Modellierung. In Sensitivitätsberechnungen werden isolierte Annahmebereiche innerhalb des Szenarios variiert, um deren Auswirkungen auf das Ergebnis zu untersuchen.

«Verkehr»

Untersuchungsgegenstand der vorliegenden Arbeit ist die in der Schweiz abgesetzte Energie, die durch den Verkehr verbraucht wird. Es werden sämtliche Energieträger inkl. erneuerbare und Strom berücksichtigt. Dabei wird von denselben Abgrenzungen ausgegangen, wie sie in den Energieperspektiven des BFE (Prognos 2012), respektive der jährlichen Ex-Post-Analysen des Energieverbrauchs (BFE 2016c) verwendet werden, siehe auch Kapitel 2.2. Unter dem «Verbrauch des Verkehrs» wird in der vorliegenden Studie daher diese Abgrenzung – d.h. im Wesentlichen der Verbrauch aus mobilen Quellen – verstanden.

Im Gegensatz dazu umfasst der Sektor Verkehr («Transport», 1.A.3¹) in der Logik der Kyoto-Berichterstattung ausschliesslich den Treibstoffverbrauch des Strassen-, des inländischen Flug-, des Schienen- und des inländischen Schiffsverkehrs, sowie der Pipelines. Ausserdem sind unter 1.A.3b auch Tanktourismus und statistische Differenzen aufgeführt. Weitere Teile des Verkehrs werden dagegen in anderen Sektoren rapportiert: Der Non-Road-Verkehr ist in den Sektoren 1.A.2 «Manufacturing industries and construction» (Industrie- und Baumaschinen) und 1.A.4 «Other sectors» (Garten und Hobby, Landwirtschaft) und 1.A.5 „Other“ (Militär) enthalten. Nicht enthalten in der Kyoto-Systematik ist der Stromverbrauch des Verkehrs.

¹ Die Nummerierungen beziehen sich auf die standardisierte Nomenklatur der Kyoto-Berichterstattung (National Inventory Report) unter Berücksichtigung der Vorgaben des Kyoto-Protokolls und der United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC)

2. Methodik und Vorgehen

2.1. Überblick

Die Methodik der Berechnungen ist prinzipiell identisch mit derjenigen, die in den oben genannten Grundlagen (Energieperspektiven, Luftschadstoffinventar, Ex-Post-Analyse) verwendet wurde. Die Modellierungen des Strassenverkehrs beruhen auf dem Handbuch für Emissionsfaktoren (HBEFA – siehe auch Info-Box unten). Für eine detaillierte Beschreibung der Ansätze wird deshalb auch auf die entsprechenden Berichte verwiesen. Nachfolgend werden die wichtigsten Elemente, Konventionen und Abgrenzungen rekapituliert, die unabdingbar sind für das Verständnis der anschliessend präsentierten Resultate.

Der Energieverbrauch des Verkehrs wird mit Hilfe von Bottom-up-Modellen quantifiziert, welche die Verbrauchsgruppen in unterschiedlichem Detaillierungsgrad abbilden. In diesen Modellen werden die Energieverbräuche in zweckmässige Gruppen gegliedert («Kohorten») und modelliert. Dabei wird u.a. die zeitliche Entwicklung dieser Kohorten nachgebildet.

Die Eckwerte der Verkehrsnachfrage (Verkehrs- und Fahrleistungen nach Fahrzeugkategorien) werden in eigenen Modellen abgebildet. Grundlage dazu bilden die Arbeiten zu den Verkehrsperspektiven des ARE (2016a), welche die Entwicklung bis 2040 abbilden. In einem Zusatzprojekt (ARE 2016c) wurde die Entwicklung bis 2050 fortgeschrieben.

Ein zentrales Element bei der Erarbeitung der Ergebnisse ist der Abgleich zwischen Energieabsatz und -verbrauch bis zum aktuellen Referenzjahr (hier: 2015). Relevant für die internationale Berichterstattung (z.B. im Rahmen des Kyoto-Protokolls) ist letztlich der Absatz, der aber über die Energieträger hinaus weiter differenziert werden muss (z.B. nach Verkehrsmittel). Diese Differenzierung wird mit Hilfe der Bottom-up-Modellierungen des Verbrauchs ermittelt.

Während sich die Verbrauchsmodellierungen am Territorialprinzip (Verbrauch auf dem Gebiet der Schweiz) orientieren, erfasst das Absatzprinzip sämtliche in der Schweiz verkaufte/abgesetzte Energiemengen, unabhängig davon, ob sie auf dem Gebiet der Schweiz verbraucht wurden. Für die nachfolgenden Modellierungen ist diese Unterscheidung insbesondere beim Strassenverkehr im Fall von Benzin und Diesel relevant. Deshalb wird auch der sog. Tanktourismus mit geschätzt, der die primär aufgrund von Preisdifferenzen über die Grenze transferierten Treibstoffmengen beinhaltet.

Das Vorgehen im vorliegenden Projekt umfasst deshalb zwei Teile: Zunächst werden auf Basis der aktuellsten verfügbaren Grundlagen die Energienachfrage und der Absatz für die Jahre bis 2015 abgeglichen und dabei die wesentlichen Annahmen zur Verbrauchsmodellierung kalibriert. Dabei werden sämtliche Verbrauchergruppen berücksichtigt («Ex-Post»-Abgleich,

siehe Kapitel 3). Anschliessend werden die Modellinputs der Bottom-up-Modelle fortgeschrieben und bis 2050 die Energienachfrage berechnet. Der Fokus liegt dabei auf der künftigen Entwicklung des Energieverbrauchs des Strassenverkehrs (Kapitel 4).

Info-Box: Handbuch Emissionsfaktoren für den Strassenverkehr (HBEFA)

- HBEFA ist eine **Datenbank für Emissionsfaktoren** von Strassenverkehrsfahrzeugen. Sie enthält spezifische Emissionen (in g/km, g/Start, g/Stop, g/Fzg.) für alle heute gebräuchlichen Fahrzeugkategorien (PW, leichte und schwere Nutzfahrzeuge, Motorräder und Busse). Die Emissionsfaktoren sind aufgelöst nach Grössenklassen (z.B. Hubraumklassen) und Grenzwertstufen (EURO-Stufen) bzw. Alterskategorien – den sog. «Fahrzeugschichten» verfügbar. Dabei liegen die Emissionsfaktoren für verschiedene Verkehrssituationen und Längsneigungsklassen vor. Ausserdem wird unterschieden nach Betriebsemissionen im warmen Zustand des Motors, nach Kaltstartzuschlägen und Verdampfungsemissionen.
- HBEFA wird **finanziert** durch die zuständigen Behörden (Umwelt- und Strassenverkehrsämter, Energieagenturen, etc.) der beteiligten Länder. Zurzeit sind dies: Schweiz, Österreich, Deutschland, Schweden, Frankreich und Norwegen.
- Neben den detaillierten Emissionsfaktoren enthält HBEFA auch **länderspezifisch gewichtete Emissionsfaktoren**, z.B. nach Fahrzeugkategorie. HBEFA enthält Gewichtungen für die an der Entwicklung von HBEFA beteiligten Länder.
- Für die Herleitung der ungewichteten (Basis-)Emissionsfaktoren werden **verschiedene Quellen** beigezogen. Wichtige Grundlage ist dabei das «Passenger Car and Heavy duty vehicle Emission Model» **PHEM** der Technischen Universität Graz, ein Emissionssimulationsmodell für Fahrzeuge. Für die Kalibration von PHEM werden **umfangreiche Emissions-Messdaten** aus verschiedenen Quellen verwendet: Prüfstandsmessungen, hochaufgelöste Emissionsmessungen im realen Betrieb (PEMS), etc.
- HBEFA besteht aus verschiedenen **Modulen**: Mit einem **Flottenmodell** werden die Gewichtungen der Fahrzeugbestände und -fahrleistungen ermittelt, sowohl für die Vergangenheit als auch die künftige Entwicklung (Szenarien). In der **Emissionsfaktorendatenbank** sind die Emissionsfaktoren nach Fahrzeugschicht, Längsneigung und Verkehrssituation abgelegt. In einem **Emissionsmodell** werden die Fahrleistungen (z.B. als Ergebnis eines Verkehrsmodells) mit den Emissionsfaktoren verknüpft und die Energieverbräuche bzw. Emissionsfrachten berechnet.
- Die Emissionsfaktorendatenbank ist **öffentlich zugänglich** über die kostenpflichtige «HBEFA public version», inklusive den vorgegebenen länderspezifischen Gewichtungen.
- Aktuell ist die Version **HBEFA 3.3** vom April 2017 publiziert. In den hier vorliegenden Berechnungen des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen werden dieselben Methoden angewendet – siehe auch Kapitel 2.3. Die zugrundeliegenden Mengengerüste (Zusammensetzungen der Flotten, Fahrleistungen, Verbrauchsannahmen, etc.) wurden aber weiterentwickelt und unterscheiden sich von denjenigen in HBEFA 3.3. Die nächste Aktualisierung von HBEFA (Version 4) ist für 2018 geplant und die vorliegende Pilotstudie bildet für den Schweizer Teil dazu eine wichtige Vorarbeit.

2.2. Systemabgrenzung und -gliederung

Tabelle 2 zeigt die Gliederung der Verbrauchergruppen, welche dem Verkehr zugerechnet werden. Diese Gliederung wurde im Laufe der Analysen im Rahmen der Energieperspektiven und den Ex-Post-Analysen des BFE entwickelt. Die Bottom-up-Modelle erlauben die Aufschlüsselung

der Ergebnisse nach dieser Gliederung. Zudem können die Energieverbräuche weiter nach Energieträgern (Benzin, Diesel, Elektrizität, etc.) ausgewiesen und analysiert werden.

Tabelle 2: Verbrauchsklassen: Gliederung und Teilmodelle

	Strassenverkehr (Fahrzeugkategorien)	Non-Road	Tanktourismus
Gliederung	▪ Personenwagen (PW) ▪ Motorräder (MR) ▪ Reisebusse (Car) ▪ Linienbusse (LBus) ▪ Leichte Nutzfahrzeuge (LNF) ▪ Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	▪ Schiene (inkl. Rangierverkehr) ▪ Schiffe ▪ Flugverkehr (national und Militär) ▪ Land-/Forstwirtschaft* ▪ Baumaschinen* ▪ Industriefahrzeuge* ▪ Militär (o. Flugverk.) ▪ Mobile Geräte*	Im Ausland getankte, aber auf dem Territorium der Schweiz verbrauchte Treibstoffmengen (bzw. umgekehrt).
Modell (Quelle)	HBEFA (INFRAS 2017)	Non-Road-Inventar der Schweiz (BAFU 2015), Treibhausgasinventar der Schweiz (FOEN 2017)	ExPost-Analyse (BFE 2016c), Tanktourismusstudie (Keller 2015)

* Für die Beurteilung der Erreichung des CO₂-Emissionsziels des Verkehrs gemäss CO₂-Verordnung (SR 641.711) werden diese Verbrauchsklassen nicht mitberücksichtigt.

Tabelle INFRAS.

In der vorliegenden Studie liegt der Fokus auf der Modellierung des Strassenverkehrs. Für diesen Bereich werden die Grundlagen aktualisiert und Energieverbrauchsszenarien berechnet. Im Gegensatz dazu werden für die übrigen Bereiche (Non-Road, Tanktourismus) die Ergebnisse der bestehenden Grundlagen übernommen; Sensitivitätsrechnungen werden für diese beiden Bereiche nicht durchgeführt.

Im nächsten Kapitel wird auf die Verbrauchsmodellierung und die dazu notwendigen Grundlagen näher eingegangen. Für die Modellierung des Non-Road-Verkehrs und des Tanktourismus wird dagegen auf die entsprechenden Berichte verwiesen (BAFU 2015, FOEN 2017, BFE 2016c/Keller 2015).

2.3. Modellierung Strassenverkehr

Die Bottom-up-Modellierung des Treibstoffverbrauchs im Strassenverkehr erfolgt vereinfacht gemäss folgendem Ansatz:

$$\text{Treibstoffverbrauch [t/Jahr]} = \underbrace{\text{Fzg-Bestand [Fzg]} \times \text{spez. Fahrleistung [km/Fzg u. Jahr]}}_{\text{Aktivität (Fahrleistung)}} \times \text{spez. Treibstoff-Verbrauch [g/Fzg-km]}$$

Die Verkehrsaktivitäten (Fahrleistungen in Fahrzeug-Kilometer) werden mit den entsprechenden spezifischen Verbrauchsfaktoren multipliziert und zum Gesamtverbrauch aggregiert. Mit Hilfe der im Annex angegebenen Heizwerten wird aus dem Treibstoffverbrauch der Energieverbrauch ermittelt.

Diese Modellierung erfolgt für jede Fahrzeugkategorie (PW, LNF, SNF, MR, Busse), differenziert nach der Verkehrszusammensetzung nach Antriebsart (Benzin, Diesel, Elektrizität, etc.) und Grössenklasse (z.B. Hubraumklassen für die PW, Gesamtgewicht für SNF), sowie den sog. Verkehrssituationen (Geschwindigkeits-/Beschleunigungsmuster auf unterschiedlichen Strassentypen, z.B. «freier Fluss auf Autobahn 120 km/h»).

Im Wesentlichen sind daher folgende Schritte zur Modellierung des Verbrauchs im Strassenverkehr notwendig:

- A) Die Gesamtfahrleistung einer Fahrzeugkategorie (A0, siehe Kapitel 2.3.1) wird aufgegliedert nach den Verkehrssituationen (A1, Kapitel 2.3.2) und der Verkehrszusammensetzung nach Antriebsarten, Grössenklassen und Fahrzeugalter (Flottenzusammensetzung; A2, Kapitel 2.3.3).
- B) Für jedes Jahr sind die spezifischen Verbrauchsfaktoren festzulegen, differenziert nach Fahrzeugkategorien und Grössenklassen (Kapitel 2.3.4).
- C) Schliesslich sind die Anteile an biogenen Treibstoffen (Bio-Ethanol, Biogas, Biodiesel, etc.) festzulegen, (siehe Kapitel 2.3.5).

2.3.1. Gesamtfahrleistung pro Fahrzeugkategorie (A0)

Die Gesamtfahrleistung nach Fahrzeugkategorie (PW, LNF, SNF, MR, Busse) wird als vorgegebene Grösse betrachtet (siehe Kapitel 3.1.1). Die weiteren Gliederungen (Verkehrssituationen, Flottenzusammensetzung) sind relativ und beziehen sich auf die Eckwerte der Gesamtfahrleistungen.

2.3.2. Fahrleistung nach Verkehrssituationen (A1)

Verkehrssituationen sind in HBEFA aufgrund der drei statischen, räumlich differenzierten Parameter Umgebungstyp (Agglomeration/ländlich), Strassentyp und Höchstgeschwindigkeit, sowie dem dynamischen (zeitlich differenzierten) Parameter Verkehrsqualitätsstufe (Level of Service bzw. LOS, vier Stufen von freifliessend bis Stau) definiert. Zudem werden vier Längsneigungsklassen (flach, $\pm 2\%$, $\pm 4\%$, $\pm 6\%$) unterschieden. Die relativen Anteile der Verkehrssituationen an der Fahrleistung jeder Fahrzeugkategorie (s. Kapitel 2.3.1) werden aufgrund folgender Grundlagen bestimmt:

- Die drei statischen Parameter der Verkehrssituationen sowie die Längsneigung basieren auf dem für die Verkehrsperspektiven 2040 verwendeten Nationalen Personenverkehrsmodell des ARE (NPVM, s. ARE 2016b). Dieses differenziert rund 20'000 Strassenabschnitte (Links), welche für jeden Modellzustand (2010, 2020, 2030 und 2040) die Belastung nach Fahrzeugkategorien² enthalten. Jeder Link ist im NPVM mit den Attributen Strassentyp und Höchstgeschwindigkeit charakterisiert (s. Tabelle 16 im Annex für die Zuordnung der NPVM- zu den HBEFA-Strassentypen); durch seine räumliche Lage kann er mit Hilfe zusätzlicher GIS-Kartenebenen (Gemeindetypologie³, Höhenmodell) auch dem passenden Umgebungstyp bzw. der passenden Längsneigungsklasse zugeordnet werden.

Die nicht als Einzel-Links im NPVM abgebildeten Strassenabschnitte (d.h. der Anbinde- und Zonenbinnenverkehr, ungefähr 10 % der gesamten Fahrleistungen) werden den Strassentypen Hauptverkehrs- (HVS), Sammel- und Erschliessungsstrassen analog den Annahmen in ARE (2016b) zugeordnet.

- Die Anteile der Level of Service (LOS) innerhalb der statischen Verkehrssituationen werden für Autobahnen und dem untergeordneten Strassennetz mit Höchstgeschwindigkeiten von mind. 70 km/h mittels dem Kapazitätsansatz bestimmt. Dabei wird die Tagesbelastung (DTV) anhand einer Normganglinie in Stundenbelastungswerte aufgeteilt und diese als Anteil an der Stundenkapazität des jeweiligen Strassenabschnitts berechnet (« α -Wert»). Über vorgegebene Schwellenwerte für die Übergänge von fliessend/dicht/gesättigt/Stop+Go kann jeder stündliche Belastungswert einem LOS zugeordnet werden. Die Schwellenwerte wurden basierend auf GPS-Daten von Taxis in der Region Bern hergeleitet (INFRAS 2015, s. Tabelle 17 im Annex). Die LOS-Anteile der Fahrleistungen sind somit dynamisch, d.h. sie unterscheiden sich zwischen den NPVM-Zuständen 2010, 2020, 2030 und 2040, entsprechend der modellierten Belastung pro Strassenabschnitt.

² Das NPVM unterscheidet die Fahrzeugkategorien PW, Lieferwagen sowie Lastwagen und Lasten-/Sattelzüge. Diese wurden basierend auf Zähldaten der Schweizerischen Automatischen Strassenverkehrszählung (SASVZ, <https://www.astra.ad-min.ch/astra/de/home/dokumentation/verkehrsdaten/daten-publikationen/automatische-strassenverkehrszahlung.html>) des Jahres 2015 in die HBEFA-Fahrzeugkategorien aufgesplittet. S. dazu Tabelle 15 im Annex.

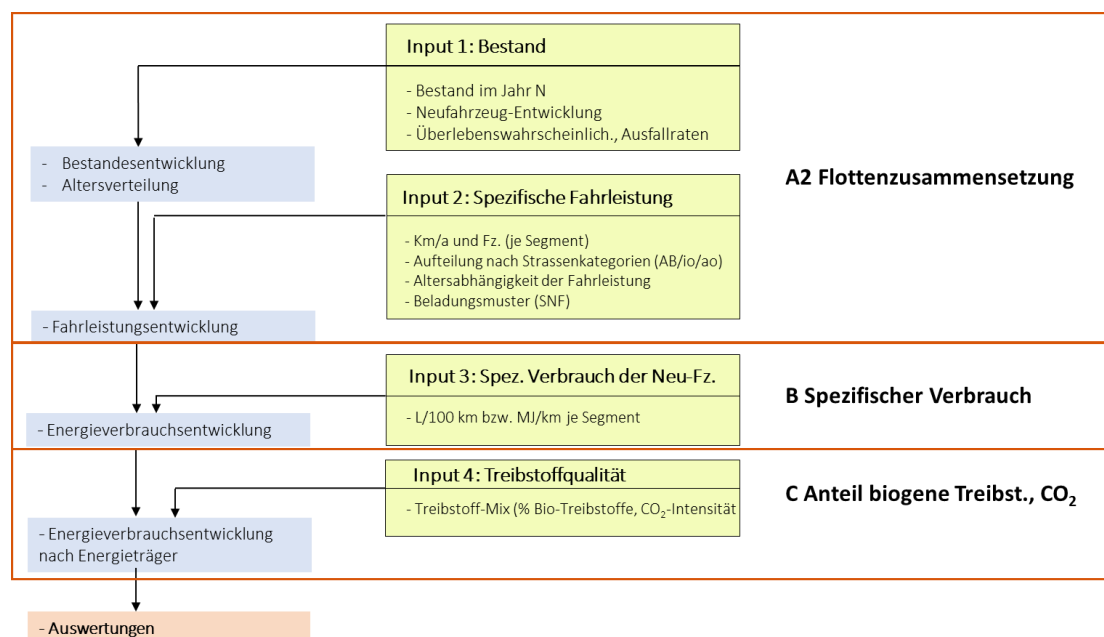
³ Als «Grosszentren», «Nebenzentren der Grosszentren» und «Mittelzentren» klassifizierte Gemeinden nach der Gemeindetypologie des ARE (2014) werden als Umgebungstyp «Städtisch/Agglo» betrachtet, der Rest als «ländlich».

- Für die restlichen Strassentypen (nicht-Autobahnen mit <70 km/h Höchstgeschwindigkeit) ist der Kapazitätsansatz nicht zielführend, da hier der Verkehrsfluss nicht nur von der Verkehrsdichte, sondern auch von Kreuzungen, Lichtsignalanlagen und Hindernissen beeinflusst wird. Es werden deswegen basierend auf den GPS-Daten aus INFRAS (2015) direkt, fixe LOS-Anteile pro statische Verkehrssituation hergeleitet, indem die Fahrleistungen der Taxis aufgrund ihrer Geschwindigkeitsprofile den passenden LOS zugeordnet und anhand Tagesganglinien gewichtet wurden. Die so hergeleiteten LOS-Anteile sind fix vorgegeben, unabhängig von der Streckenbelastung und unterscheiden sich daher nicht zwischen modellierten Zeitständen (s. Tabelle 18 im Annex).
- Für das Jahr 2050 liegt kein Modellzustand aus dem NPVM vor. Für die Periode 2040-2050 wurde die aus dem Modellzustand 2040 hergeleitete Verkehrssituationen-Verteilung übernommen.

2.3.3. Flottenzusammensetzung (A2)

Mit der sog. «Flottenzusammensetzung» werden die fahrleistungsgewichteten Anteile der Fahrzeugschichten (Fahrzeugkategorie/Antriebsart/Grössenklasse/Alter) bezeichnet. Abbildung 5 gibt einen Überblick über die Herleitung der Flottenzusammensetzung und zeigt die notwendigen Inputs:

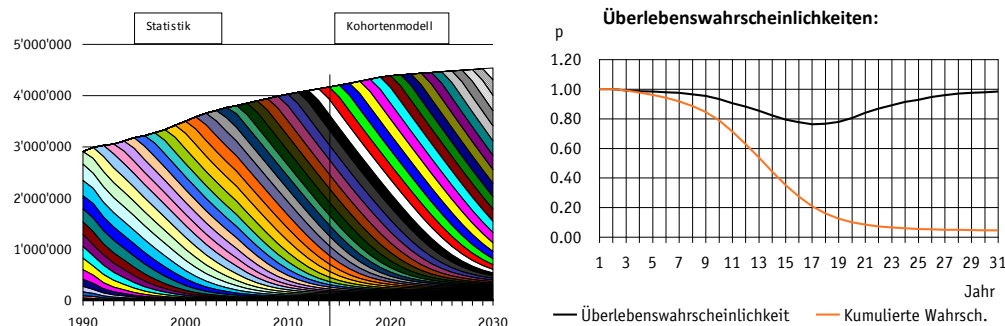
Abbildung 5: Modellierung des Energieverbrauchs im Flottenmodell von HBEFA



Grafik INFRAS.

- In einem ersten Schritt wird die Bestandesentwicklung modelliert (siehe Abbildung 6). Bis zum aktuellen Jahr (2015 in dieser Studie) stehen dabei die Angaben zum Gesamtbestand und zur Altersverteilung der Fahrzeuge aus dem Motorfahrzeugregister des Bundes (MOFIS) zur Verfügung. Die Altersverteilung der Fahrzeuge ist eine entscheidende Bezugsgrösse, um in einem nachfolgenden Schritt die korrekten Verbrauchs- bzw. Emissionswerte zuweisen zu können. Für die zukünftige Entwicklung der Flottenzusammensetzung werden Annahmen zur Anzahl der Neuzulassungen, deren Zusammensetzung (Antriebsarten/Grössenklassen) und deren Überlebenswahrscheinlichkeiten (oder: Ausfallraten) getroffen. Damit kann der Bestand jedes künftigen Jahres in einer iterativen Kohorten-Modellierung bestimmt werden. Die Flottenmodellierung wird für jede Fahrzeugkategorie separat durchgeführt, wobei die jeweils fahrzeugtyp-spezifische Differenzierung nach Antriebsarten/Grössenklassen berücksichtigt wird.
- Anschliessend werden die spezifischen Fahrleistungen (in km/Fzg u. Jahr) berücksichtigt. Angaben dazu liefern diverse Erhebungen wie z.B. die Auswertungen des BAV zur LSVA und die periodische Erhebung Fahrleistungen des ARE (letztmals 2000, siehe ARE 2002). Mittlerweile werden in MOFIS auch wieder die – davor zeitweise ausgesetzten – Erhebungen zu den Fahrleistungen der Fahrzeuge bei der Prüfung durch die kantonalen Motorfahrzeugkontrollen abgelegt. Diese Daten geben Aufschluss über Unterschiede zwischen den Segmenten (Antriebsart/Grössenklasse pro Fahrzeugkategorie). Diesel-PW haben beispielsweise höhere spezifische Fahrleistungen als Benzinfahrzeuge und legen diese zu einem grösseren Anteil auf Autobahnen zurück, neue Fahrzeuge haben höhere Fahrleistungen als ältere, etc. Parallel dazu werden die Fahrleistungen je Fahrzeugkategorie auf die drei Strassentypen (Autobahnen, ausserorts, innerorts) verteilt. Die Basis für diese Aufteilung liefert das Netz des NPVM, das mit dem Siedlungsgebiet gemäss Swisstopo 2015) verschnitten wird. Für die schweren Nutzfahrzeuge werden in diesem Arbeitsschritt ausserdem die Auslastung (Beladungsgrad) und die Transformation der Zugfahrzeuge aus der Motorfahrzeugstatistik zu den tatsächlich verkehrenden Kombinationen (Solo-LKW, Lasten-, Sattelzüge) und ihren Gesamtgewichten modelliert.

Abbildung 6: Flottenmodellierung (Bestandesentwicklung) in HBEFA (Beispiel)



Die Grafik rechts zeigt illustrativ die Überlebenswahrscheinlichkeitskurve der PW. Die schwarze Linie zeigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein Fahrzeug (in Abhängigkeit seines Alters) im Folgejahr noch im Verkehr ist, die orange Kurve zeigt die kumulierten Werte (= „Lifetime-function“) und macht eine Aussage zur Wahrscheinlichkeit, dass ein Fahrzeug nach x Betriebsjahren noch im Verkehr ist. Links ist die Entwicklung des Schweizer PW-Bestandes dargestellt, inkl. Neuzulassungen und allmählichen Ausfällen aus dem Verkehr. Durch einen vertikalen Schnitt in einem bestimmten Bezugsjahr lässt sich die entsprechende Altersverteilung der Fahrzeuge ablesen. Damit lassen sich u.a. Rückschlüsse auf deren baujahr-spezifischen Treibstoffverbrauch machen.

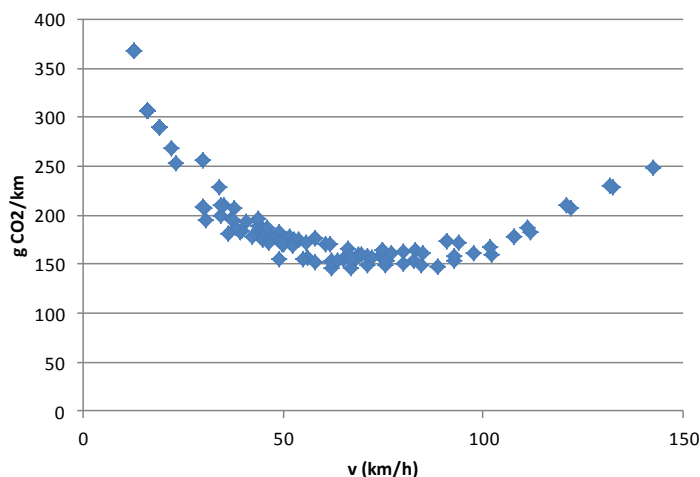
Grafik INFRAS.

- Für die Verbrauchsmodellierung liegen somit die flottenspezifischen Informationen vor, inkl. Fahrzeugalter. Nicht dargestellt ist hier die Zuweisung der Fahrzeuge zu den Emissionsstufen (Euro-1/I, etc.) welche im HBEFA-Flottenmodell über das aus der Altersverteilung bekannte Baujahr der Fahrzeuge vorgenommen wird. Im Gegensatz zu den Luftschadstoffemissionen, welche direkt von der jeweiligen Regulationsstufe abhängig sind, spielt diese Information für die Modellierung des Verbrauchs eine untergeordnete Rolle, wird aber zwecks eingängiger Charakterisierung der Flotte immer auch mitgeführt.

2.3.4. Spezifischer Verbrauch (B)

Ein Kernelement für die Modellierung des Energieverbrauchs des Strassenverkehrs sind die spezifischen Energieverbräuche der verschiedenen Fahrzeugtypen und deren Entwicklung. Grundlage sind einerseits Verbrauchsangaben gemäss dem HBEFA, wo solche Informationen für verschiedene Fahrzeugtypen für verschiedene Verkehrssituationen bzw. Geschwindigkeiten angegeben sind (vgl. Abbildung 7). Dieses Beispiel zeigt die spezifischen CO₂-Emissionen – die direkt proportional zum Verbrauch sind – eines «Norm-Benzin-PW» der Euro-Stufe 3 (Baujahr 2002; gemittelt aus den für dieses Segment verfügbaren Verbrauchsmessungen).

Abbildung 7: Spezifische CO₂-Emissionen eines mittleren «Norm-PW» (Benzin, 1.4-2 L, EURO-3)



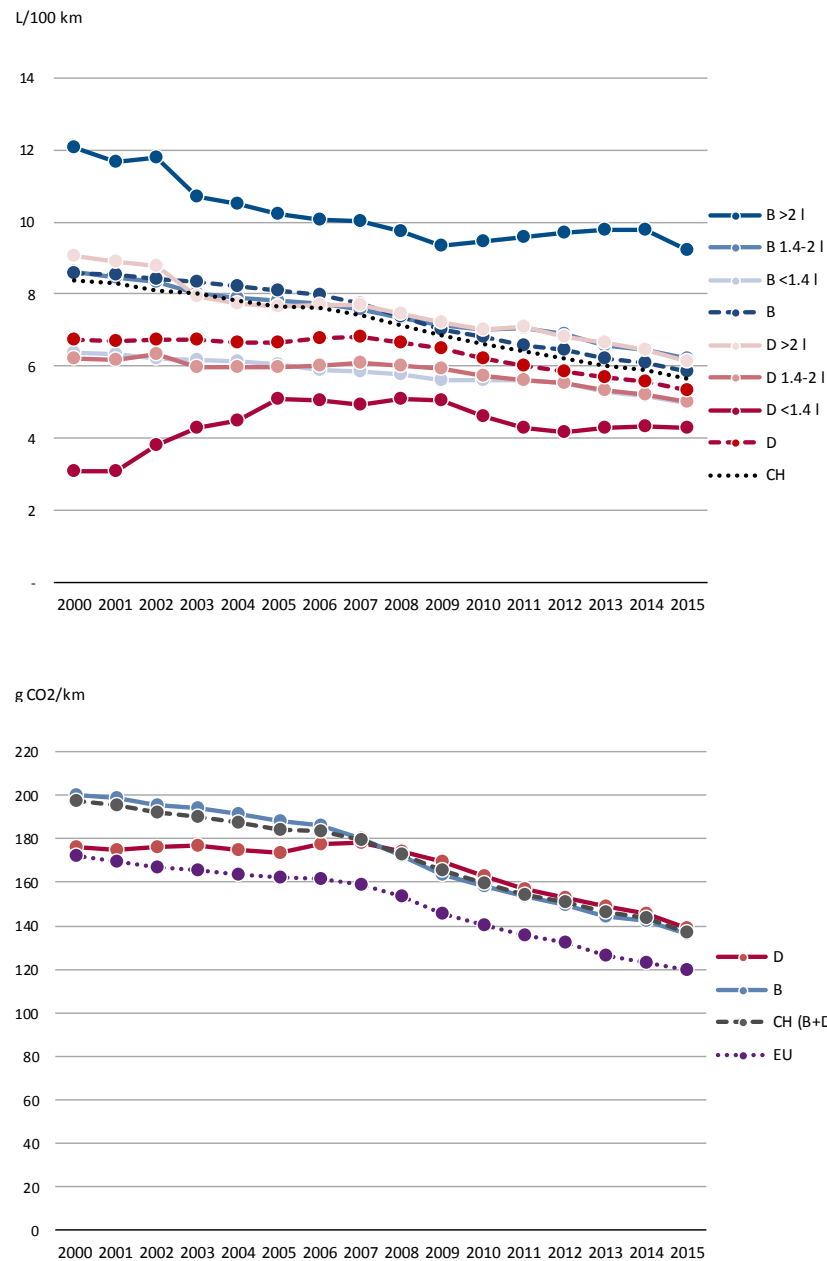
Spezifische CO₂-Emission eines mittleren „NORM-PW“ (Benzin, 1.4-2 L, Euro-3) für verschiedene Verkehrssituationen. Die hier gezeigten Werte gelten für ein Fahrzeug des Baujahres 2002. Der Energieverbrauch ist direkt proportional zu den CO₂-Emissionen und wird daher hier nicht separat dargestellt.

Grafik INFRAS. Quelle: HBEFA, Version 3.1 (BAFU 2010b)

Die Verbrauchsangaben in HBEFA für den Norm-PW beruhen auf dem «Passenger car and Heavy duty vehicle Emission Model (PHEM)» der Technischen Universität Graz (TU Graz 2009). Diese Resultate beschreiben ein bestimmtes, durch seine Charakteristika (Motorengrösse, Gewicht, etc.) beschriebenes Fahrzeug, das aber nicht unbedingt für die in der Schweiz spezifischen Gegebenheiten repräsentativ ist. Durch eine länderspezifische Anpassung wird zunächst der Norm-PW auf die Schweizer Flotte für das Referenzjahr 2002 (=Baujahr des Norm-PW) korrigiert und auf die fehlenden Grössenklassen (<1.4 L, >2 L) übertragen. Dies wird in HBEFA als «Basiskorrektur» bezeichnet. Grundlage für diese Korrektur sind die CO₂-Werte aus dem nationalen Monitoring, das bis 2012 von Autoschweiz und seither vom BFE jährlich publiziert wird. Dieser Abgleich beinhaltet implizit auch eine Annahme über den Kaltstart-Anteil, da die PHEM-Modellwerte sich auf den warmen Betriebszustand beziehen, während die Monitoring-Werte gemäss NEFZ-Vorgaben bei kaltem Fahrzeug gemessen werden.

Ausgehend davon kann die relative Entwicklung der spezifischen CO₂-Emission anhand der Entwicklung, wie sie in Abbildung 8 für die Vergangenheit gezeigt ist, durch eine Niveauekorrektur für alle andern Baujahre bis zum gewünschten Zieljahr hergeleitet werden.

Abbildung 8: PW-Neufahrzeuge, Entwicklung des spezifischen Treibstoffverbrauchs (in L/100 km) bzw. der spezifischen CO₂-Emissionen (in g CO₂/km) im Typenprüfzyklus (NEFZ)



B: Benzin, D: Diesel; CH: Durchschnitt Schweiz, EU: Durchschnitt für EU15, EU25, EU27 bzw. EU28

Grafik INFRAS. Quelle: Autoschweiz, BFE 2016b, EEA 2016

Die in Abbildung 8 gezeigten Verbrauchsentwicklungen für die Neuwagen beziehen sich auf den für die Zulassung massgebenden Typenprüfzyklus NEFZ (Neuer europäischer Fahrzyklus). Mittlerweile ist erwiesen, dass ein Teil der ausgewiesenen Absenkung auf eine Optimierung des Normverbrauchs im Typenprüfzyklus NEFZ zurückzuführen ist. Der effektive, reale Verbrauch auf der Strasse ist in der Regel höher, weil der Normzyklus kein reales Fahrverhalten abbildet und unter Laborbedingungen gefahren wird (z.B. kein Gepäckträger, Spezialreifen und Reifendruck, keine Strassenlängsneigungen, normiertes Beladungsgewicht etc.); insbesondere sind auch zusätzliche Verbrauchsgeräte wie Klimaanlage darin nicht eingeschlossen. Europäische Studien (z.B. Mellios u. a. 2011, ICCT 2016b) setzen den „Real World“-Verbrauch deshalb generell um 15 bis 40 % höher an. In der hier verwendeten Bottom-up-Modellierung wird differenziert vorgegangen:

- Zum einen werden einzelne Aspekte separat berücksichtigt, welche durch den NEFZ nicht oder in eigener Form abgedeckt sind, namentlich Klima-Anlagen und Fahrverhalten bzw. Strassenneigungen. So wird das Fahrverhalten aus dem VM-UVEK (Verkehrsmodell des ARE) abgeleitet, indem die dort enthaltenen Fahrleistungen verschiedenen Verkehrssituationen gemäss HBEFA (Version 3.3)⁴ zugewiesen werden. Der Effekt von Klimaanlage wird auf der Grundlage eines EMPA-Modells berechnet (integriert in HBEFA 3.3).
- Zum andern werden die Absenkpfade gemäss NEFZ (gemäss Abbildung 8) korrigiert, um zu berücksichtigen, dass ein Teil der Absenkung durch Optimierung auf den Typenprüfzyklus erzielt wurde. Zur Herleitung dieses «Ausnutzungsfaktors» ($\text{Abs.-Rate}_{\text{real}}/\text{Abs.-Rate}_{\text{NEFZ}}$) werden Korrekturfaktoren herangezogen, für die mittlerweile umfassende Untersuchungen vorliegen (z.B. ICCT 2016b)⁵. Daraus zeigt sich, dass diese Diskrepanz über die Jahre laufend zugenommen hat (siehe auch Auswertungen im Kapitel 3.1.3).

Für Zukunft sind Annahmen zur Entwicklung des spezifischen Verbrauchs der Neuwagen festzulegen. Dabei sind jeweils folgende Teilaspekte zu beurteilen:

- Zunächst ist festzulegen, wie sich die Struktur der Neuwagenflotte entwickeln wird. Vor allem ist als Hypothese festzulegen, wie gross der Anteil an Elektrofahrzeugen oder «Low Emission Vehicles» sein wird, welche bei der Emissionsberechnung mit null oder tiefen (z.B. <50 g CO₂/km) CO₂-Emissionen gewichtet werden.

⁴ Im HBEFA (Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs, Version 3.3; INFRAS 2017) werden verschiedene Verkehrssituationen definiert, aus denen für die verschiedenen Fahrzeugtypen entsprechende Emissions- und Energieverbrauchsfaktoren abgerufen werden können. Verkehrssituationen werden einerseits nach statischen Parametern unterschieden, d.h. für rund fünf verschiedene Streckentypen in städtischen und ländlichen Gebieten sowie in Abhängigkeit der Tempolimits; andererseits werden die Verkehrssituationen zusätzlich differenziert nach vier Verkehrsqualitätsstufen (LOS, Level of Service): flüssiger Verkehr, dichter Verkehr, gesättigter Verkehr und Stop+Go.

⁵ Bisher (z.B. für die Energieperspektiven 2050) wurden für diese Korrekturfaktoren auf der Basis einer Studie, die Mellios u. a. 2011 im Auftrag des Joint Research Centre der Europäischen Kommission (JRC) hergeleitet.

- Andererseits ist der Verlauf der spezifischen CO₂-Emission der gesamten Neuwagenflotte zu definieren.

Eine Modellierung für die Wirkungsabschätzung muss beide Aspekte gleichzeitig berücksichtigen, da sie in ihrer Kombination den gewichteten Neuwagen-Flottenwert ergeben, der letztlich exogen vorgegeben wird. In Kapitel 4 sind die in vorliegender Studie getroffenen Annahmen beschrieben.

2.3.5. Anteil biogene Treibstoffe (C)

Für die Aufteilung des Energieverbrauchs nach Energieträger und der CO₂-Emissionen sind die Anteile von aus erneuerbaren Quellen hergestellten Treibstoffen festzulegen. Diese Anteile sind gemäss Kyoto-Protokoll CO₂-frei (im Betrieb). In der Schweiz werden Biotreibstoffe ausschliesslich als Beimischungen zu konventionellen, fossilen Treibstoffen, namentlich Bio-Ethanol in Benzin, Biodiesel in Diesel und Biogas in CNG verwendet.

3. Abgleich Verbrauch/Absatz (Ex-Post)

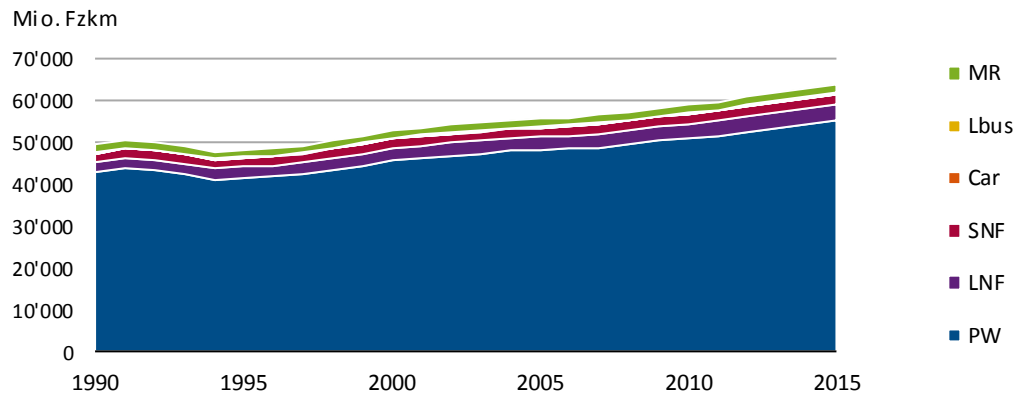
Das folgende Kapitel fasst die für die Berechnung des Energieverbrauchs des Verkehrs 1990 bis 2015 verwendeten Grundlagen zusammen. Der Fokus liegt dabei auf den Grundlagen des Strassenverkehrs, für den Non-road-Verkehr und den Tanktourismus wird auf die entsprechenden Studien verwiesen.

3.1. Grundlagen Strasse

3.1.1. Gesamtfahrleistungen pro Fahrzeugkategorie und Verkehrssituationen

Die Fahrleistungen auf der Ebene der Fahrzeugkategorien werden als «Eckwerte» aus den Publikationen des BFS übernommen (siehe Abbildung 9, Daten im Annex), Details zur Herleitung dieser Werte sind in BFS 2016 zu finden. Die Gesamtfahrleistung des Strassenverkehrs ist dabei von 1990 bis 2015 um rund 29 % angestiegen und erreicht 2015 knapp 64 Milliarden Fahrzeugkilometer. 86 % davon entfallen auf die Personenwagen.

Abbildung 9: Entwicklung der Gesamtfahrleistung nach Fahrzeugkategorie gemäss BFS, 1990-2015



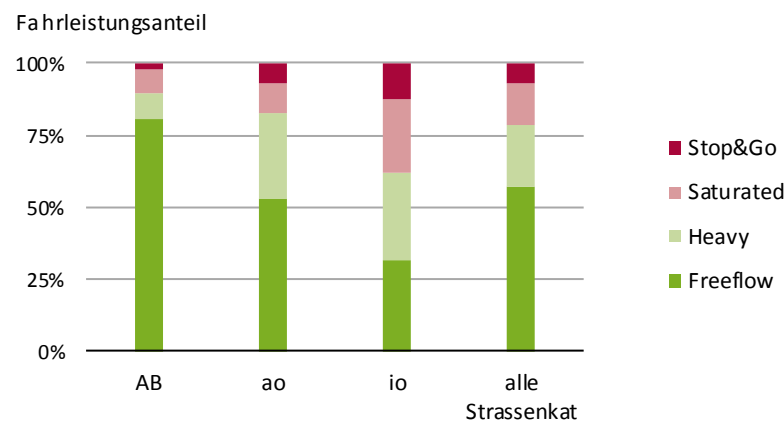
Grafik INFRAS. Quelle: BFS

Das BFS passt die Fahrleistungen periodisch auch rückwärtig über mehrere Jahre an neuere Grundlagen an. So wurden etwa die PW-Km gegenüber den Angaben im Jahr 2009 um rund 11 % gesenkt. Es ist zu erwarten, dass auch künftig solche Anpassungen seitens des BFS vorgenommen werden, konkret steht beispielsweise die Auswertung der Daten aus dem Mikrozensus Mobilität und Verkehr (MZMV) aus dem Jahr 2015 an. Für die vorliegende Fragestellung stellt dies insofern eine Herausforderung dar, weil eine Korrektur der Fahrleistungen Überprüfungen und Anpassungen an sämtlichen anderen für die Verbrauchsmodellierung relevanten Annahmen (spez. Fahrleistungen und Flottenzusammensetzungen, Basiskorrektur und Ab-

senkraten, etc.) nach sich zieht. Der nachfolgende, in Kapitel 3.4 präsentierte Abgleich zwischen Verbrauch und Absatz beruht auf den derzeit gültigen, offiziellen Fahrleistungs-Eckwerten des BFS.

Abbildung 10 zeigt die Aufteilung der Fahrleistung nach den Level of Service (Verkehrsqualitätsstufen) für die Strassenkategorien Autobahnen (AB), ausserorts (ao) und innerorts (io). Dargestellt ist das Jahr 2010, die Verschiebungen über die Zeitreihe bis 2050 hinsichtlich der Verkehrssituationen sind allerdings unbedeutend. Auf Autobahnen beträgt der Stop+Go-Anteil rund 2 % der Fahrleistung, innerorts sind es 12 %. Im Mittel über alle Strassenkategorien entfallen knapp 7 % der Fahrleistung auf Stop+Go.

Abbildung 10: Fahrleistungsanteile nach Verkehrsqualitätsstufen (Levels of Service), 2010



Grafik INFRAS.

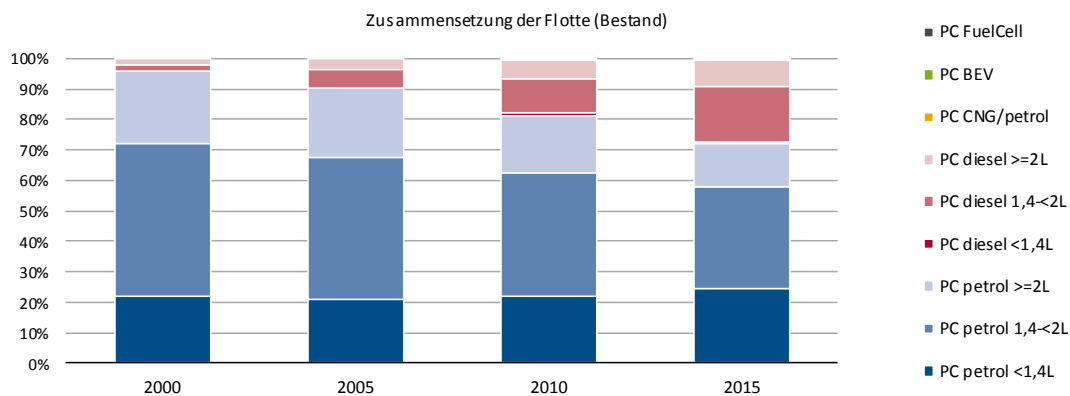
3.1.2. Flottenzusammensetzung (Bestand, Fahrleistungen)

3.1.2.1. Bestand

Die Zusammensetzungen des Fahrzeugbestands (Anzahl Fahrzeuge) für die PW, LNF und SNF sind in den nachfolgenden Abbildungen (Abbildung 11 bis Abbildung 13) dargestellt. Sie beruhen auf den Auswertungen des Motorfahrzeugregisters des Bundes (MOFIS), das jährlich jeweils mit dem Stichdatum 30. September ausgewertet wird.

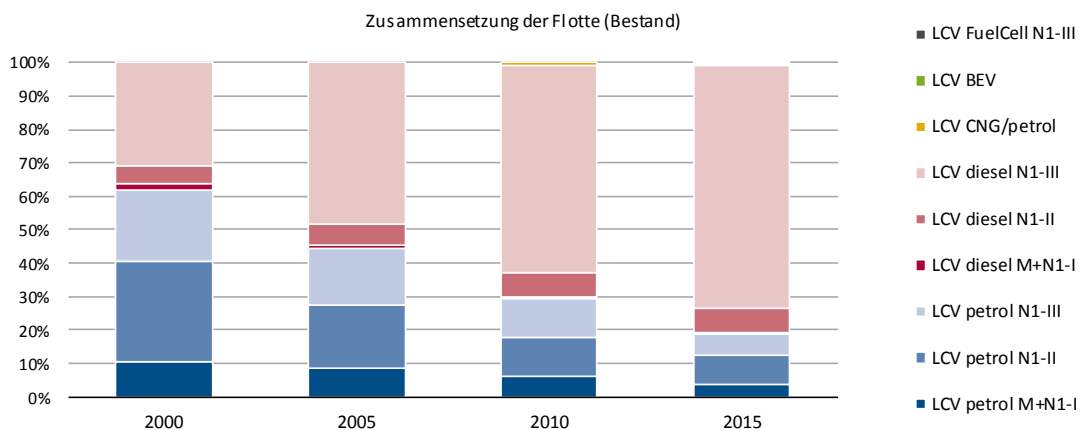
Augenfällig ist bei den PW die Zunahme der Dieselfahrzeuge im Bestand über die letzten 15 Jahre: Während in 2000 erst rund 4 % der inländischen PW Dieselfahrzeuge waren, sind es mittlerweile gut 25 %. Die alternativen Antriebsformen wie Elektrofahrzeuge machen nach wie vor einen vernachlässigbaren Anteil (<1 %) am Gesamtbestand der PW aus. Bei den LNF ist seit 2000 ebenfalls eine markante Zunahme der Dieselfahrzeuge festzustellen, ausserdem ist eine Verschiebung hin zu den grossen (N1-III) Fahrzeugen sichtbar. Diese machen über zwei Drittel des LNF-Bestands aus.

Abbildung 11: Zusammensetzung Bestand inländische PW (nach Technologie und Hubraumklasse), 2000-2015



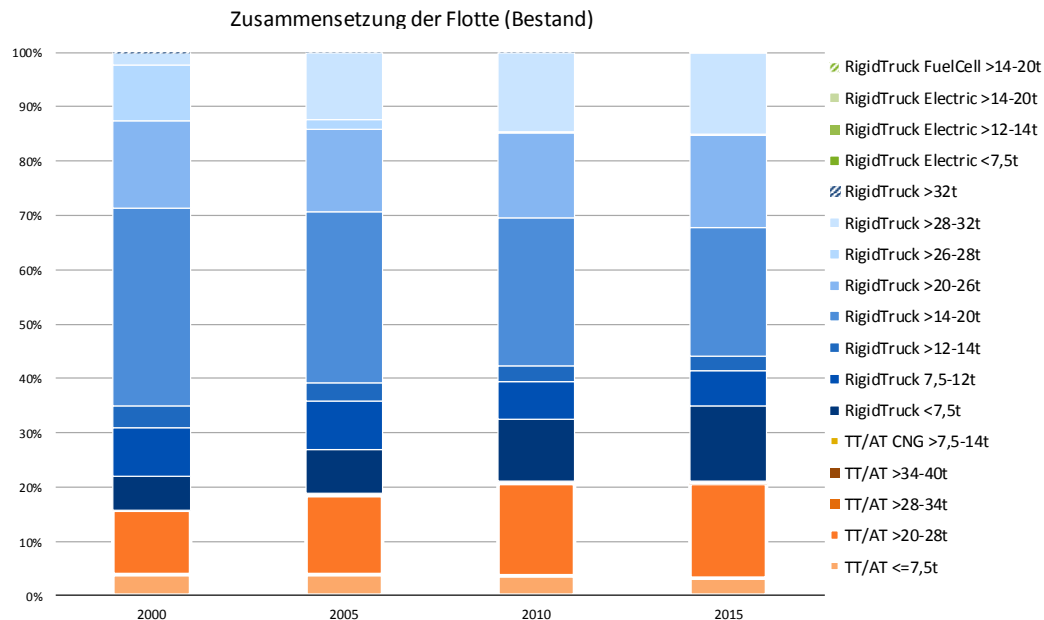
Grafik INFRAS. Quelle: MOFIS

Abbildung 12: Zusammensetzung Bestand inländische LNF (nach Technologie und Grössenklasse), 2000-2015



Grafik INFRAS. Quelle: MOFIS

Abbildung 13: Zusammensetzung Bestand inländische SNF (nach Gesamtgewicht), 2000-2015



Grafik INFRAS. Quelle: MOFIS

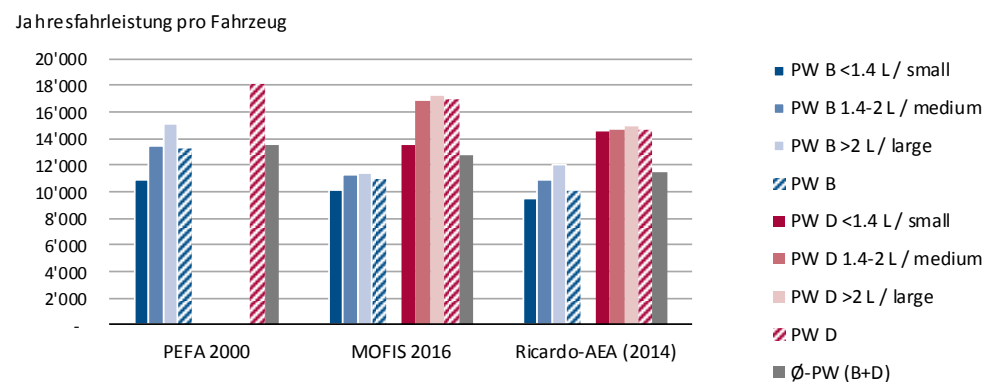
3.1.2.2. Spezifische Fahrleistungen

Für die PW wurden im Rahmen der vorliegenden Studie die in MOFIS seit kurzem wieder verfügbaren Informationen zu den Lebensdauer-Fahrleistungen ausgewertet, die bei der Prüfung durch die kantonalen Motorfahrzeugkontrollen erhoben werden. Aus MOFIS stand ein Datensatz mit dem Stichdatum vom Dezember 2016 zur Verfügung. Darin stehen gültige Angaben zur Fahrleistung von rund 2 Mio. PW zur Verfügung. Diese Angaben wurden mit der PEFA-Methodik (siehe ARE 2002) ausgewertet und so die mittleren jährlichen Fahrleistungen der PW nach Antriebsart und Grössenklasse (Hubraumklasse) ermittelt.

Abbildung 14 zeigt die Ergebnisse dieser Auswertungen und vergleicht sie mit anderen Quellen (PEFA 2000 [ARE 2002], die als Grundlage für die bisherigen Modellierungen in HBEFA dienten und einer Europäischen Studie zu den Jahresfahrleistungen von leichten Motorfahrzeugen [RICARDO-AEA 2014]). Für die Modellierung in HBEFA sind ausschliesslich die relativen Verhältnisse der Antriebsarten/Grössenklassen untereinander massgebend, da die Gesamtfahrleistungen pro Fahrzeugkategorie als Eckwert vorgegeben werden. Die neuen MOFIS-Daten zeigen, dass sich seit PEFA 2000 die relative Differenz zwischen Benzin- und Dieselfahrzeugen vergrössert hat: Gemäss PEFA 2000 sind die Jahresfahrleistungen der Diesel-PW 37 % höher als diejenigen der Benzin-PW. Zu beachten ist allerdings, dass im Jahr 2000 in der PEFA-Stichprobe lediglich sehr wenig Diesel-PW enthalten waren und die Resultate dementsprechend vorsichtig

interpretiert werden müssen. Gemäss MOFIS 2016 sind die Jahresfahrleistungen der Diesel-PW rund 55 % höher. Auffallend ist, dass insbesondere die mittleren, absoluten Jahresfahrleistungen der Benzin-PW in MOFIS 2016 geringer geworden sind als im Jahr 2000. Das Verhältnis Benzin/Diesel aus der Europäischen Auswertung in RICARDO-AEA 2014 liegt zwischen demjenigen aus PEFA 2000 und MOFIS 2016. Das Verhältnis Benzin/Diesel-PW-Jahresfahrleistungen beträgt hier 1.46.

Abbildung 14: Jahresfahrleistungen PW aus verschiedenen Quellen



Grafik INFRAS. Quelle: ARE 2002, MOFIS, RICARDO-AEA 2014

Die Auswertungen der spezifischen Fahrleistungen aus MOFIS 2016 bilden die Grundlage für die vorliegenden Berechnungen für den Ex-Post-Abgleich zwischen Absatz und Verbrauch. Dabei wurden die spezifischen Fahrleistungen der Dieselfahrzeuge um rund 10 % erhöht, um den höheren Dieselsabsatz zu erklären (siehe auch Kapitel 3.4).

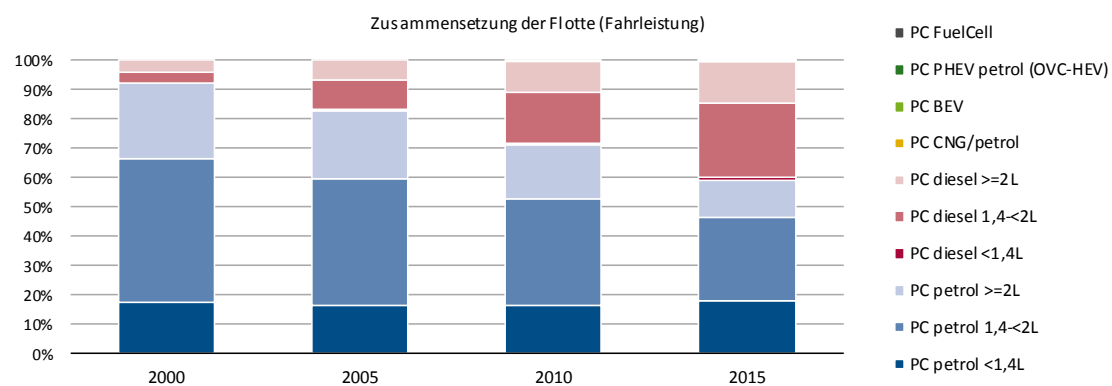
Bei den SNF spielen die spezifischen Jahresfahrleistungen der Fahrzeuge eine untergeordnete Rolle. Entscheidender sind die Transformationsmuster, nach der die Zugfahrzeuge aus der Motorfahrzeugstatistik zu den tatsächlich verkehrenden Kombinationen (Solo-LKW, Lasten-, Sattelzüge) und deren Grössenklassen überführt werden. Als Zielgrösse dienten für die Herleitung dieser Transformationsmuster Auswertungen aus der LSVA-Datenbank des BAV bzw. der EZV. Die Transformationsmuster der SNF wurden so gewählt, dass die Fahrleistungsaufteilung aus der LSVA-Statistik nachgebildet werden kann.

3.1.2.3. Resultate: Fahrleistungsgewichtete Flottenzusammensetzung

Aus der Kombination der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Bestandesdaten und den spezifischen Jahresfahrleistungen bzw. Transformationsmustern für die SNF können die fahrleistungsgewichteten Flottenzusammensetzungen abgeleitet werden (siehe Abbildung 15 bis Abbildung 17). Diese stellen die relevante Gewichtung der Flottenzusammensetzung für die Berechnungen des Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen in HBEFA dar.

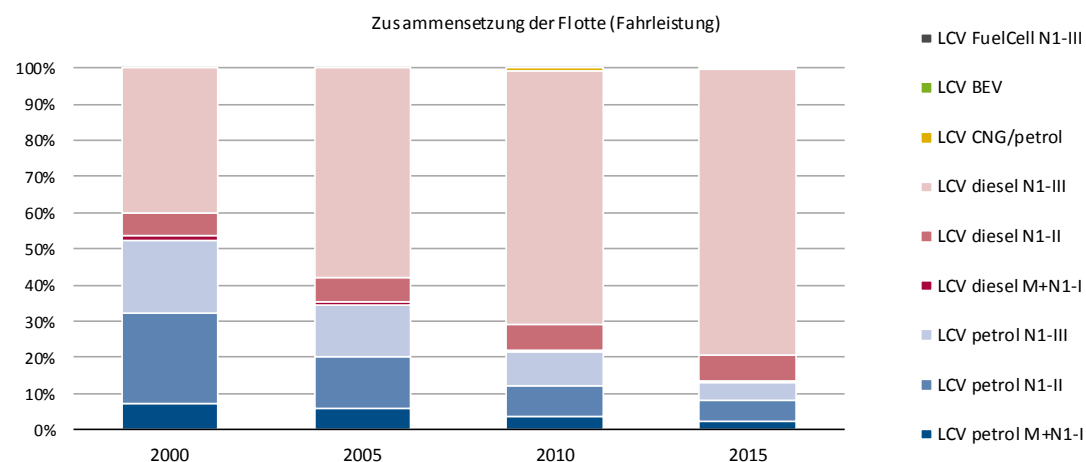
Durch die überdurchschnittlichen Jahresfahrleistungen der Diesel-PW ist der Fahrleistungsanteil dieser Fahrzeuge höher als ihr Bestandesanteil. Rund 44 % der Fahrleistungen der PW-Flotte entfallen auf die Diesel-PW in 2015. Bei den LNF machen die schweren Fahrzeuge der N1-III-Klasse knapp 80 % der Fahrleistungen aus. Bei den SNF entfällt der Hauptanteil der Fahrleistungen auf die 40-T-Lasten-/Sattelzüge, welche knapp die Hälfte der Fahrleistungen ausmachen.

Abbildung 15: Fahrleistungsgewichtete Flottenzusammensetzung PW, 2000-2015



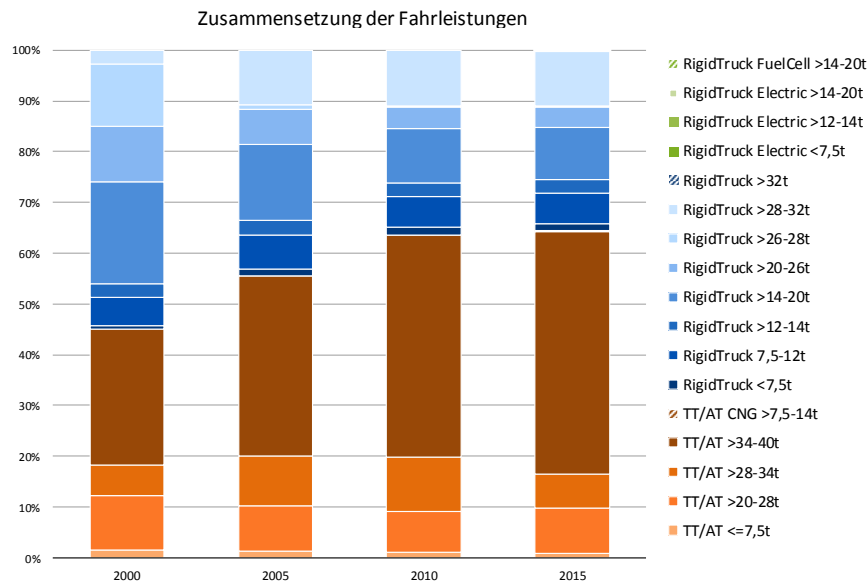
Grafik INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 16: Fahrleistungsgewichtete Flottenzusammensetzung LNF, 2000-2015



Grafik INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Abbildung 17: Fahrleistungsgewichtete Flottenzusammensetzung SNF, 2000-2015



Grafik INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

3.1.3. Verbrauch, Absenkraten

Die Höhe der Basiskorrektur für den Referenz-PW des Baujahres 2002 wird zunächst aus dem Abgleich mit den Monitoring-Werten des Jahres 2002 abgeleitet unter der Annahme eines Kaltstart-Anteils von rund 12 % (HBEFA 3.3). Mit dieser Basiskorrektur wird in die Berechnungen eingestiegen. Es zeigt sich aber, dass mit dieser Basiskorrektur die Treibstoffabsätze nicht vollständig erklärt werden können. Wichtigster Einfluss stellen dabei die Anpassungen in den Gesamtfahrleistungen (Absenkung der BFS-Fahrleistungs-Eckwerte um rund 11 % im Jahr 2009) dar. Um dies zu kompensieren, wurde im vorliegenden Projekt daher die Basiskorrektur angehoben und damit die spezifischen Verbräuche der PW erhöht (siehe dazu auch Kapitel 3.4).

Die Absenkraten werden gemäss der in Kapitel 2.3.4 beschriebenen Methode festgelegt. Grundlagen für die NEFZ-Absenkraten sind die Werte aus dem CO₂-Monitoring (BFE 2016d, bzw. Jahresberichte) bzw. entsprechende Auswertungen aus MOFIS. Für die SNF und Busse wird von einer jährlichen Absenkung von 0.5 % ausgegangen.

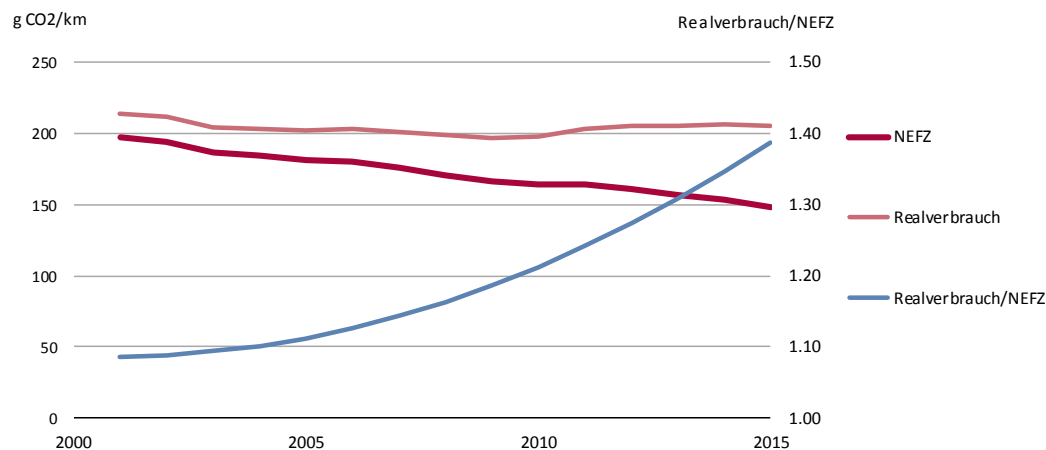
Die Absenkraten des Realverbrauchs werden über die Ausnutzungsfaktoren («Use Factors») aus den NEFZ-Absenkraten abgeleitet. Für die Herleitung der Ausnutzungsfaktoren wird wie folgt vorgegangen:

- Basis sind die Auswertungen des ICCT zur Abweichung zwischen Realverbrauch und Typenprüfwert; bisher basierten die Annahmen auf der Untersuchung von Mellios u. a. 2011.
- Neu werden die Untersuchungen von ICCT zum Realverbrauch beigezogen: In der Studie von ICCT zum Realverbrauch von PW in Europa (ICCT 2016b) werden bis 2015 Abweichungen des

Realverbrauchs zum NEFZ-Wert von bis +40 % ausgewiesen. Die Abweichungen haben seit Beginn der Datenreihe im Jahr 2001 kontinuierlich zugenommen (Kurve «RW/NEFZ» in Abbildung 18).

- Aus den offiziellen CO₂-Werten für die Schweizer Neu-PW (aus BFE 2016b; Kurve «NEFZ» in Abbildung 18) und dem aus den ICCT-Daten errechneten Verhältnis zwischen Realverbrauch und NEFZ-Wert lässt sich die Entwicklung des Realverbrauchs für die Neu-PW in der Schweiz von 2000 bis 2015 abschätzen (Kurve «Real» in Abbildung 18).
- Die Ausnutzungsfaktoren ergeben sich indem die jährlichen Absenkraten gemäss NEFZ ins Verhältnis zu den jährlichen Absenkraten des Realverbrauchs gesetzt werden, die Ergebnisse für Benzin- und Diesel-PW sind in Abbildung 19 dargestellt. Ein Ausnutzungsfaktor von 100 % bedeutet, dass im betreffenden Jahr die Absenkung des Realverbrauchs derjenigen der Typenprüfung (NEFZ) entspricht. Fand umgekehrt in einem Jahr im Realverbrauch keine Absenkung statt, so wird der Ausnutzungsfaktor 0 %. Für die Berechnungen werden nur Werte zwischen 0-100 % zugelassen. D.h. die Absenkraten des Realverbrauchs können nicht grösser als in NEFZ werden.
- Aufgrund der zunehmenden Diskrepanz zwischen Realverbrauch und NEFZ-Werten ergeben sich zwischen 2002-2015 abnehmende Ausnutzungsfaktoren, teilweise werden sie auch 0 (d.h. real findet im entsprechenden Jahr keine Absenkung statt).

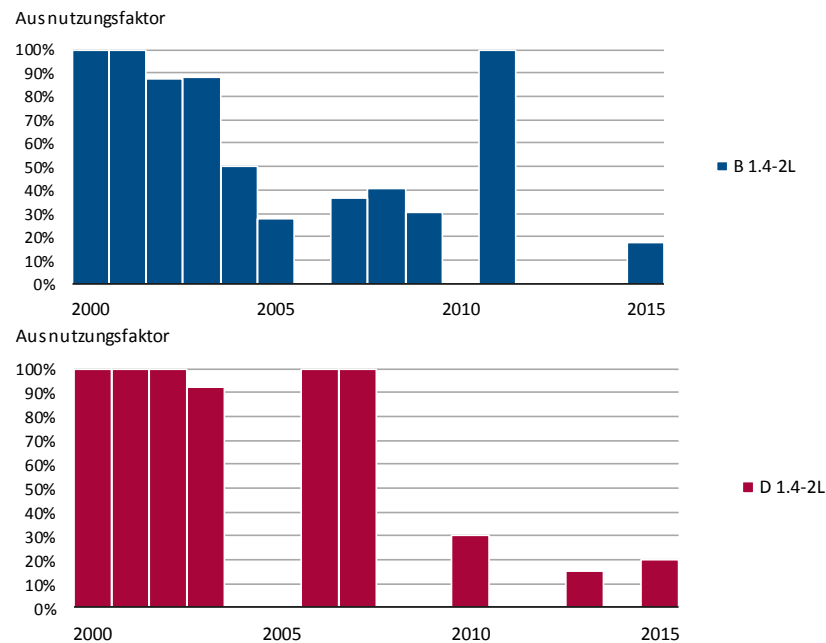
Abbildung 18: Abweichung von Realverbrauch und Verbrauch (dargestellt als spezifische CO₂-Emissionen) gemäss NEFZ für einen mittelgrossen Benzin-PW, hergeleitet auf Basis der ICCT-Daten, 2000-2015



Realverbrauch: Schweizer Neu-PW (Benzin, 1.4-2L), berechnet aus den Angaben des BFE zum NEFZ-Verbrauch und den Abweichungen Realverbrauch/NEFZ aus ICCT 2016b, ICCT 2016a (Regression).

Grafik INFRAS. Quelle: Autoschweiz, BFE 2016b, ICCT 2016b, ICCT 2016a, eigene Berechnungen.

Abbildung 19: Verhältnis («Ausnutzungsfaktor») der Absenkraten nach NEFZ und real-world für mittelgrosse Benzin- (oben) und Diesel-PW (unten)



Grafik INFRAS. Quelle: Autoschweiz, BFE 2016b, ICCT 2016b, eigene Berechnungen.

3.2. Grundlagen Non-road und Tanktourismus

Der Energieverbrauch des Non-Road-Sektors basiert auf dem aktuellen Inventar des BAFU (BAFU 2015). Der Verbrauch des nationalen Flugverkehrs (Kerosin) wird aus dem Nationalen Treibhausgasinventar des BAFU (FOEN 2017) übernommen. Für den Tanktourismus werden die Werte aus der aktuellen Ex-Post-Analyse des Energieverbrauchs der Schweiz des BFE (BFE 2016c) verwendet. Für die Details zu diesen Datenquellen wird auf die entsprechenden Berichte verwiesen.

3.3. Treibstoffabsatz

Die Daten zum Treibstoffabsatz stammen aus den folgenden Quellen:

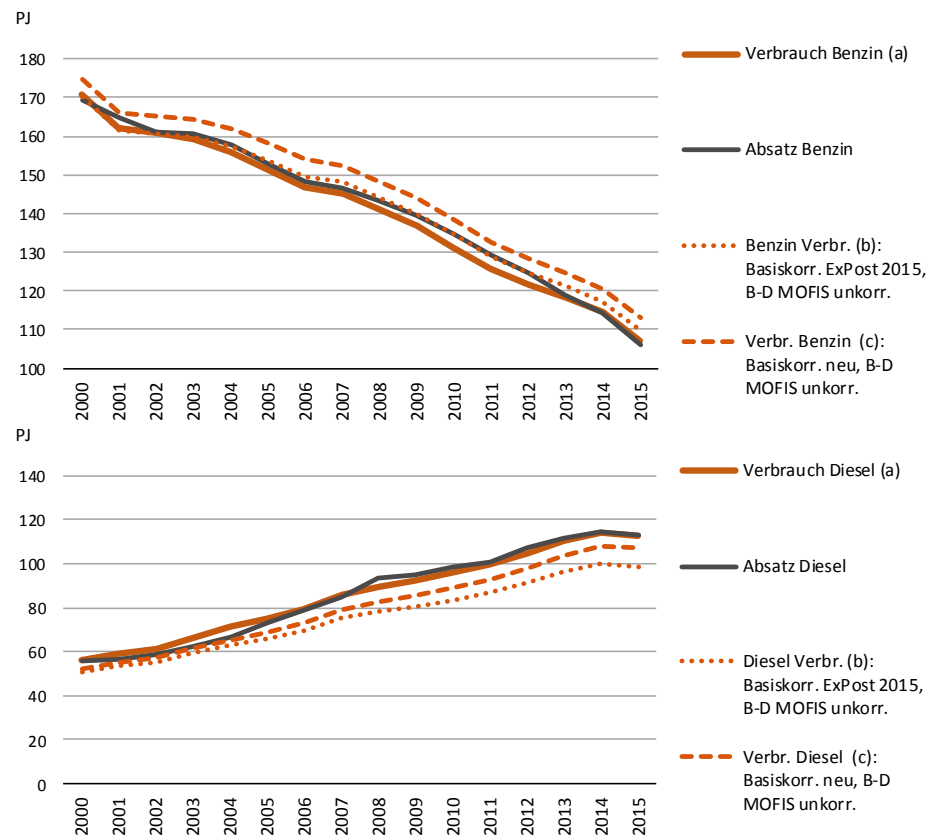
- Benzin, Diesel: Absatzdaten der Erdölvereinigung (EV), die jeweils im Jahresbericht der EV veröffentlicht werden.
- Elektrizität: «Schweizerische Elektrizitätsstatistik», publiziert durch das BFE.
- Biotreibstoffe: Daten der Eidgenössischen Zollverwaltung EZV.
- Erdgas, Biogas: Daten des Verbands der Schweizerischen Gasindustrie VSG.

3.4. Abgleich Verbrauch/Absatz (Ex-Post)

Der Treibstoffverbrauch für Benzin und Diesel wird mit den in Kapitel 2 beschriebenen Methoden und den in den vorangegangenen Kapiteln aufgeführten Grundlagen berechnet und den Absatzdaten gegenübergestellt. Die Abstimmung der Ergebnisse der Verbrauchsmodellierungen auf die Absatzdaten geschieht schrittweise, indem die Parameter des Verbrauchsmodells verändert («kalibriert») werden, um eine bessere Abstimmung zwischen Verbrauch und Absatz zu erreichen. Abbildung 20 illustriert dieses Vorgehen⁶. Zunächst wird die Basiskorrektur (siehe 2.3.4) erhöht um die Absenkung der Fahrleistungen gegenüber den früheren Modellierungen (Energieperspektiven, Ex-Post-Analysen) auszugleichen. Dies führt zu einer Erhöhung des PW-Verbrauchs; der Effekt auf den Gesamtverbrauch entspricht in Abbildung 20 der Differenz zwischen den gestrichelten (mit «c» gekennzeichneten) und der gepunkteten Linien («b» in Abbildung 20). Nach dieser Anpassung liefert das Modell einen zu hohen Benzin- und einen zu tiefen Dieselverbrauch. Diese Abweichungen werden ausgeglichen, indem die spezifischen Fahrleistungen (Ermittelt auf Basis der MOFIS-Auswertungen, siehe Kapitel 3.1.2.2) der Diesel-PW gegenüber den Original-Werten aus MOFIS leicht um 10 % erhöht werden. Damit verschiebt sich der Verbrauch der PW vom Benzin hin zum Diesel. Die durchgezogene Linie in Abbildung 20 (Linie «a») zeigt das Ergebnis der Abstimmung von Verbrauch und Absatz.

⁶ Ein weiterer Modellparameter, der den Verbrauch beeinflusst, ist der Ausnutzungsfaktor (Differenz zwischen NEFZ-Absenkung und Absenkungen im Realverbrauch), der in den vorliegenden Berechnungen auf der Basis der ICCT-Auswertungen hergeleitet wird (siehe Kapitel 2.3.4 und 3.1.3). Auf die Darstellung der Auswirkungen verschiedener Varianten für diesen Parameter wird an dieser Stelle verzichtet bzw. auf die Ergebnisse der entsprechenden Sensitivitätsberechnungen (Sensitivität 2) verwiesen.

Abbildung 20: Vorgehen zum Abgleich der Verbrauchmodellierungen auf die Absatzdaten, Benzin (oben), Diesel (unten), 2000-2015



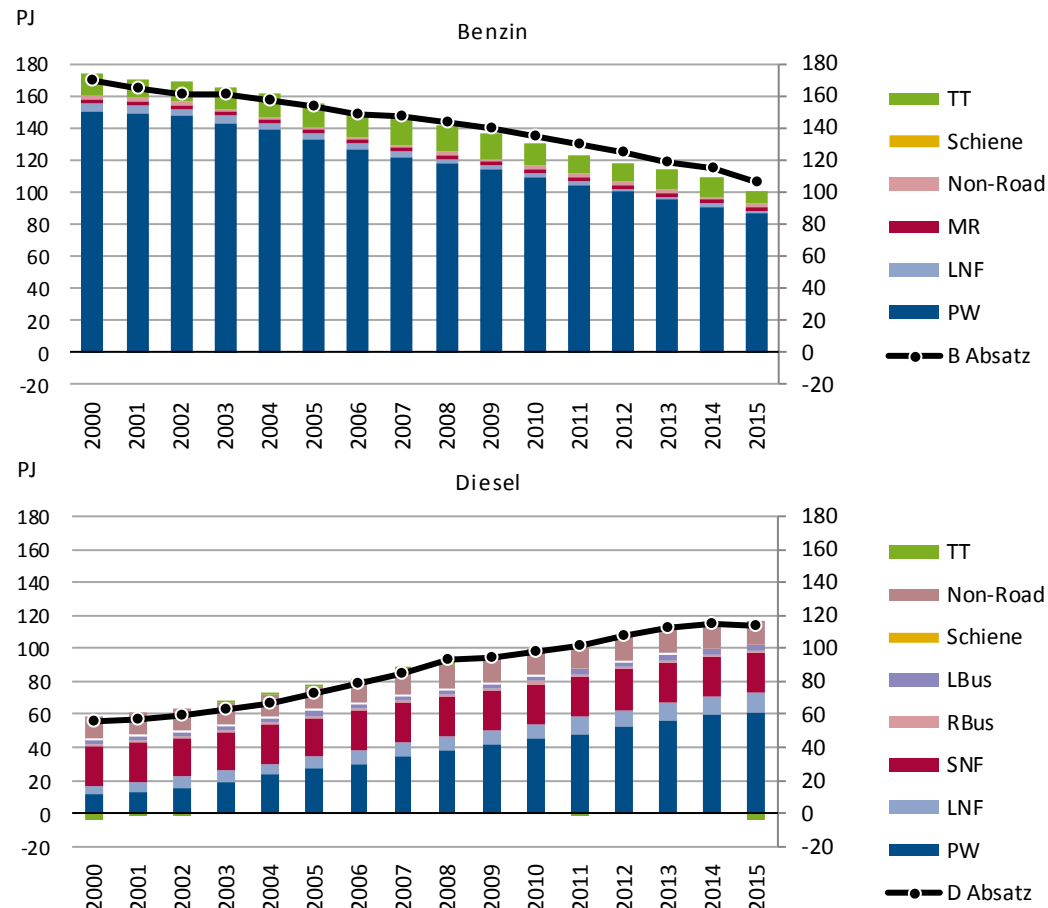
Unterschiedliche bzw. abgeschnittene Skalierung der Y-Achse beachten

Grafik INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, Schweizer Erdölvereinigung.

Abbildung 21 zeigt nochmals das Ergebnis des Abgleichs für Benzin und Diesel. Daneben ist der Verbrauch nach Verwendungszwecken aufgeschlüsselt, um die Beiträge der verschiedenen Verbraucher darzustellen. Beim Benzin ist der PW-Verkehr mit Abstand der wichtigste Verbraucher. Die übrigen Fahrzeugkategorien des Strassenverkehrs, der Non-Road-Verkehr und der Tanktourismus spielen eine untergeordnete Rolle. Beim Dieserverbrauch leistet dagegen der PW-Verkehr einen geringeren Beitrag, wenngleich seine Bedeutung über die letzten Jahre deutlich angestiegen ist. Daneben spielen die anderen Verbraucher, insbesondere der schwere Nutzverkehr und der Non-Road-Verkehr eine wichtigere Rolle als beim Benzin.

Die Treibstoffabsätze lassen sich mit den beschriebenen Modellansätzen, Datengrundlagen und Annahmen relativ zuverlässig nachbilden. Die Abweichungen zwischen modelliertem Treibstoffverbrauch und Absatz liegen über die gesamte Zeitreihe 2000-2015 jeweils unter 5 %.

Abbildung 21: Treibstoffverbrauch nach Verwendungszwecken und Treibstoffabsatz Benzin und Diesel (in PJ), 2000-2015



Grafik INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, Schweizer Erdölvereinigung.

Tabelle 3 zeigt die aus diesen Berechnungen resultierenden spezifischen Verbräuche des Strassenverkehrs je Fahrzeugkategorie. Mit Ausnahme der PW liegen diese Werte im Bereich der bisherigen, im Rahmen der Energieperspektiven 2050 durchgeführten Modellierungen. Bei den PW mussten die spezifischen Verbräuche deutlich angehoben werden (ca. 10-12 %), um für die revidierten, tieferen BFS-Fahrleistungen der PW zu kompensieren. Nur damit können die oben dargestellten Benzin- und Dieselabsätze mit der Bottom-up-Modellierung des Verbrauchs in Übereinstimmung gebracht werden.

Tabelle 3: Spezifischer Verbrauch in MJ/km der Strassenfahrzeugkategorien

Fahrzeugkategorie	Einheit	2000	2010	2015
Personenwagen (PW)	MJ/km	3.4	3.0	2.8
Leichte Nutzfahrzeuge (LNF)	MJ/km	3.5	3.4	3.3
Motorräder (MR)	MJ/km	1.3	1.3	1.3
Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)	MJ/km	10.7	11.0	10.8
Linienbusse (ÖV; Lbus)	MJ/km	15.5	14.7	14.4
Reisebusse (RBus)	MJ/km	11.9	11.6	10.8

Angaben in MJ/km (zwecks Aggregation verschiedener Energieträger); Mitberücksichtigt sind auch Einflüsse von Klimaanlage, Kaltstarts, etc.

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Es bleibt festzuhalten: Die verwendeten Grundlagen und Annahmen sind ebenfalls mit Unsicherheiten behaftet und beruhen ihrerseits auf eigenen Modellierungen und Interpretationen. So sind die Gesamtfahrleistungen des BFS das Resultat von Berechnungen, die auf z.T. provisorischen Grundlagen und Annahmen beruhen (siehe auch: BFS 2016). Dasselbe gilt z.B. für den Tanktourismus, der zwar mit Hilfe eines Modellansatzes mittlerweile eigenständig abgeschätzt wird, aber letztlich auch auf mehr oder weniger belastbaren Grundlagen und Annahmen beruht. Der hier vorgestellte Abgleich zwischen Verbrauch und Absatz erlaubt es, die «Stellschrauben» der Modellierung zu kalibrieren, um den Absatz plausibel erklären zu können. Die hier vorgestellten Ergebnisse und Berechnungen stellen aus Sicht INFRAS eine belastbare Interpretation dieser Grundlagen dar. Sie sind aber letztlich lediglich eine mögliche Lösung für den Abgleich zwischen Verbrauch und Absatz. Insofern bleiben gewisse Unsicherheiten in den Ergebnissen bestehen.

4. Inputs und Ergebnisse der Berechnungen

In den folgenden Abschnitten werden die Annahmen für die künftige Entwicklung (ab 2016 bis 2050) der Modellinputs für das Hauptszenario, die alternativen Szenarien und die Sensitivitätsrechnungen beschrieben (mit Fokus auf den relevanten Modellteilen) und die Resultate der Verbrauchsmodellierungen dargestellt. Das Hauptszenario wird als «Entwicklung von Energieverbrauch und Emissionen des Strassenverkehrs mit Massnahmen post-2020» bezeichnet, abgekürzt «EES 2020+». Das Hauptszenario beschreibt aufgrund der neuesten Erkenntnisse und Annahmen die Entwicklung des Energieverbrauchs und der CO₂-Emissionen im Strassenverkehr unter Berücksichtigung weiterer absehbarer Massnahmen zur Verbrauchs- und Emissionsreduktion.

4.1. Überblick Szenarien und Sensitivitäten

Die Berechnungen in vorliegender Studie umfassen zwei Szenarien und zwei Sensitivitätsrechnungen. Die Grundideen hinter den Berechnungen können wie folgt zusammengefasst werden (siehe auch Tabelle 4):

- Im **Hauptszenario («EES 2020+»)** wird eine Entwicklung unterstellt, welche die beschlossenen und aus heutiger Sicht absehbaren Massnahmen bis 2050 beinhaltet. Dies betrifft hauptsächlich die CO₂-Zielwerte für die PW und LNF. Bis 2025 wird dabei die Entwicklung unterstellt, welche im Rahmen der Grundlagenarbeiten zur Weiterentwicklung der CO₂-Zielwerte für PW und LNF (siehe BFE 2017) erarbeitet wurden. Bei den PW erreichen die Neufahrzeuge bis 2023 im Mittel den Zielwert von 95 g CO₂/km (d.h. rund drei Jahre später als in der EU). Bis 2027 wird der Wert von 78 g CO₂/km erreicht, der heute in den Diskussionen der EU als Richtwert (obere Bandbreite) zur Fortführung der post-2020-Zielwerte für PW bis 2025 angegeben wird. Bei den LNF wird der Zielwert von 147 g CO₂/km im Jahr 2023 erreicht. Im Jahr 2040 stossen die Neu-LNF noch 100 g CO₂/km aus. Die in Tabelle 4 aufgeführten Elektromobilitätsanteile und Absenkraten werden so gewählt, dass diese Pfade der Effizienzentwicklung der Neuzulassungen nachgebildet werden.
- Im **Alternativszenario (S1)** werden die CO₂-Zielwerte für PW nach 2025 nicht weiter verschärft. Die Elektromobilitätsanteile nach 2025 nehmen damit weniger stark zu als in EES 2020+ (bis 2050: 27 % der Neu-PW, gegenüber 65 % in EES 2020+). Gleichzeitig wird von tieferen jährlichen Absenkraten nach 2025 ausgegangen. Damit werden die 78 g CO₂/km für die Neu-PW erst im Jahr 2033 erreicht, statt bereits 2027 wie im Hauptszenario. Bis 2050 sinkt der CO₂-Wert der Neuwagen auf 70 g CO₂/km ab (statt auf 33 g CO₂/km in EES 2020+).
- In der **Sensitivität 2 (S2)** wird untersucht, wie sich veränderte Annahmen bezüglich der realen Absenkraten (modelliert über die Ausnutzungsfaktoren der NEFZ-Absenkraten) bis 2050

auswirken. Es werden die Ausnutzungsfaktoren wie in den Energieperspektiven (POM) unterstellt. Die Annahmen zur Effizienzentwicklung gemäss NEFZ und damit die Flottenzusammensetzungen (E-Fahrzeug-Anteile) bleiben unverändert wie in EES 2020+.

- In der **Sensitivität 3 (S3)** werden die Fahrleistungsdaten direkt (absolute Werte) aus den aktuellen Verkehrsperspektiven des Bundes (ARE 2016a) übernommen. Die PW-Fahrleistungen sind in Sensitivität 3 rund 5 % tiefer als in EES 2020+, bei den LNF sind die beiden Datenreihen nahezu identisch, während bei den schweren Nutzfahrzeugen die Fahrleistungen in Sensitivität 3 gut 10 % höher sind als in EES 2020+.

Tabelle 4 fasst die Annahmen, die für die künftige Entwicklung 2016-2050 für das Hauptszenario («EES 2020+»), das Alternativszenario und die Sensitivitätsrechnungen für den Teil Strasse getroffen wurden. Zudem sind in der Tabelle zum Vergleich die entsprechenden Annahmen aus dem Szenario «POM» aus den Energieperspektiven des Bundes (Prognos 2012) aufgeführt. Nicht in der Tabelle dargestellt sind die Grundlagen des Non-Road-Verkehrs und des Tanktourismus: Der Energieverbrauch des Non-Road-Verkehrs beruht in allen Szenarien auf dem aktuellen Non-Road-Inventar des BAFU (BAFU 2015; keine Alternativszenarien). Die Entwicklung des Tanktourismus wird ab 2016 an den Verlauf der modellierten PW-Benzin- und Dieserverbräuche gekoppelt und ist somit direkt abhängig von den Berechnungsergebnissen des Strassenverkehrs des jeweiligen Szenarios/Sensitivität.

Die Annahmen für die Berechnungen werden in den nachfolgenden Kapiteln im Detail beschrieben.

Tabelle 4: Übersicht der Annahmen und Berechnungsgrundlagen für Szenarien und Sensitivitätsrechnungen (Teil Strasse), Vergleich mit Szenario POM (Prognos 2012)

Fahrzeugkat.	Gesamtfahrleistung	Flotte und Verbrauch (Absenkraten Neufahrzeuge)			Anteil Biotreibstoffe (energiebasiert)
		CO ₂ -Werte Neufahrzeuge (NEFZ)	Anteil Elektrofahrzeuge Neuzulassungen/Bestand	Absenkraten (Benzin, Diesel)	
EES 2020+ (Hauptszenario) Referenzentwicklung mit beschlossenen und absehbaren Massnahmen (z.B. PW-CO ₂ -Zielwerte)					
PW	Bis 2015 gemäss BFS, dann Wachstum nach Verkehrsperspektiven ARE «Referenzszenario» (ARE 2016a)	2023: 95 gCO₂/km 2027: 78 gCO₂/km 2050: 33 gCO₂/km	2020: 8 %/2 % 2025: 16 %/5 % 2050: 65 %/49 %	- bis 2025: -3.1 %/J. (NEFZ Neufahrzeuge) - bis 2050: Entwicklung gemäss POM - Absenkung real: abgeleitet aus ICCT 2016b	- Benzin: 2030: 5 % Bio-Ethanol, 2050: 8 % - Diesel: 2030: 7 % Bio-diesel, 2050: 11 % - Gas: 25 % Biogas bis 2050
LNF		2023: 147 gCO₂/km 2040: 100 gCO₂/km 2050: 77 gCO₂/km	2020: 2 %/0.3 % 2025: 4 %/1 % 2050: 36 %/20 %	- bis 2025: -3.1 %/J. - bis 2050 % Entwicklung gemäss POM - Absenkung real: wie in Energieperspektiven	
Rest		-	wie POM	SNF, Busse: jährliche Absenkung - 0.2 %/a bis - 1.2 %/a	
Alternativ-Szenario (S1) Keine Verschärfung der CO ₂ -Zielwerte für PW nach 2025					
PW	wie EES 2020+	2023: 95 gCO₂/km 2033: 78 gCO₂/km 2050: 70 gCO₂/km	2020: 8 %/2 % 2025: 16 %/5 % 2050: 27 %/24 %	- bis 2025: -3.1 %/J. (NEFZ Neufahrzeuge) - bis 2050: reduzierte Absenkraten in Vergleich zu EES2020+ - Absenkung real: wie EES 2020+	- Benzin, Diesel: 2 % - Gas: 25 % Biogas
Rest		wie EES 2020+	wie EES 2020+	wie EES 2020+	
Sensitivitäten (S2, S3)					
PW, LNF (S2)	wie EES 2020+	wie EES 2020+	wie EES 2020+	Absenkung real abgeleitet aus Mellios u. a. 2011 für PW (wie POM), sonst wie EES 2020+	wie EES 2020+
Alle (S3)	Absolute Werte gemäss ARE 2016a	wie EES 2020+	wie EES 2020+	wie EES 2020+	wie EES 2020+
POM (Szenario «Politische Massnahmen»; Prognos 2012)					
PW	PW-FL 2050 in POM (= WWB) rund 5 % höher als in EES 2020+ (LNF: -25 %)	95 gCO ₂ /km in 2020, 35 gCO ₂ /km in 2050	2020: 11 %/2 % 2025: 22 %/11 % 2050: 68 %/56 %	- bis 2025: von -3 % auf -4.5 %/J. - bis 2050 Rückgang auf -0.75 %/J. - Absenkung real: abgeleitet aus Mellios u. a. 2011	- Benzin und Diesel: 10 % in 2020, danach Anstieg auf 20 % in 2050 - Biogas: linearer Anstieg auf 50 % in 2050
LNF	??? LNF-FL 2050 - 25%	145 gCO ₂ /km in 2020, 85 gCO ₂ /km in 2050	2020: 10 %/2 % 2025: 16 %/5 % 2050: 40 %/29 %	- bis 2025: -2 %/J. - bis 2050 Rückgang auf 0.25 %/J.	

Nicht dargestellte Modellteile: Tanktourismus (Entwicklung bis 2050 gekoppelt an den PW-Benzin- bzw. Dieserverbrauch); Non-Roadverkehr (Übernommen aus BAFU 2015 für alle Berechnungen).

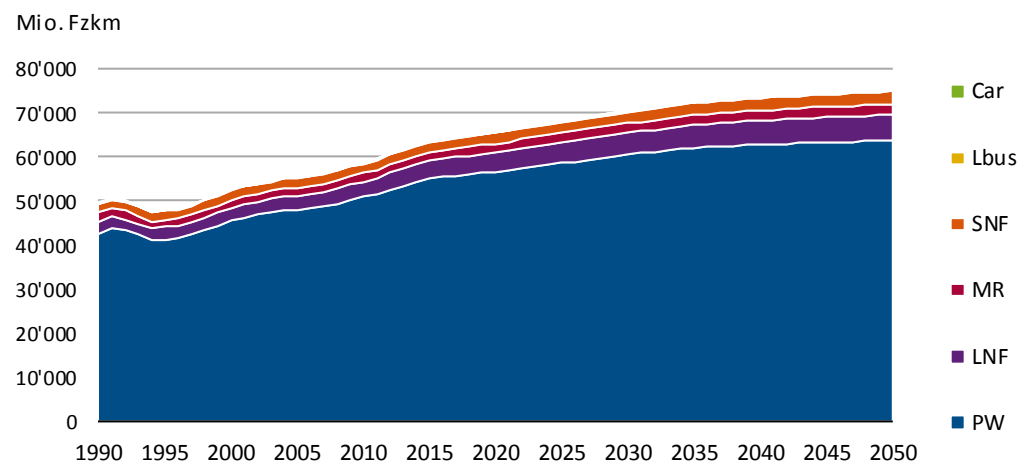
4.2. Berechnungsgrundlagen für das Hauptszenario (EES 2020+)

4.2.1. Strasse: Fahrleistungen, Bestand, Start, Stopps

Bis 2015 werden die vom BFS veröffentlichten Fahrleistungsdaten nach Fahrzeugkategorien übernommen (siehe auch Kapitel 2.3.1), ab 2016 werden die Fahrleistungen mit den Wachstumsfaktoren aus dem Referenzszenario der aktuellen Verkehrsperspektiven des ARE (ARE 2016a, ARE 2016c) bis 2050 hochgerechnet. Damit ergibt sich die in Abbildung 22 dargestellte Entwicklung der Fahrleistungen für das Hauptszenario EES 2020+.

Die Fahrleistungen der Personenwagen nehmen gegenüber 2015 um 16 % zu bis 2050, was einer mittleren jährlichen Wachstumsrate von 0.4 % entspricht (siehe auch Tabelle 19ff im Annex). Bei den Motorrädern und den Reisecars liegt das Wachstum bis 2050 in derselben Gröszenordnung. Deutlich höhere Wachstumsraten weisen dagegen die leichten Nutzfahrzeuge (1.0 %/Jahr), die schweren Nutzfahrzeuge (0.8 %/Jahr) und die Linienbusse (0.9 %/Jahr) auf.

Abbildung 22: Entwicklung der Gesamtfahrleistung nach Fahrzeugkategorie 1990-2050 in EES 2020+



Grafik INFRAS. Quelle: BFS (bis 2015), ARE 2016b, eigene Berechnungen.

Für die Berechnung der Kaltstartzuschläge der Fahrzeugkategorien PW, LNF und MR ist die Anzahl Starts massgebend. Grundlage für die Berechnung der Starts ist der Fahrzeugbestand und die die Anzahl Starts pro Tag und Fahrzeugkategorie (siehe Tabelle 25 im Annex). Der Fahrzeugbestand je Fahrzeugkategorie wird anhand der Wachstumsfaktoren aus dem Szenario «POM» der Schweizer Energieperspektiven 2050 (Prognos 2012) fortgeschrieben. Die Anzahl Starts ergeben sich, indem die Bestände mit den entsprechenden Anzahl Starts und Stopps pro Tag multipliziert werden. Diese Faktoren werden ebenfalls unverändert aus den Energieperspektiven übernommen.

4.2.2. Strasse: Flottenzusammensetzung und Verbrauchsentwicklung der Neuzulassungen

4.2.2.1. Entwicklung bei den PW

Grundlage für die Annahmen zur Flottenzusammensetzung und den Absenkraten des Treibstoffverbrauchs der PW bilden zunächst die Berechnungen, die im Rahmen des Projekts zu den CO₂-Vorschriften durch MKConsulting/INFRAS für das BFE durchgeführt wurden (BFE 2017). Dort wurden für PW verschiedene Szenarien für den Zeitraum 2015-2025 berechnet. Für die PW bildet das Marktentwicklungsszenario «B – WWB/POM/3 %» aus dieser Studie die Grundlage bis 2025, danach werden die Entwicklungen gemäss dem Szenario POM aus den Energieperspektiven des Bundes fortgeschrieben.

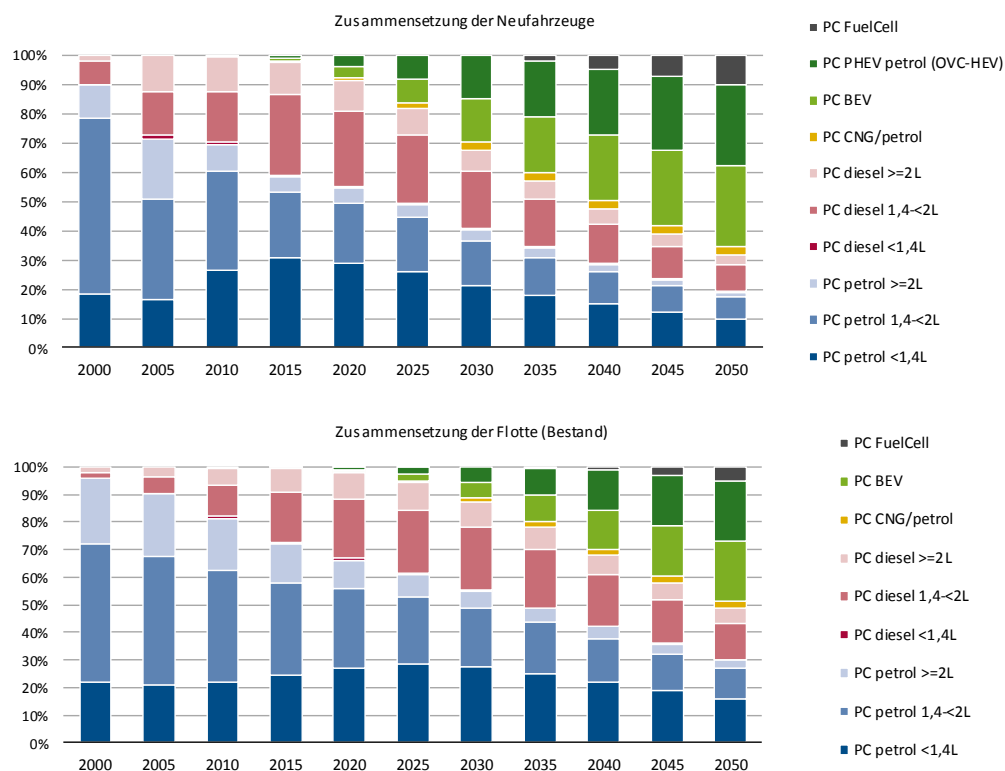
Grundsätzlich beruhen die Annahmen für die künftige Entwicklung der Flottenzusammensetzungen und Absenkraten auf den heute bekannten und absehbaren Trends und Tendenzen. Dementsprechend sind gewisse Unsicherheiten unvermeidbar. So ist die Entwicklung der künftigen Elektromobilitätsanteile und der Absenkraten direkt abhängig von den Umsetzungsmodalitäten (Anrechnung von Elektrofahrzeugen für die Sanktionsberechnung, Übergangsregelungen für neue Zielwerte, etc.; siehe auch BFE 2017). Mittelfristig dürfte sich an diesen Vorgaben nur wenig ändern, längerfristig sind aber Überarbeitungen denkbar. Beispielsweise wird bereits heute darüber diskutiert, ob Elektrofahrzeuge auch weiterhin emissionsfrei in die Berechnungen eingehen sollen. Sollte sich an den Umsetzungsmodalitäten der CO₂-Zielwerte für PW und LNF grundsätzlich etwas ändern, wären auch die nachfolgenden Annahmen neu zu beurteilen.

Konkret werden für die Umsetzung der Szenarien folgende Annahmen getroffen:

- **Zusammensetzung der Neuwagen** (Abbildung 23): 7.8 %/16.3 % Elektromobilitätsanteil (je zur Hälfte als PHEV und BEV) in 2020/2025 bei den Neufahrzeugen. Nach 2025 werden die Elektromobilitäts-Anteile (BEV, PHEV und Brennstoffzellen-PW) mit der Entwicklung des Szenarios POM/NEP aus den Energieperspektiven bis 2050 fortgeschrieben. Die Aufteilung zwischen BEV/PHEV (50/50 %) wird aus BFE 2017 übernommen. Für 2050 ergibt sich damit ein Elektromobilitäts-Anteil von 65 % in EES 2020+ bei den Neufahrzeugen und von 49 % im Gesamtbestand (Zum Vergleich in POM/NEP: 68 % bei den Neufahrzeugen, 56 % im Gesamtbestand; siehe auch Tabellen im Annex). Der Anteil der Brennstoffzellen-Fahrzeuge (kommen ab 2035 in die Flotte) wird aus den Energieperspektiven 2050 (POM/NEP) übernommen. Verglichen mit den heutigen Anteilen elektrischer Fahrzeuge entspricht diese Entwicklung einer deutlichen Steigerung. Die CO₂-Zielwerte für Neufahrzeuge in der Schweiz beschleunigen diese Entwicklung, da die Elektrofahrzeuge mit 0 CO₂-Emissionen in die Berechnung der Flottenwerte eingehen und damit fossil angetriebene Fahrzeuge mit höheren CO₂-Emissio-

nen kompensiert werden können. Gleichzeitig muss sich der Fahrzeugmarkt weiter in Richtung Elektromobilität entwickeln. In den letzten Jahren ist die Modellpalette von Elektrofahrzeugen deutlich breiter geworden. Der Technologie-Shift muss sich aber weiter in dieser Richtung fortsetzen, um die unterstellten Flottenanteile zu realisieren.

Abbildung 23: Zusammensetzung der Neuwagen (oben) und des Gesamtbestands der PW (unten) in EES 2020+, nach Grössenklassen und Technologien



Grafik INFRAS

- Die **Absenkraten der fossil angetriebenen PW (gemäss NEFZ)** wird – gemäss vorangegangenen Annahmen zu den Elektromobilitäts-Anteilen – so angesetzt, dass folgende Entwicklung der CO₂-Werte der Neufahrzeuge erreicht wird (siehe auch Abbildung 25):
 - 2015 liegt der mittlere CO₂-Ausstoss der Neuwagen gemäss BFE-Monitoring bei 135 g CO₂/km (BFE 2016d).
 - Bis 2023 wird der aktuelle EU-Zielwert von 95 g CO₂/km erreicht (gemäss BFE 2017), d.h. zwischen 2015-2025 wird eine mittlere Absenkung von -3.15 %/Jahr unterstellt – bei den oben beschriebenen Elektromobilitätsanteilen.

- Für die Entwicklung nach 2023 bestehen noch keine konkreten Zielwerte. In der EU wird für die Zielwertfestlegung nach 2020 zurzeit ein Zielwert in der Bandbreite von 68-78 g CO₂/km für 2025 diskutiert⁷. Dementsprechend wird hier angenommen, dass der Zielwert von 78 g CO₂/km analog der bisherigen Entwicklung mit ca. 2-3 Jahren Verspätung in der Schweiz erreicht wird, d.h. im Jahr 2027. Danach wird die Entwicklung der Absenkraten gemäss POM/NEP der Energieperspektiven (Prognos 2012) unterstellt.
- **Ausnutzungsfaktoren:** Bis 2015 liegen mittlerweile umfassende Untersuchungen zur Abweichung zwischen Realverbrauch und Typenprüfungswert vor (Kapitel 3.1.3). Die Entwicklung nach 2015 bis 2050 ist aber unsicher. Ab Ende 2017 werden Neufahrzeuge mit der neuen Testprozedur (WLTP⁸) getestet, parallel zur NEFZ-Prozedur. Während dieser Zeit werden die WLTP-Resultate mit Hilfe von Korrekturfaktoren in NEFZ-Werte überführt. Ab 2020 wird ausschliesslich nach WLTP getestet. Die WLT-Prozedur umfasst eine Reihe von Änderungen gegenüber NEFZ, z.B. einen neuen Testzyklus (mit realistischeren Motorenbelastungen), Schaltprozeduren, Vorschriften zur Bereifung (Druck, Typ, etc.), Temperaturvorschriften, Fahrzeug-Testgewicht (Zuladung, Trägheitsmasse, etc.). Ziel der WLTP ist es, zeitgemässe Testvorschriften zu erlassen, die schliesslich die Messwerte näher an die real auftretenden Verbrauchswerte bringen sollen. In ICCT 2014 wurde untersucht, wie WLTP die Verbrauchswerte von PW beeinflussen wird. Die Untersuchungen stützen sich auf Messungen und Simulationen aus verschiedenen Quellen, wobei ein spezieller Fokus auf die Auswirkungen des neuen Testzyklus («Worldwide harmonized Light Vehicle Test Cycle» oder WLTC als Bestandteil von WLTP) gelegt wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass mit dem neuen Testzyklus nicht per-se höhere Verbrauchswerte zu erwarten sind. Für grössere Fahrzeuge können die WLTC-Werte auch niedriger als im NEFZ ausfallen, da die Motoren dieser Fahrzeuge in WLTC effizienter betrieben werden können. Andere Einflussfaktoren wie Start-/Stopp-Automatik führen dagegen zu höheren WLTC-Werten verglichen mit NEFZ, da die Stopp-Anteile in NEFZ höher sind (und daher Start-/Stopp-Automatik höhere Effizienzgewinne mit sich bringen). Hybridfahrzeuge (ohne Plug-in) zeigen in WLTC signifikant höhere Verbrauchswerte. Weitere Elemente von WLTP (Temperaturbereich, Fahrzeugmassen) führen ebenfalls zu höheren Verbrauchswerten in WLTP. Insgesamt wird in ICCT 2014 mit rund 6-8 % höheren Verbrauchs- bzw. CO₂-Werten unter WLTP gerechnet. All diese Betrachtungen lassen aber kaum Schlüsse

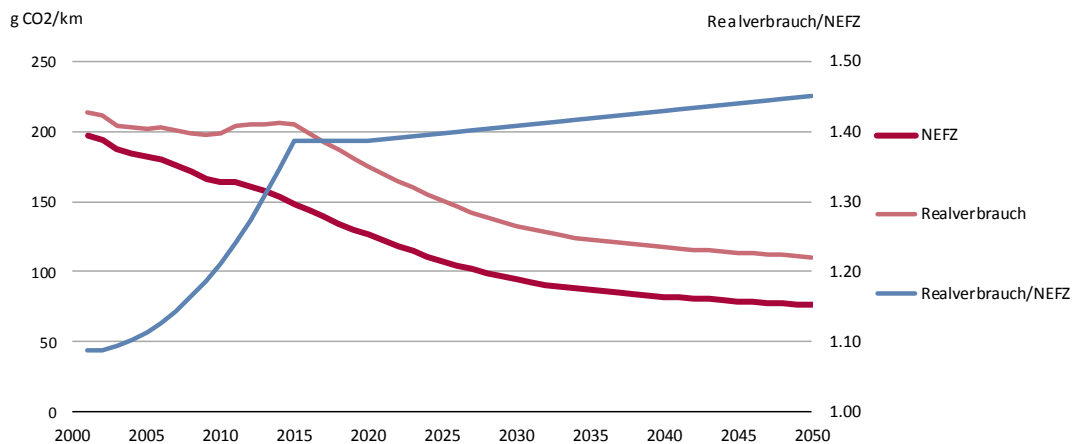
⁷ siehe Pressemitteilung des Europäischen Parlaments vom April 2013: <http://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20130422IPR07527/car-co2-mapping-the-route-to-95g-and-beyond>

⁸ Worldwide harmonized light vehicles test procedure. Die WLTP besteht unter anderem aus einem Prüfzyklus, der die realen Fahrbedingungen besser abbilden soll (WLTC) als der NEFZ. Daneben sind die Prüfbedingungen (Fahrzeugmasse, Umgebungstemperatur, Reifendruck, etc.) gegenüber NEFZ überarbeitet und stringenter gestaltet worden. In einer Übergangsphase werden die unter WLTP ermittelten Werte mit Hilfe von Umrechnungsfaktoren in NEFZ-Werte überführt, um die beschlossenen, auf NEFZ basierenden Zielwerte beibehalten zu können.

über die zukünftige, zeitliche Entwicklung der Abweichungen zwischen Real- und Typenprüfungs-Verbrauch zu. Sämtliche Messungen und Simulationen beruhen auf Fahrzeugen, wie sie heute auf dem Markt sind. Diese Fahrzeuge sind auf den NEFZ bzw. die heute gültige Testprozedur optimiert. Es ist zu erwarten, dass die Hersteller nach Einführung von WLTP ihre Fahrzeuge auf die neue Testprozedur optimieren und sich damit mit der Zeit wieder grössere Abweichungen zwischen Tests und Realverbrauch ergeben könnten.

- Für die **Absenkung der Realverbräuche** wird daher von folgender Entwicklung ausgegangen: Durch die Umstellung auf diese neue Prozedur ab 2017 dürfte sich die Diskrepanz zwischen Real- und Typenprüfverbrauch zunächst stabilisieren (ICCT 2016a). Somit kommen die realen Absenkraten vorübergehend näher an die NEFZ/WLTP-Absenkungen zu liegen (Ausnutzungsfaktor = 100%). Später, wenn die neue Prüfprozedur etabliert ist und die Hersteller ihre Fahrzeuge darauf einstellen können, wird wieder von einer leichten Zunahme der Diskrepanz ausgegangen (siehe Abbildung 24). Mit diesen Annahmen können die für die Modellierung relevanten Ausnutzungsfaktoren («Use factors») bestimmt werden.

Abbildung 24: Entwicklung der Diskrepanz zwischen Realverbrauch und NEFZ bis 2050



NEFZ (linke Skala): CO₂-Ausstoss eines neu zugelassenen Benzin-PW in der Schweiz (am Bsp. 1.4-2 L Hubraum) im NEFZ

Realverbrauch (linke Skala): CO₂-Ausstoss eines neu zugelassenen Benzin-PW in der Schweiz (am Bsp. 1.4-2 L Hubraum) im Realverbrauch

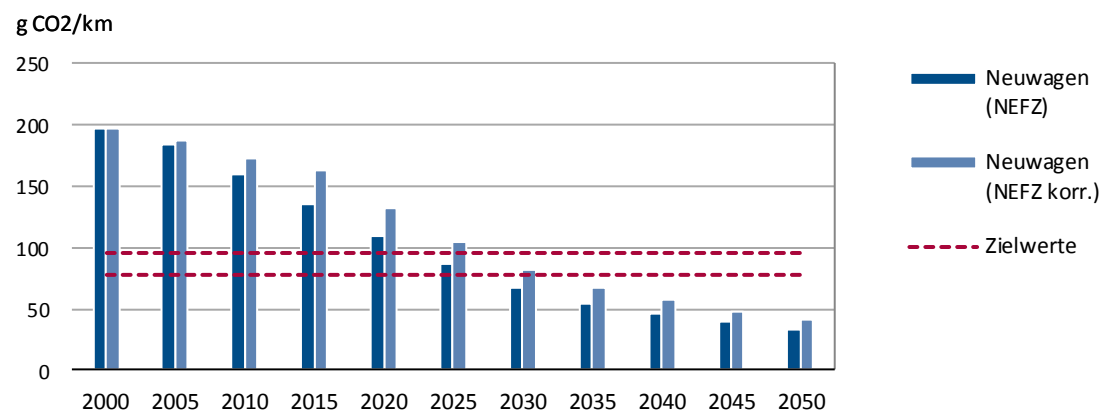
Realverbrauch/NEFZ (rechte Skala): Verhältnis zwischen Realverbrauchs- und NEFZ-Wert

Grafik INFRAS. Quelle: BFE 2016d, ICCT 2016b, eigene Berechnungen

In Abbildung 25 ist dargestellt, wie sich unter diesen Annahmen die CO₂-Werte der Neufahrzeuge entwickeln. 2028 wird der Wert von 78 g CO₂/km (NEFZ, oberer Wert der EU-Bandbreite)

unterschritten. Bis 2050 wird der CO₂-Wert der Neuwagen (NEFZ) auf rund 33 g CO₂/km abgesenkt (POM: 35 g CO₂/km in 2050). In den auf den Realverbrauch korrigierten CO₂-Werte zeigt sich die verzögerte Entwicklung der Verbrauchsabsenkungen.

Abbildung 25: Entwicklung der mittleren CO₂-Emissionen der PW-Neuwagen bzw. der PW-Flotte in EES 2020+, 2000-2050



In «NEFZ korr.» ist die verminderte Absenkung der Realverbräuche berücksichtigt.

Grafik INFRAS

4.2.2.2. Entwicklung bei den LNF

Analog zu den PW wird für die Annahmen zur Flottenzusammensetzung und den Absenkraten des Treibstoffverbrauchs bis 2025 auf die Berechnungen und Annahmen abgestützt, die im Rahmen des Projekts zu den CO₂-Vorschriften durch INFRAS für das BFE durchgeführt wurden (BFE 2017). Für die LNF wurden verschiedene Szenarien für den Zeitraum 2015-2025 berechnet. Für die LNF bildet das Marktentwicklungsszenario «B – WWB/POM/3 %» aus dieser Studie die Grundlage, d.h.:

- **Zusammensetzung der Neufahrzeuge** (Abbildung 26): 2 %/3.5 % Elektromobilitäts-Anteil in 2020/2025 bei den Neufahrzeugen. Es werden ausschliesslich BEV angenommen, da das LNF-Segment durch die grossen Fahrzeuge (N1-III) geprägt ist und die Elektromobilität bei den LNF zurzeit eine untergeordnete Rolle spielt. Nach 2025 werden die BEV-Anteile mit den Wachstumsfaktoren aus POM bis 2050 fortgeschrieben. Insgesamt ergibt sich für 2050 ein Elektromobilitäts-Anteil von 16 % im Gesamtbestand (POM: 29 %; siehe Tabellen im Annex). Der Anteil der Brennstoffzellen-Fahrzeuge («FuelCell»; ab 2035) wird aus den Energieperspektiven 2050 übernommen.

Abbildung 26: Zusammensetzung Neuwagen (oben) und des Gesamtbestands (unten) der LNF in EES 2020+, nach Grössenklassen und Technologien



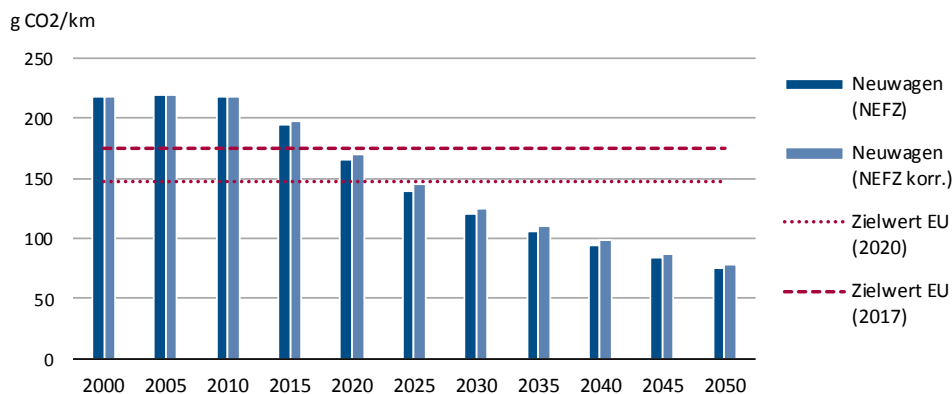
Grafik INFRAS.

- Die **Absenkraten** (gemäss NEFZ) der fossil angetriebenen LNF werden so angesetzt, dass die Entwicklung der CO₂-Emissionen der LNF-Neufahrzeuge folgende Eckpunkte erreicht (Abbildung 27):
 - 2015 liegt der mittlere CO₂-Ausstoss der Neu-LNF bei 195 g CO₂/km (BFE 2017).
 - Bis 2020 wird der aktuelle EU-Zielwert für 2017 (175 g CO₂/km) erreicht, bis 2024 der EU-Zielwert von 147 g CO₂/km (gemäss BFE 2017). Die ca. 3-jährige Verspätung gegenüber den EU-Zielwerten wird auch bei den LNF unterstellt.
 - Für die Entwicklung nach 2025 bestehen noch keine konkreten Zielwerte für die längerfristige Verschärfung der Zielwerte. Für die vorliegenden Berechnungen wird ab 2025 die Entwicklung der Absenkraten gemäss POM der Energieperspektiven (Prognos 2012) übernommen. Der von Umweltverbänden in der EU geforderte Wert von 100 g CO₂/km

wird 2040 erreicht. 2050 wird der CO₂-Wert der Neu-LNF (NEDC) auf rund 77 g/km abgesenkt. Im Vergleich zu POM/NEP (85 g CO₂/km in 2050) ist die Absenkung bis 2050 höher, was primär durch die höheren BEV-Anteile in EES 2020+ zu erklären ist.

- **Realverbrauch:** Im Gegensatz zu den PW liegen zu den LNF keine neuen Grundlagen zum Realverbrauch vor. Deshalb werden für die Ausnutzungsfaktoren (Use Factors) bei den LNF dieselben Annahmen unterstellt wie in den Energieperspektiven 2050 (auf der Basis von Mellios u. a. 2011).

Abbildung 27: Entwicklung der mittleren CO₂-Emissionen der LNF-Neuwagen, 2000-2050



In «NEFZ kor.» sind die verminderte Absenkung der Realverbräuche berücksichtigt.

Grafik INFRAS.

4.2.2.3. Entwicklung bei den übrigen Fahrzeugkategorien

Flottenzusammensetzung

Die Entwicklung der Zusammensetzung der Neufahrzeuge für die übrigen Fahrzeugkategorien (SNF, MR, Busse) orientiert sich an den Entwicklungen aus den Energieperspektiven (POM bzw. WWB). Die Flottenzusammensetzungen der SNF, MR und Busse sind im Annex zusammengestellt.

Absenkraten

Bei den SNF und Bussen beruhen die Abschätzungen zu den künftigen Absenkraten auf einer Studie, welche IFEU und TU Graz für das Deutsche Umweltbundesamt verfasst hat (UBA 2015). In dieser Arbeit wurden für schwere Nutzfahrzeuge und Busse die Effizienzpotenziale von technischen Massnahmen an Antriebsstrang, Aerodynamik, Rollwiderstand und Fahrzeug sowie die diesbezüglichen Zusatzkosten abgeschätzt. Hintergrund dieser Studie ist die in der EU geplante Einführung von Flottenzielwerten für den Verbrauch auch bei den SNF. Die Analysen in der Stu-

die wurden getrennt für 40t-Sattelzüge im Langdistanz- und regionalen Verteilverkehr, für städtische Verteilung per 12t-LKW und für Stadtbusse durchgeführt. Die technischen Massnahmen wurden zudem nach sofort/mittelfristig umsetzbar und weitere Technologien unterschieden. Schliesslich wurden die Kosten für die Massnahmen abgeschätzt und damit mittlere Amortisationszeiten ermittelt und kategorisiert (innerhalb 3 J./3-6J./Lebensdauer amortisierbar). Aus diesen Angaben werden für die vorliegende Studie die Entwicklung der Absenkraten bis 2050 abgeschätzt. Dabei werden folgende Annahmen getroffen:

- Zeitliche Allokation der Reduktionspotenziale: Die Reduktionspotenziale der nach UBA 2015 sofort umsetzbaren Massnahmen werden bis 2025 in Rechnung gestellt. Die Reduktionspotenziale der übrigen⁹, detailliert quantifizierten Massnahmen werden bis 2035 in Rechnung gestellt. Bis 2050 wird pauschal eine zusätzliche Absenkung für noch nicht quantifizierbare, weitere Massnahmen von pauschal 5 % angenommen.
- Die in UBA 2015 abgeschätzten Potenziale werden nicht vollständig in die Berechnungen übernommen, da nicht davon ausgegangen werden kann, dass sämtliche technisch machbaren Massnahmen durch die Betreiber von SNF umgesetzt werden. Die in UBA 2015 ausgewiesenen Amortisierungszeiten der Massnahmen werden als Hilfsgrösse zur Abstufung der Anrechnung beigezogen: Massnahmen, die innerhalb von 3 Jahren amortisiert werden können, werden vollständig berücksichtigt. Bei Massnahmen die innerhalb von 3-6 Jahren amortisiert werden, wird das Potenzial zu 75 % angerechnet. Bei Massnahmen die ab 6 Jahren aber innerhalb der Lebensdauer des Fahrzeugs amortisiert werden, werden noch 25 % berücksichtigt. Alle übrigen Massnahmen (die nicht innerhalb der Lebensdauer amortisiert werden können) werden nicht angerechnet.

Damit ergeben sich die in Tabelle 5 dargestellten jährlichen Absenkraten für die SNF und Busse. Zum Vergleich: Im Szenario POM in den Energieperspektiven 2050 wurde für die SNF und Busse eine pauschale jährliche Absenkung von 1 %/Jahr für den gesamten Zeitraum bis 2050 unterstellt.

Im Gegensatz zu den SNF sind für MR keine Verbrauchszielwerte für fossil angetriebene Fahrzeuge absehbar. Ausserdem liegen kaum Daten zur Entwicklung des Treibstoffverbrauchs bei MR vor. Das technische Potenzial für Verbrauchsreduktionen bei MR dürfte aber verglichen mit den übrigen Fahrzeugkategorien geringer sein. Aus diesen Gründen wird in der vorliegenden Studie von keiner nennenswerten Absenkung des Verbrauchs bei den MR ausgegangen.

⁹ gemäss UBA 2015 sind diese Massnahmen «schätzungsweise bis Ende der Dekade verfügbar».

Tabelle 5: Jährliche Absenkraten des Energieverbrauchs für Dieselfahrzeuge in EES 2020+, nach Zeithorizont und Fahrzeugtyp

Fahrzeugtyp	bis 2025	2025-2035	2035-2050
SNF (SZ/LZ)	-1.2%	-0.8%	-0.2%
SNF (Solo-LKW > 12t)	-0.6%	-0.6%	-0.2%
SNF (Solo-LKW <=12t)	-0.4%	-0.9%	-0.2%
Busse	-0.4%	-0.8%	-0.2%

Tabelle INFRAS. Quelle: UBA 2015, eigene Berechnungen

4.2.2.4. Spezifische Verbräuche

Die aus oben beschriebenen Annahmen zur Flotten- und Verbrauchsentwicklung resultierenden spezifischen Verbräuche sind in Tabelle 6 zusammengestellt. Dabei sind sowohl jeweils die entsprechenden Elektrofahrzeug-Anteile berücksichtigt als auch die Einflüsse der Klimaanlage, Kaltstarts, etc.

Tabelle 6: Spezifische Verbräuche in MJ/km in EES 2020+.

Fahrzeugkat.	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PW	3.4	3.2	3.0	2.8	2.6	2.4	2.1	1.8	1.7	1.5	1.4
LNF	3.5	3.5	3.4	3.3	3.1	2.9	2.6	2.3	2.1	2.0	1.9
MR	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
SNF	10.7	11.1	11.0	10.8	10.6	10.1	9.5	8.9	8.5	8.1	7.9
LBus (ÖV)	15.5	15.2	14.7	14.4	14.4	14.4	14.4	14.3	14.1	13.8	13.6
RBus (Car)	11.9	11.7	11.6	10.8	11.9	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8	11.8

In MJ/km; Mitberücksichtigt sind auch Einflüsse von Klimaanlage, Kaltstarts, etc.

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

4.2.3. Biotreibstoffe

In EES 2020+ wird davon ausgegangen, dass die Biotreibstoffanteile (energiebasierter Anteil Bio-Ethanol in Benzin, Biodiesel in Diesel) bis 2030 auf 5 % bei Benzin, respektive 7 % bei Diesel ansteigen werden. Diese Anteile entsprechen in etwa dem heute absehbaren technischen Potenzial von rund 400 Mio. Litern (ca. 170 Mio. Liter Bio-Ethanol, 220 Mio. Liter Biodiesel; siehe UVEK 2016). Ab 2030 wird die Entwicklung der Biotreibstoffe gemäss POM unterstellt, so dass 2050 Biotreibstoff-Anteile von rund 8 % (Benzin) bzw. 11 % (Diesel) erreicht werden. Hinter diesen Annahmen stehen folgende Rahmenbedingungen zur Entwicklung der Biotreibstoffanteile in der Schweiz:

- Die **Mineralölsteuer-Erleichterungen** für biogene Treibstoffe¹⁰, die ökologische und soziale Minimalanforderungen erfüllen. Im Jahr 2015 fielen rund 28 Mio. Liter Bio-Ethanol (0.5 % des Benzinabsatzes in 2015, energiebasiert) und 45 Mio. Liter Biodiesel (1.3 % des Dieselabsatzes in 2015, energiebasiert) unter diese Erleichterung (UVEK 2016). Die Mineralölsteuer-Erleichterung ist befristet bis 2020 und läuft dann aus¹¹.
- Die **Kompensationspflicht für CO₂-Emissionen** aus fossilen Treibstoffen, die seit 2013 besteht. Pro Tonne CO₂, die nicht kompensiert wird, muss der Importeur heute 160 CHF entrichten. Kompensationen können beispielsweise mit Biotreibstoff-Projekten bewerkstelligt werden. Die Stiftung «Klimaschutz und CO₂-Kompensation Klik» verwaltet diese Kompensationsprojekte. Es wird davon ausgegangen, dass die Kompensationspflicht auch nach 2020 beibehalten wird und die Ersatzleistung, die pro nicht kompensierter Tonne CO₂ fällig wird, auf 320 CHF/Tonne CO₂ ansteigt (Stand Vernehmlassungsvorlage zur Revision der CO₂-Gesetzgebung, 31.08.2016).

Als Resultat dieser Rahmenbedingungen blieb der Biotreibstoff-Anteil in Benzin und Diesel bis ca. 2013 auf tiefem Niveau stabil (<1 %, bezogen auf den Energieinhalt). Ab 2013 – mit Einführung der Kompensationspflicht für CO₂-Emissionen aus fossiler Quelle – steigen die Anteile deutlich an (2016: 0.7 % Bioethanol in Benzin, 2.0 % Biodiesel in Diesel; bezogen auf den Energieinhalt, gemäss Angaben der Eidgenössischen Zollverwaltung), wenngleich das Niveau insgesamt immer noch tief bleibt. Die Beimischung von biogenen Treibstoffen zu Benzin und Diesel scheint also nur wirtschaftlich zu werden, wenn sie sowohl steuerbefreit ist, als auch als Kompensationsmassnahme für die Einfuhr fossiler Treibstoffe dienen kann. Fällt eines der beiden Elemente weg, dürften – bei ansonsten gleichbleibenden Rahmenbedingungen – die Beimischungsquoten nicht weiter steigen. Die Förderung von Biotreibstoffen wird aber allgemein als wichtiger Beitrag zum Klimaschutz anerkannt. Insofern wird davon ausgegangen, dass auch nach Wegfall der Steuerbefreiung nach 2020 die Beimischung von biogenen Treibstoffen gefördert und entsprechend ansteigen wird. Die Wahl der Förderungsinstrumente ist allerdings noch unklar, denkbar ist nebst einer Weiterführung der steuerlichen Begünstigung (siehe Fussnote 11) auch eine Beimischungspflicht oder andere Massnahmen, welche in dieselbe Richtung zielen.

¹⁰ Derzeit beträgt die Mineralölsteuer und der -Zuschlag bei Benzin 73.1 Rp./L, bei Diesel 75.9 Rp./L. Umgerechnet sind dies 315 CHF/Tonne CO₂ beim Benzin und 290 CHF/Tonne CO₂ beim Diesel (Annahmen gemäss Faktenblatt CO₂-Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars des BAFU: Dichte Benzin = 0.737 kg/L, Diesel = 0.830 kg/L; 3.15 T CO₂/L für Benzin und Diesel).

¹¹ Im Februar 2017 wurde eine parlamentarische Initiative eingereicht, die beantragt die bis 2020 befristeten steuerlichen Erleichterungen für biogene Treibstoffe (plus Erdgas und Flüssiggas) bis 2030 zu verlängern (Pa. Iv. 17.405).

Erdgas spielt mit weniger als 1 PJ am gesamten Treibstoffabsatz eine untergeordnete Rolle. Die Biogas-Anteile haben sich seit 2007 bei rund 20-25 % Energieanteil am Gasabsatz eingependelt, dieser Anteil ist primär an das Mengenpotenzial zur Biogasproduktion gebunden. Auch Biogas profitiert gemäss Mineralölsteuergesetz bis 2020 von Steuererleichterungen. Für die Berechnungen wird davon ausgegangen, dass der Biogas-Anteil bei 25 % bis 2050 stabil bleibt.

4.2.4. Non-Road-Verkehr und Tanktourismus

Die Entwicklung der Mengengerüste und des Energieverbrauchs des Non-road-Verkehrs werden aus BAFU 2015 unverändert übernommen.

Die Entwicklung des Tanktourismus wird ab 2016 an den Verlauf der modellierten Benzin- und Dieserverbräuche der PW gekoppelt, da der Tanktourismus hauptsächlich von diesem Segment bestimmt wird. Eine Berechnung der Preisdifferenzen von Treibstoffen in der Schweiz und dem angrenzenden Ausland bis 2050 sprengt den Rahmen der vorliegenden Studie, weshalb darauf verzichtet wird. Implizit werden damit die Verhältnisse der Preisdifferenzen auf dem Stand von 2015 belassen.

4.3. Berechnungsgrundlagen für das Alternativszenario (S1) und die Sensitivitätsrechnungen (S2, S3)

Die nachfolgenden Abschnitte befassen sich mit den Annahmen für die weiteren Szenarien und Sensitivitätsrechnungen. Dabei werden ausschliesslich die gegenüber dem Hauptszenario veränderten Teile diskutiert.

4.3.1. Alternativszenario (S1)

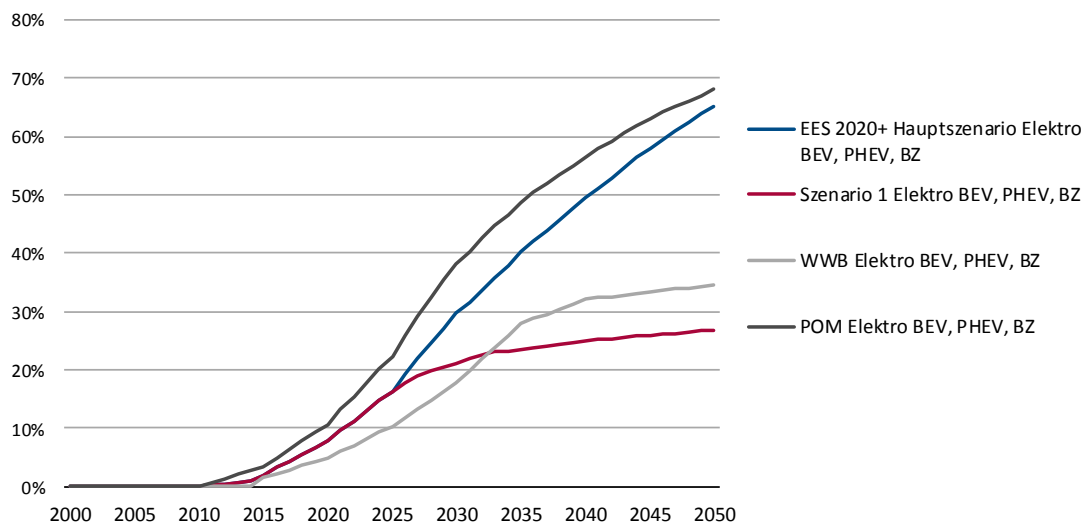
Das Hauptszenario enthält mit der Fortschreibung der CO₂-Zielwertentwicklung für PW implizit eine Massnahme, die heute noch nicht beschlossen ist. Aus diesem Grund wird in einem zusätzlichen Szenario untersucht, wie sich der Energieverbrauch des PW-Verkehrs verändern würde, wenn nach 2025 die CO₂-Zielwerte für neu zugelassene PW nicht weiter verschärft würden. Im Alternativ-Szenario werden folgende Annahmen getroffen:

- **Flottenzusammensetzung:** Im Vollzug der CO₂-Zielwerte werden derzeit für die Elektrofahrzeuge keine CO₂-Emissionen angerechnet («tank-to-wheel»-Optik). Damit besteht für die Importeure ein Anreiz, Elektrofahrzeuge auf den Markt zu bringen, da damit die allfälligen Zielwertüberschreitungen von konventionellen, fossil angetriebenen Fahrzeugen kompensiert werden können (siehe auch BFE 2017). Bei einem Wegfallen bzw. Einfrieren der CO₂-Zielwerte für Neufahrzeuge ab 2025 ist daher mit einem abgeschwächten Wachstum des Elektro-Anteils zu rechnen. Abbildung 28 zeigt die Entwicklung der Elektromobilitäts-Anteile an den Neufahrzeugen und im Gesamtbestand für das Alternativszenario 1 (die Daten dazu

sind im Annex zu finden). Für das Alternativszenario 1 wurde nach 2025 von einer stark abgeschwächten Weiterentwicklung der Elektromobilitätsanteile bei den Neufahrzeugen ausgegangen. Zum Vergleich sind die entsprechenden Werte des Hauptszenarios und der Energieperspektiven-Szenarien WWB und POM dargestellt. Für 2050 wird von einem Elektro-Anteil von 27 %/24 % (Neu-PW/Bestand) ausgegangen. Zum Vergleich: in EES 2020+ betragen die entsprechenden Anteile 65 % bzw. 49 % (Neu-PW/Bestand).

Abbildung 28: Elektromobilitätsanteile (BEV, PHEV, Brennstoffzelle) bei den PW-Neuwagen in Alternativszenario 1 und dem Hauptszenario, Vergleich mit den Szenarien POM und WWB aus den Energieperspektiven 2050

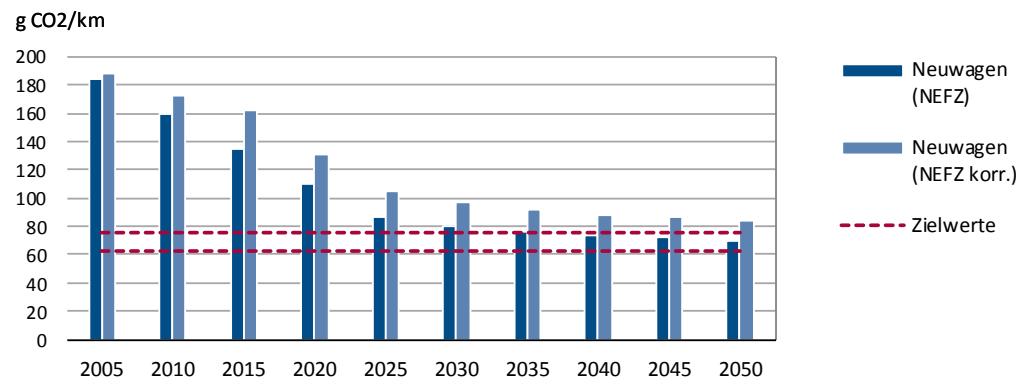
Anteil Neu-PW



Grafik INFRAS. Quelle: Eigene Berechnungen, Prognos 2012

- **Absenkraten (NEFZ):** Daneben dürfte das Wegfallen von CO₂-Zielwertverschärfungen auch zu reduzierten jährlichen Absenkraten der Benzin- und Dieselfahrzeuge führen. Die Absenkraten aus EES 2020+ werden nach 2025 reduziert, so dass – zusammen mit der Entwicklung der Elektrofahrzeug-Anteile – der in Abbildung 29 dargestellte Verlauf der spezifischen CO₂-Emissionen bei den PW entsteht. Bis 2025 entspricht die Entwicklung derjenigen im Hauptszenario, der EU-Zielwert von 78 g CO₂/km wird aber erst 2033 unterschritten (statt 2027 wie im Hauptszenario). Bis 2050 sinkt der CO₂-Wert der Neuwagen (NEFC) auf rund 70 g/km (Hauptszenario: 33 g CO₂/km in 2050)
- **Biotreibstoff-Anteile:** Die Biotreibstoff-Anteile werden ab 2020 auf konstanten 2 % bis 2050 festgesetzt. Dies entspricht dem Anteil, der im Szenario WWB in den Energieperspektiven 2050 (Prognos 2012) angenommen wurde.

Abbildung 29: Entwicklung der mittleren CO₂-Emissionen der PW-Neuwagen bzw. der PW-Flotte im Alternativszenario (S1), 2000-2050



In «NEFZ korr.» sind die verminderte Absenkung der Realverbräuche berücksichtigt.

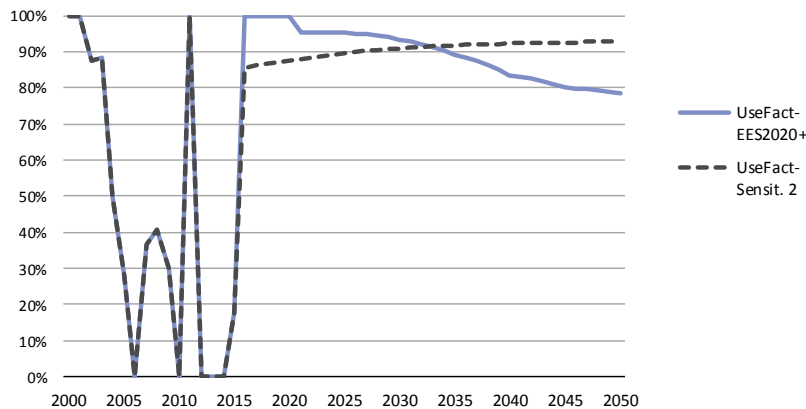
Grafik INFRAS

4.3.2. Sensitivität 2 (S2)

In S2 soll der Einfluss der neuen Grundlagen seit ca. dem Jahr 2000 beobachteten Diskrepanz zwischen Realverbrauch und Typenprüfwert (NEFZ) bei den PW untersucht werden. Während im Hauptszenario die Annahmen auf der Basis der aktuellsten Untersuchungen von ICCT getroffen werden (siehe Kapitel 3.1.3 und 4.2.2.4), wird in S2 mit den Annahmen zu den Ausnutzungsfaktoren gerechnet wie sie in den Energieperspektiven 2050 getroffen wurden (Prognos 2012, auf der Basis einer im Auftrag des JRC erstellten Studie; Mellios u. a. 2011).

Für die Berechnungen in S2 werden für die PW ab 2015 anstelle der Ausnutzungsfaktoren aus dem Hauptszenario diejenigen aus den Energieperspektiven (Szenario POM) unterstellt (in Abbildung 32 exemplarisch für die Benzin-PW von 1.4-2L Hubraum dargestellt, ähnliche Annahmen gelten für die anderen Grössenklassen). Bis 2015 beruhen die Ausnutzungsfaktoren auf den NEFZ-Absenkraten aus dem CO₂-Monitoring der PW in der Schweiz und den Daten zur Realverbrauchsentwicklung von ICCT (siehe Kapitel 3.1.3). Während das Niveau der angenommenen Ausnutzungsfaktoren ab 2016 dem Hauptszenario (siehe Kapitel 4.2.2.1) ähnlich ist, unterscheidet sich der Trend. In S2 nähern sich die Absenkungen im Realverbrauch sukzessive (bis 2050) an die NEFZ-Absenkraten an. Im Hauptszenario nehmen dagegen die NEFZ-Absenkraten stärker ab als diejenigen im Realverbrauch. Über die gesamte Zeitreihe sind die Unterschiede zwischen den beiden Berechnungsvarianten aber gering.

Abbildung 30: Ausnutzungsfaktoren in Sensitivität 2 (bzw. POM) und EES 2020+, Beispiel PW Benzin 1.4-2 L



Grafik INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, Prognos 2012

4.3.3. Sensitivität 3 (S3)

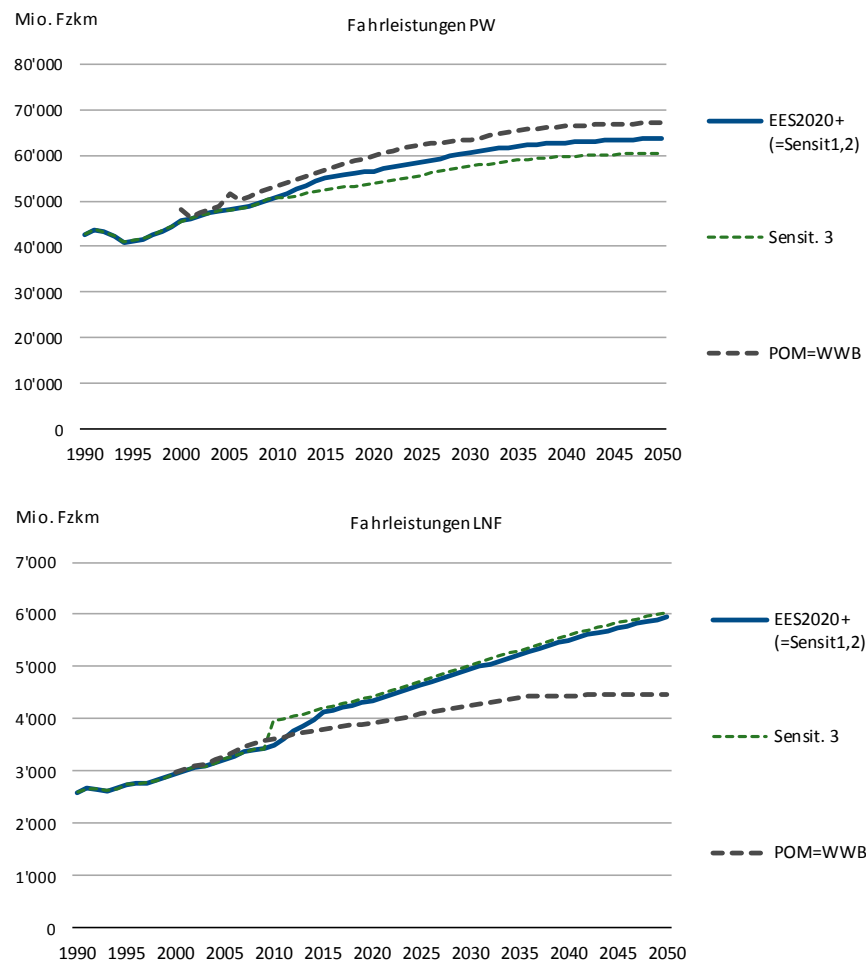
Sensitivität 3 untersucht die Unterschiede der Fahrleistungsentwicklungen in der vorliegenden Studie und den aktuellen Verkehrsperspektiven des ARE (ARE 2016a, ARE 2016c). Im Hauptszenario EES 2020+ werden für die Fortschreibung der Fahrleistungen die Wachstumsraten aus den aktuellen Verkehrsperspektiven des ARE auf die aktuellen Fahrleistungsdaten der Bundesstatistik (Referenzjahr 2015) angewendet und so die Zeitreihe bis 2050 ermittelt. Ab 2015 wird als Hauptszenario also lediglich die Relativentwicklung aus den ARE-Verkehrsperspektiven verwendet. In S3 wird ab 2010 mit den absoluten Fahrleistungsdaten aus den Verkehrsperspektiven des ARE gerechnet. Untenstehende Info-Box erläutert die Abweichungen zwischen den ARE-Modellierungen und den statistischen Angaben des BFS:

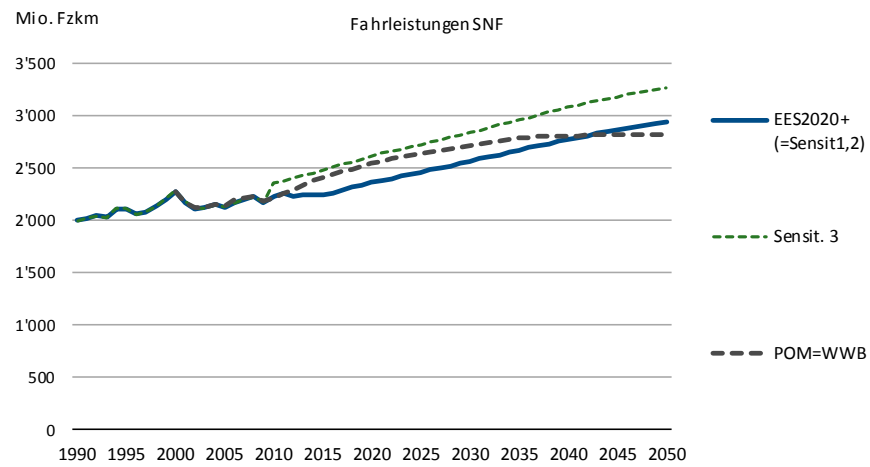
Info-Box: Abweichungen zwischen Verkehrsmodell (NPVM) und Statistik BFS und Auswirkungen auf die Berechnungen

Die Fahrleistungswerte der Verkehrsperspektiven des ARE für 2010 basieren auf der Anwendung von Verkehrsmodellen und sind dadurch nicht vollständig kompatibel zur öffentlichen Statistik (ARE 2016a). Im Personenverkehr war die Kurzfristedynamik zwischen 2010 und 2015 höher, als durch das Verkehrsmodell reproduziert, so dass die Sensitivität 3 für 2050 eine leicht geringere PW-Leistung prognostiziert. Für den LNF wurde im Zeitraum 2010 bis 2015 eine durch das Modell leicht überschätzte LNF-Leistung in 2010 bis 2015 durch das reale Wachstum „eingeholt“, so dass in der Langfrist kaum Abweichungen zu EES 2020+ bestehen. Für die schweren Nutzfahrzeuge bestehen im Ausgangswert Modell zu BFS (für 2010) und hinsichtlich der Dynamik bis 2015 Abweichungen (das Modell startet von einem leicht höheren Ausgangswert und prognostiziert ein moderates Wachstum bis 2015 – bei realer Stagnation der SNF-Leistungen). Dies führt zu einer in der Langfrist höheren Entwicklung der SNF-Leistungen.

Abbildung 31 zeigt die Unterschiede zu EES 2020+ für die PW, LNF und SNF. Die PW-Fahrleistungen in den ARE-Verkehrsperspektiven sind in Sensitivität 3 rund 5 % tiefer, bei den LNF sind die beiden Zeitreihen sehr ähnlich. Bei den SNF sind die ARE-Werte höher (siehe Info-Box oben).

Abbildung 31: Fahrleistungen der PW, LNF und SNF in Sensitivität 3 (ARE-Verkehrsperspektiven), EES 2020+ und den Energieperspektiven 2050





Grafik INFRAS. Quelle: ARE 2016a, Prognos 2012, eigene Berechnungen.

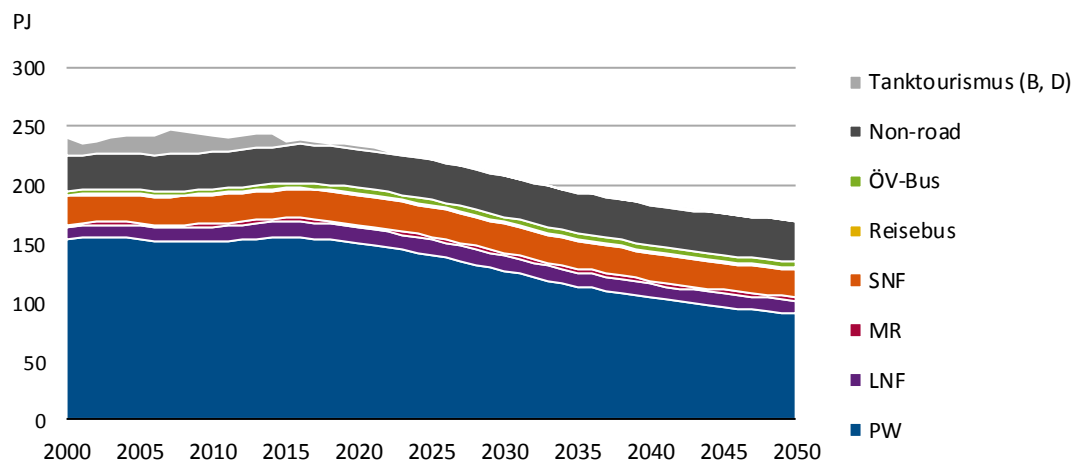
5. Resultate

5.1. Hauptszenario

5.1.1. Endenergieverbrauch nach Verwendungszwecken

Der Endenergieverbrauch für die Zeitreihe 2000-2050 für das Hauptszenario EES 2020+ ist in Abbildung 32 und Tabelle 7 dargestellt. Verglichen mit 2015 wird der Energieverbrauch des Verkehrs bis 2050 um rund 29 % abnehmen, beim Strassenverkehr beträgt die Abnahme gegenüber 2015 rund 33 %. Namhafte Effizienzgewinne sind insbesondere bei den PW zu verzeichnen, die eine überdurchschnittliche Abnahme des Energieverbrauchs aufweisen. Bei den SNF vermögen die erwarteten Effizienzgewinne die Zunahme der Fahrleistung nur teilweise zu kompensieren. Dadurch verringert sich auch der Anteil der PW am Gesamtverbrauch des Verkehrs von heute rund 66 % in 2015 auf 53 % im Jahr 2050.

Abbildung 32: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Verwendungszwecken in EES 2020+, 2000 – 2050, in PJ



Non-road gemäss Definition in Tabelle 2

Grafik INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 7: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Verwendungszwecken in EES 2020+, 2000 – 2050, in PJ

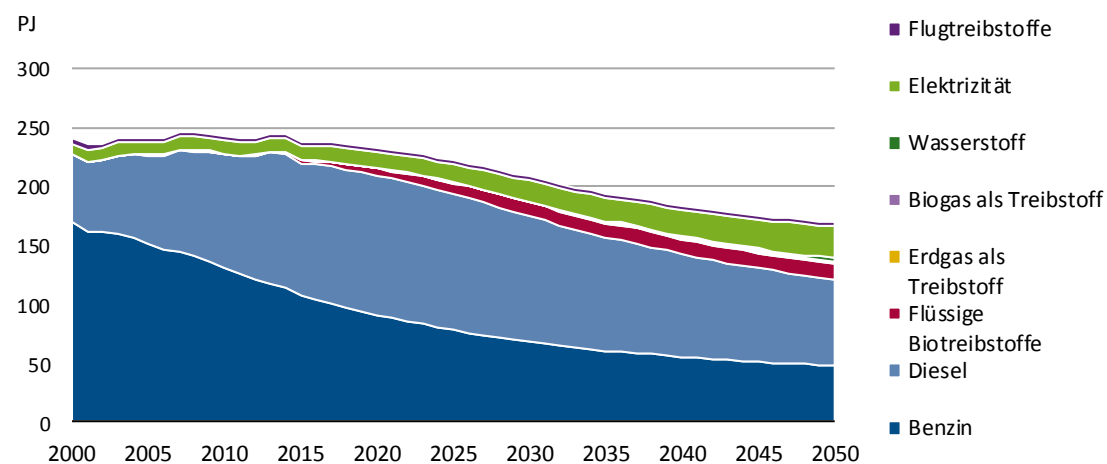
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Absolut in PJ											
PW	153.7	153.8	152.8	155.9	150.0	139.9	126.7	113.6	104.0	96.2	90.5
LNF	10.5	11.2	12.0	13.5	13.6	13.3	12.6	12.0	11.6	11.2	11.0
MR	2.1	2.4	2.4	2.7	2.8	2.9	3.0	3.0	3.0	3.1	3.1
SNF	24.3	23.5	24.4	24.2	25.0	24.8	24.4	23.8	23.4	23.2	23.1
RBus (Car)	1.2	1.2	1.4	1.4	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8
LBus (ÖV)	3.1	3.5	3.6	3.9	4.4	4.6	4.9	5.1	5.1	5.1	5.1
Tankt.	16.1	15.2	14.7	4.0	2.2	1.2	0.6	0.4	0.3	0.2	0.2
Non-road	30.2	30.6	31.8	31.9	33.4	34.0	34.5	34.4	34.6	34.7	35.0
Total	241.3	241.4	243.0	237.5	232.9	222.3	208.4	194.0	183.8	175.6	169.6
Anteil am Total											
PW	63.7%	63.7%	62.9%	65.6%	64.4%	62.9%	60.8%	58.5%	56.6%	54.8%	53.3%
LNF	4.3%	4.6%	4.9%	5.7%	5.8%	6.0%	6.1%	6.2%	6.3%	6.4%	6.5%
MR	0.9%	1.0%	1.0%	1.1%	1.2%	1.3%	1.4%	1.6%	1.7%	1.7%	1.8%
SNF	10.1%	9.7%	10.0%	10.2%	10.7%	11.2%	11.7%	12.3%	12.7%	13.2%	13.6%
RBus (Car)	0.5%	0.5%	0.6%	0.6%	0.7%	0.7%	0.8%	0.9%	1.0%	1.0%	1.1%
LBus (ÖV)	1.3%	1.4%	1.5%	1.7%	1.9%	2.1%	2.3%	2.6%	2.8%	2.9%	3.0%
Tankt.	6.7%	6.3%	6.0%	1.7%	1.0%	0.5%	0.3%	0.2%	0.2%	0.1%	0.1%
Non-road	12.5%	12.7%	13.1%	13.4%	14.3%	15.3%	16.6%	17.8%	18.8%	19.8%	20.6%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Non-road gemäss Definition in Tabelle 2

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

5.1.2. Endenergieverbrauch nach Energieträger

Abbildung 33: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Energieträgern in EES 2020+, 2000 – 2050, in PJ



Grafik INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Die Verteilung des Endenergieverbrauchs auf die Energieträger ist in Abbildung 33 und Tabelle 8 dargestellt. Benzin und Diesel bleiben auch 2050 die Hauptenergieträger, ihr Anteil am Gesamtverbrauch nimmt von heute rund 93 % (220 PJ) auf 71 % (121 PJ) im Jahr 2050 ab. Parallel dazu nimmt der Stromanteil (von heute knapp 5 % auf 16 % in 2050) und der Anteil der erneuerbaren Energieträger (von heute knapp 1 % auf 8 %) zu.

Tabelle 8: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Energieträger in EES 2020+, 2000 – 2050, in PJ

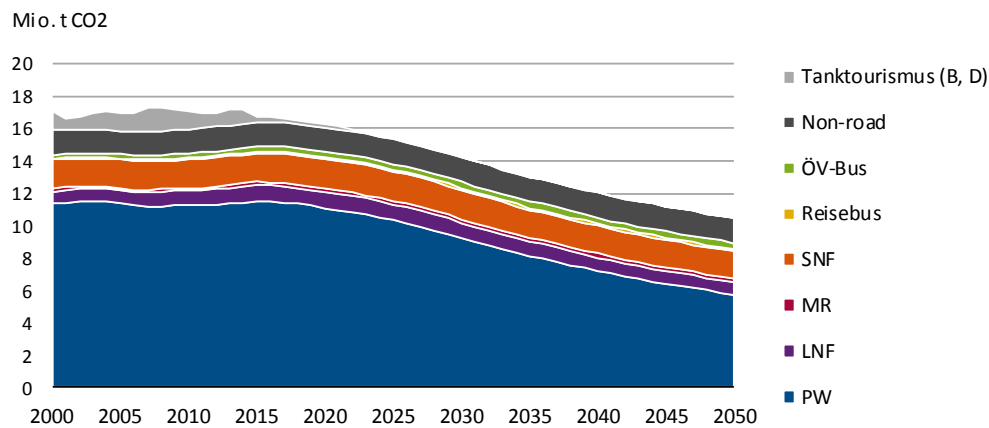
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Absolut in PJ											
Benzin	170.7	151.3	131.0	107.2	90.9	78.2	67.7	60.0	55.4	51.2	47.8
Diesel	56.3	75.2	96.0	112.5	118.5	115.6	106.9	96.8	87.3	79.6	73.4
Flugtreibstoffe	4.4	3.3	3.3	3.5	3.6	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3
Flüssige Biotreibst.	0.1	0.2	0.4	2.1	5.8	9.1	11.7	12.2	12.7	12.8	12.9
Flüssiggas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Erdgas als Treibst.	0.2	0.2	0.6	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.6	1.7
Biogas als Treibst.	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6
Wasserstoff	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	1.5	2.6
Elektrizität	9.5	10.7	11.4	11.4	13.3	14.9	17.2	19.7	22.2	24.8	27.2
Heizöl EL	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Total	241.3	241.4	243.0	237.5	232.9	222.3	208.4	194.0	183.8	175.6	169.6
Anteil am Total											
Benzin	70.7%	62.7%	53.9%	45.1%	39.0%	35.2%	32.5%	30.9%	30.1%	29.1%	28.2%
Diesel	23.3%	31.2%	39.5%	47.4%	50.9%	52.0%	51.3%	49.9%	47.5%	45.4%	43.2%
Flugtreibstoffe	1.8%	1.4%	1.4%	1.5%	1.5%	1.6%	1.7%	1.8%	1.8%	1.9%	2.0%
Flüssige Biotreibst.	0.0%	0.1%	0.1%	0.9%	2.5%	4.1%	5.6%	6.3%	6.9%	7.3%	7.6%
Flüssiggas	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Erdgas als Treibst.	0.1%	0.1%	0.3%	0.2%	0.2%	0.3%	0.4%	0.6%	0.8%	0.9%	1.0%
Biogas als Treibst.	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.3%	0.3%	0.3%
Wasserstoff	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.4%	0.9%	1.5%
Elektrizität	3.9%	4.4%	4.7%	4.8%	5.7%	6.7%	8.3%	10.1%	12.1%	14.1%	16.1%
Heizöl EL	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

5.1.3. CO₂-Emissionen nach Verwendungszweck

Die Total (fossilen und biogenen) CO₂-Emissionen nach Energieträger sind in Abbildung 34 und Tabelle 9 dargestellt. Sie umfassen ausschliesslich die Emissionen, die beim Betrieb entstehen («tank-to-wheel», TTW). Die Emissionen aus Produktion und Transport der Energieträger werden nicht berücksichtigt. Die für die Berechnung verwendeten CO₂-Emissionsfaktoren sind im Annex zu finden, ebenso die Daten zu den fossilen CO₂-Emissionen (Tabelle 33).

Abbildung 34: CO₂-Emissionen (fossile und biogene, TTW) des Verkehrs in EES 2020+ nach Verwendungszweck, 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂



Non-road gemäss Definition in Tabelle 2

Grafik INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 9: CO₂-Emissionen (fossile und biogene, TTW) des Verkehrs nach Verwendungszweck in EES 2020+, 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂

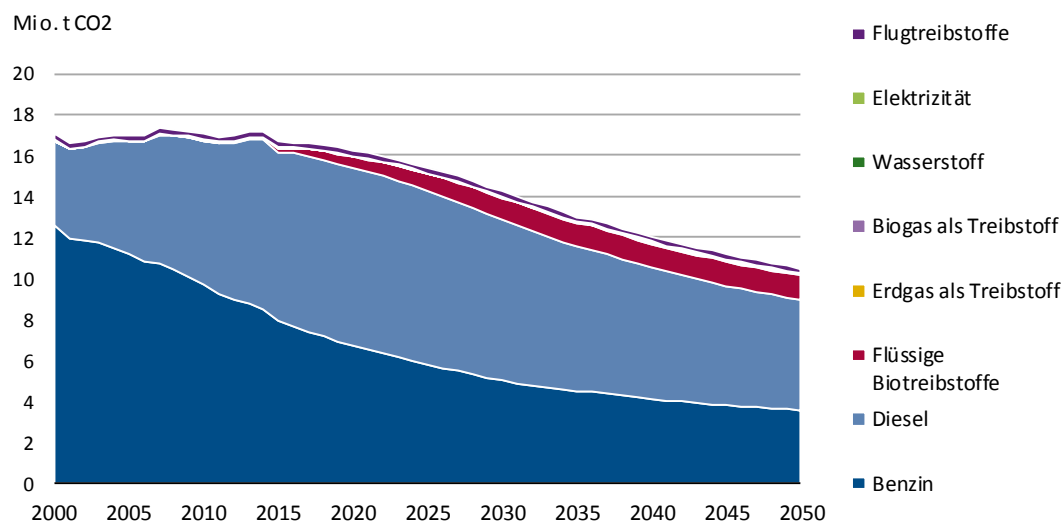
	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PW	11.34	11.34	11.25	11.50	11.08	10.32	9.25	8.09	7.19	6.39	5.75
LNF	0.77	0.82	0.88	0.99	1.00	0.98	0.93	0.88	0.84	0.80	0.76
MR	0.16	0.17	0.18	0.20	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23	0.24	0.24
SNF	1.78	1.72	1.79	1.78	1.84	1.83	1.79	1.75	1.72	1.69	1.68
RBus (Car)	0.09	0.09	0.10	0.10	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
LBus (ÖV)	0.23	0.25	0.26	0.28	0.32	0.34	0.36	0.37	0.38	0.37	0.37
Tankt.	1.19	1.12	1.08	0.30	0.17	0.09	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
Non-road	1.51	1.45	1.49	1.51	1.51	1.52	1.52	1.53	1.54	1.55	1.55
Total	17.07	16.98	17.03	16.66	16.24	15.41	14.25	13.01	12.04	11.18	10.49

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, BAFU 2016

5.1.4. CO₂-Emissionen nach Energieträger

Die CO₂-Emissionen nach Energieträger sind in Abbildung 35 und Tabelle 10 dargestellt. Sie umfassen ausschliesslich die Emissionen, die beim Betrieb entstehen («tank-to-wheel», TTW). Die Emissionen aus Produktion und Transport der Energieträger werden nicht berücksichtigt. Die für die Berechnung verwendeten CO₂-Emissionsfaktoren sind im Annex zu finden. Die Abnahme des Verbrauchs fossiler Energieträger im Verkehr wirkt sich auch auf die fossilen CO₂-Emissionen aus. Der Verkehr stösst 2015 rund 16.5 Mio. Tonnen fossiles CO₂ aus. Dieser Ausstoss verringert sich bis 2050 um 44 % auf rund 9.3 Mio. Tonnen CO₂.

Abbildung 35: CO₂-Emissionen (fossile und biogene, TTW) des Verkehrs in EES 2020+ nach Energieträger, 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂



Grafik INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, BAFU 2016

Tabelle 10: CO₂-Emissionen (fossile und biogene, TTW) des Verkehrs nach Energieträger in EES 2020+, 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Benzin	12.59	11.17	9.67	7.91	6.71	5.77	5.00	4.43	4.09	3.78	3.53
Diesel	4.12	5.52	7.03	8.24	8.68	8.48	7.84	7.10	6.40	5.84	5.38
Flugtreibstoffe	0.32	0.24	0.24	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24
<i>Flüssige Biotreibst.</i>	<i>0.01</i>	<i>0.02</i>	<i>0.03</i>	<i>0.20</i>	<i>0.54</i>	<i>0.85</i>	<i>1.09</i>	<i>1.14</i>	<i>1.19</i>	<i>1.19</i>	<i>1.20</i>
Flüssiggas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas als Treibst.	0.01	0.01	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.10
<i>Biogas als Treibst.</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.02</i>	<i>0.02</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>
Wasserstoff	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektrizität	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heizöl EL	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Total fossil	17.05	16.95	16.99	16.45	15.69	14.55	13.15	11.85	10.83	9.96	9.25
Total	17.07	16.98	17.03	16.66	16.24	15.41	14.25	13.01	12.04	11.18	10.49

kursiv (hellgrau): Biogene CO₂-Emissionen (Biotreibstoffe, Biogas)

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, BAFU 2016

5.2. Szenarien und Sensitivitätsrechnungen

Abbildung 36 und Tabelle 11 zeigen die Resultate des Alternativszenarios und der Sensitivitätsrechnungen und stellen sie den Ergebnissen des Hauptszenarios EES 2020+ gegenüber.

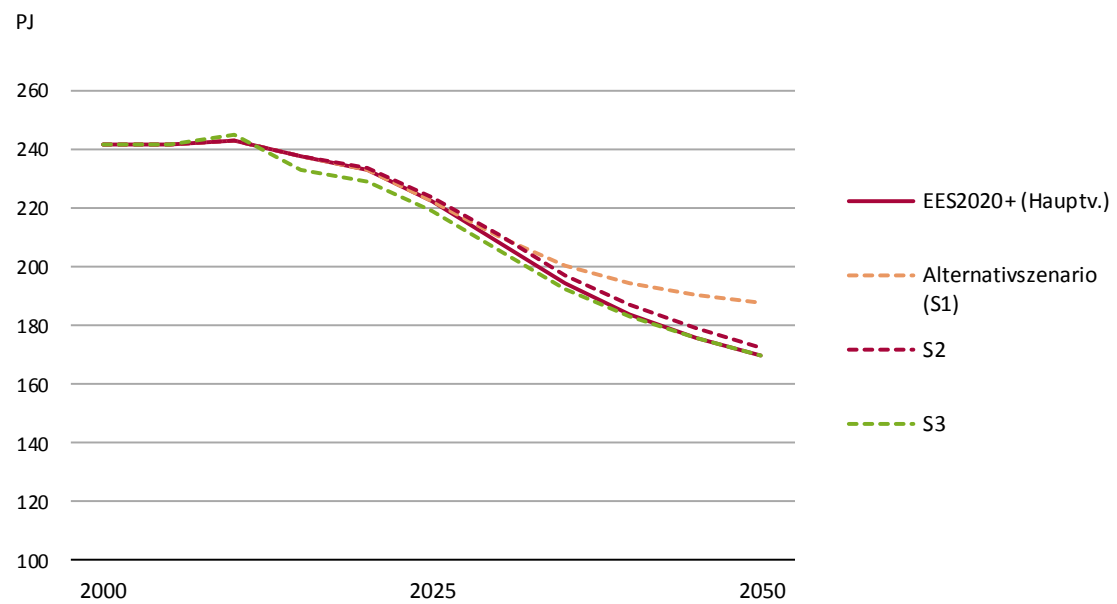
Werden die CO₂-Zielwerte für Neu-PW nach 2025 nicht weiter verschärft (Alternativszenario S1), so ist für die PW 2050 mit rund 20 % höherem Energieverbrauch im Vergleich zum Hauptszenario zu rechnen. Auf den Energieverbrauch des Gesamtverkehrs macht die Erhöhung rund 11 % aus.

Vergleichsweise gering ist der Effekt der neuen Annahmen zur künftigen Entwicklung der Absenkraten des Realverbrauchs (Ausnutzungsfaktoren) in Sensitivität 2 (S2). Der Energieverbrauch des Verkehrs wäre 2050 knapp 2 % höher mit den alten Ausnutzungsfaktoren. Hauptgrund für den geringen Unterschied zum Hauptszenario sind die Annahmen zur künftigen Entwicklung der Ausnutzungsfaktoren: In der Zeitreihe ist der Verlauf in den beiden Berechnungen zwar unterschiedlich, aber vom Niveau her ähnlich (siehe Abbildung 30): Während in EES2020+ bis ca. 2030 von höheren Ausnutzungsfaktoren (d.h. geringerer Differenz zwischen Real- und NEFZ-Verbrauch) als in S2 gerechnet wird, sind diese bis 2050 dann dafür tiefer als in S2.

Die Berechnungen mit den Fahrleistungen aus den ARE-Verkehrsperspektiven (S3) führen im Total zu ähnlichen Ergebnissen bis 2050, allerdings mit unterschiedlichem zeitlichem Verlauf. Während der Energieverbrauch der PW über die gesamte Zeitreihe aufgrund der tieferen

Fahrleistungen rund 5 % tiefer ist als im Hauptszenario EES 2020+, ist derjenige der schweren Nutzfahrzeuge höher. Insgesamt gleichen sich die beiden Effekte bis 2050 ungefähr aus.

Abbildung 36: Endenergieverbrauch des Verkehrs im Hauptszenario EES 2020+, Alternativszenario (S1) und den Sensitivitätsrechnungen (S2, S3), in PJ



Abgeschnittene Skala der Y-Achse beachten

Grafik INFRAS. Quelle: Eigene Berechnungen, Prognos 2012

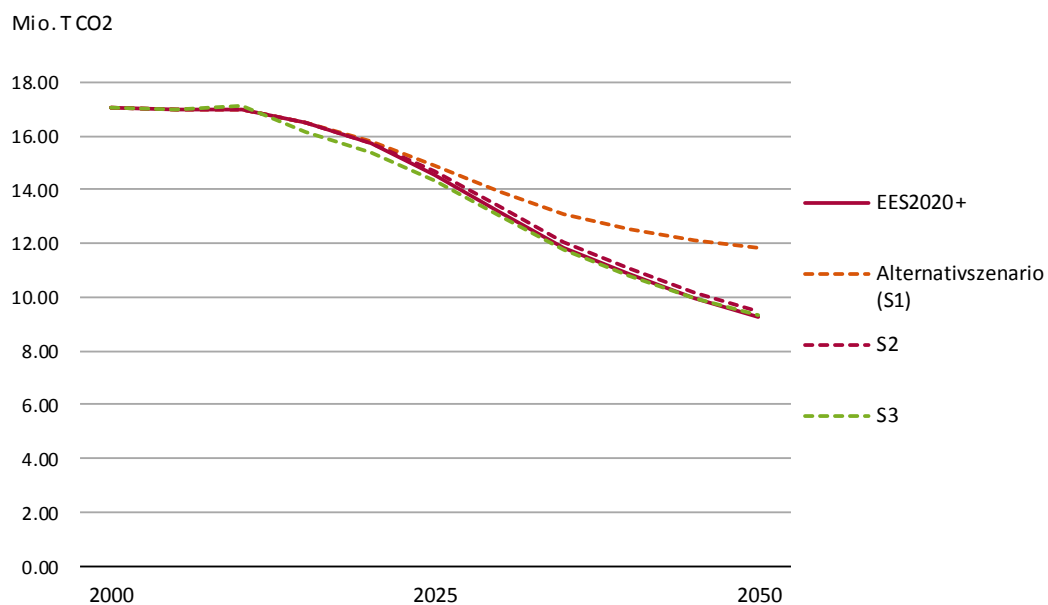
Tabelle 11: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Verwendungszwecken im Hauptszenario EES 2020+, Alternativszenario (S1) und Sensitivitätsrechnungen (S2, S3), 2000 – 2050, in PJ

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Hauptszenario EES 2020+ (PJ)											
PW	153.7	153.8	152.8	155.9	150.0	139.9	126.7	113.6	104.0	96.2	90.5
LNF	10.5	11.2	12.0	13.5	13.6	13.3	12.6	12.0	11.6	11.2	11.0
Rest Strasse	30.8	30.6	31.7	32.2	33.7	34.0	33.9	33.6	33.4	33.2	33.0
Total	241.3	241.4	243.0	237.5	232.9	222.3	208.4	194.0	183.8	175.6	169.6
Alternativszenario S1 (PJ)											
PW	153.7	153.8	152.8	155.9	150.0	139.9	128.7	119.8	114.7	111.1	108.6
LNF	10.5	11.2	12.0	13.5	13.6	13.3	12.6	12.0	11.6	11.2	11.0
Rest Strasse	30.8	30.6	31.7	32.2	33.7	34.0	33.9	33.6	33.4	33.2	33.0
Total	241.3	241.4	243.0	237.5	232.9	222.3	210.3	200.2	194.5	190.5	187.8
Sensitivität S2 (PJ)											
PW	153.7	153.8	152.8	155.9	150.4	141.2	128.7	115.8	106.1	97.9	91.7
LNF	10.5	11.2	12.0	13.5	13.6	13.3	12.6	12.0	11.6	11.2	11.0
Rest Strasse	30.8	30.6	31.7	32.2	33.7	34.0	33.9	33.6	33.4	33.2	33.0
Total	241.3	241.4	243.0	237.5	233.4	223.8	210.9	197.1	187.1	178.7	172.6
Sensitivität S3 (PJ)											
PW	153.7	153.8	151.7	148.5	142.9	133.3	120.8	108.2	99.1	91.7	86.2
LNF	10.5	11.2	13.5	13.8	13.8	13.5	12.8	12.2	11.8	11.4	11.2
Rest Strasse	30.8	30.6	33.1	34.8	36.4	36.7	36.6	36.2	36.0	35.8	35.7
Total	241.3	241.4	244.9	232.9	228.8	218.8	205.8	192.3	182.9	175.3	169.9

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Die Entwicklung der fossilen CO₂-Emissionen in den Szenarien und den Sensitivitätsrechnungen sind in Abbildung 37 und Tabelle 12 zusammengestellt. Die Verhältnisse zwischen den Szenarien und Sensitivitätsrechnungen sind ähnlich wie beim Energieverbrauch oben. Die CO₂-Emissionen im Alternativszenario (S1) sind rund 28 % höher als im Hauptszenario, u.a. eine Folge des tieferen Elektromobilitätsanteils bei den PW im Alternativszenario (S1).

Abbildung 37: Fossile CO₂-Emissionen (TTW) des Verkehrs in EES 2020+, Alternativszenario S1, Sensitivitäten S2 und S3, 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂



Grafik INFRAS

Tabelle 12: Fossile CO₂-Emissionen (TTW) in EES 2020+ und Sensitivitätsrechnungen, 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂

Szenario/ Sensit.	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
EES 2020+	17.05	16.95	16.99	16.45	15.69	14.55	13.15	11.85	10.83	9.96	9.25
S1	17.05	16.95	16.99	16.45	15.81	14.92	13.90	13.05	12.52	12.12	11.83
S2	17.05	16.95	16.99	16.45	15.73	14.66	13.33	12.07	11.06	10.18	9.46
S3	17.05	16.95	17.13	16.12	15.40	14.31	12.98	11.76	10.80	9.98	9.32

Tabelle INFRAS

5.3. Hauptszenario EES 2020+ im Vergleich mit den Ergebnissen der Energieperspektiven 2050

Die Ergebnisse der neuen Berechnungen sollen mit den Resultaten der bisherigen Berechnungen aus den Energieperspektiven verglichen und die Abweichungen begründet werden.

Abbildung 38 zeigt die Entwicklung des Energieverbrauchs des Hauptszenarios EES 2020+ und vergleicht diese mit den Szenarien der Energieperspektiven. Bis 2050 liegt der Energieverbrauch des Verkehrs innerhalb des durch die Szenarien der Energieperspektiven WWB und NEP aufgespannten Spektrums. Der Energieverbrauch in EES 2020+ ist aber deutlich höher als in POM und liegt zeitweise (bis ca. 2030) über demjenigen von WWB. Augenfällig ist der gegenüber POM verzögerte Rückgang des Energieverbrauchs in EES 2020+. Erst nach 2015 ist der Energieverbrauch rückläufig und folgt dann ab ca. 2025 dem Verlauf von POM.

Im Gegensatz zum in dieser Studie entwickelten Hauptszenario, verfolgt NEP eine andere Zielsetzung: NEP entspricht einem Zielszenario, welches aufzeigen soll, wie der pro-Kopf Ausstoss der Treibhausgasemissionen auf 1-1.5 t CO₂/Kopf gesenkt werden kann. Dazu werden in NEP zusätzlich eine international abgestimmte CO₂-Effizienz und Reduktionspolitik sowie eine internationale Arbeitsteilung unterstellt. Die Ergebnisse von NEP sind daher nicht direkt mit den in der vorliegenden Studie entwickelten Szenarien vergleichbar und ist lediglich der Vollständigkeit halber hier aufgeführt.

Abbildung 38 zeigt auch die Auswirkungen der Neukalibration des Energieverbrauchs bis 2015. In den Energieperspektiven lagen bis 2010 statistische Grundlagen (Fahrleistungen, Verbrauchsabsenkraten, Flottenzusammensetzungen, Treibstoffabsätze, etc.) vor. Die unterschiedlichen Verläufe der Verbrauchskurven bis 2010 ist auf die neuen Annahmen zu den Ausnutzungsfaktoren auf der Basis der ICCT-Auswertungen zurückzuführen.

Die Ursache für den neu höheren Energieverbrauch in EES 2020+ liegt hauptsächlich in den aktualisierten Grundlagen der Modellierung des PW-Energieverbrauchs begründet, welcher mit rund 66 % Anteil am Energieverbrauch (2015) mit Abstand die grösste Verbrauchergruppe darstellt (analoge Feststellungen gelten auch für die übrigen Fahrzeugkategorien, namentlich die LNF, die aber geringere Anteile am Gesamtenergieverbrauch des Verkehrs ausmachen):

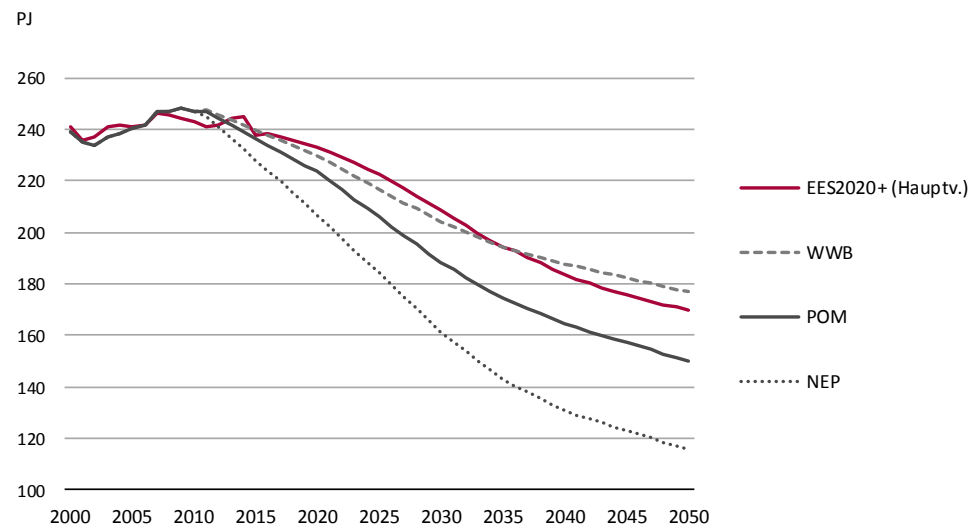
- Die einflussreichste Veränderung zu den bisherigen Arbeiten besteht in der aktualisierten Herleitung der jährlichen **Verbrauchs-Absenkraten** bis 2050. Diese wurden aus den neuen Annahmen zu den Elektromobilitätsanteilen und der Zielwert-Entwicklung (siehe Punkte unten) abgeleitet. Damit der 95 g-Zielwert von den Neu-PW im Jahr 2020 erreicht wird, mussten in POM entsprechend höhere NEFZ-Absenkraten unterstellt werden: Während in POM bis 2025 von Absenkraten bis - 4.5 %/J. ausgegangen wurde, wird in EES 2020+ von - 3.15 %/J. als realistisch erachtet. Mittlerweile hat sich aber gezeigt (z.B. im CO₂-Monitoring des BFE; BFE 2016d), dass der EU-Zielwert von 130 g CO₂/km für 2015 in der Schweiz

erst mit zwei- bis dreijähriger Verspätung erreicht werden dürfte. Auch für den 95 g-Zielwert wird dementsprechend damit gerechnet, dass er erst im Jahre 2023 erreicht wird. Nach 2025 bewegen sich dann die NEFZ-Absenkraten in EES 2020+ und POM wiederum in einer ähnlichen Grössenordnung.

- Ebenfalls wichtig für die Erklärung der Differenzen zu den Energieperspektiven-Szenarien sind die neuen Erkenntnisse bis 2015 zur Entwicklung der Diskrepanz zwischen NEFZ- und **Realverbrauch**. Demnach ist die Abweichung zwischen Realverbrauch und Typenprüfwert von rund 8 % im Jahr 2000 auf mittlerweile rund 40 % (2015) angewachsen. Das führt dazu, dass die jährlichen Absenkraten des Realverbrauchs wesentlich geringer ausfallen als die NEFZ-Entwicklung vermuten lassen würde. Zwischen 2012 und 2015 sind im Realbetrieb kaum Absenkungen zu beobachten gewesen (ICCT 2016a, BFE 2016d), was den Effizienzgewinn bei den PW deutlich verzögert gegenüber den in POM getroffenen Annahmen. Hinsichtlich der Fortschreibung dieser Diskrepanz bis 2050 sind die Unterschiede zwischen EES2020+ und POM dagegen gering (siehe Sensitivitätsrechnung S2 in Kapitel 5.2): Bei der Entwicklung der Realverbrauchsabweichungen in Zukunft wird nach wie vor von ähnlichen Annahmen ausgegangen.
- Weniger bedeutend sind die neuen Grundlagen zu den **PW-Fahrleistungen**, die im Hauptszenario rund 5 % tiefer sind als in POM. Dieser Effekt wurde allerdings im Rahmen des Abgleichs des modellierten Verbrauchs mit dem Treibstoffabsatz mit einer pauschalen Erhöhung des spezifischen Verbrauchs über die sog. Basiskorrektur ausgeglichen, um den Treibstoffabsatz erklären zu können («Ex-Post»-Abgleich, siehe Kapitel 3).
- Die **Elektromobilitätsanteile** bei den PW haben sich langsamer erhöht als in POM nach 2010 angenommen wurde. 2015 waren gemäss Eidgenössischem Motorfahrzeugregister MOFIS erst knapp 2 % der neu zugelassenen PW Elektrofahrzeuge, in POM wurde 2015 bereits mit einem Anteil von gut 3 % gerechnet. In der Folge wurden die Annahmen der Elektromobilitätsanteile in der vorliegenden Studie nach unten angepasst: 2025 beträgt der Elektromobilitätsanteil in EES 2020+ rund 16 % der Neufahrzeuge, in POM ging man noch von einem Anteil von 22 % aus. Bis 2050 wird in EES 2020+ dann mit vergleichbar hohen Elektromobilitätsanteilen an den Neu-PW ausgegangen (EES 2020+: 65 %, POM: 68 %).

Diese aktualisierten Grundlagen und Annahmen führen zu einer Verzögerung der Verbrauchsabnahme, so dass 2050 der Energieverbrauch im neuen Hauptszenario EES 2020+ rund 13 % höher liegt als bisher in POM ausgewiesen.

Abbildung 38: Energieverbrauch im Hauptszenario EES 2020+ im Vergleich mit den Szenarien der Energieperspektiven WWB, POM und NEP, in PJ



Abgeschnittene Skala der Y-Achse beachten

Grafik INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, Prognos 2012

6. Fazit

Aus den vorangegangenen Ausführungen zu den Modellierungen des Energieverbrauchs des Verkehrs 1990-2050 lassen sich folgende, zentrale Erkenntnisse zusammenfassen:

- Das in vorliegender Pilotstudie berechnete Hauptszenario «EES 2020+» und die darauf aufbauenden Szenarien und Sensitivitätsberechnungen stützen sich auf die heute **aktuellen, verfügbaren Grundlagen ab 1990 bis zum Basisjahr 2015**. Für den Strassenverkehr sind dies die statistischen Zeitreihen zu den Fahrleistungen des BFS, den Flottenzusammensetzungen aus dem Motorfahrzeugregister des ASTRA und der Effizienzentwicklung bzw. den spezifischen CO₂-Emissionen der PW und LNF aus dem Monitoring des BFE sowie den weiteren Fahrzeugkategorien. Für die übrigen Teile des Verkehrs (Non-Road und Tanktourismus) wird auf die entsprechenden Arbeiten aus den Ex-Post-Analysen des Energieverbrauchs des BFE bzw. das Non-Road-Inventar des BAFU abgestützt. Ausserdem werden die Biotreibstoffanteile verwendet, die von der EZV bzw. vom BFE veröffentlicht werden. Diese Eingangsdaten werden verwendet, um in einem ersten Schritt die **Modelle neu zu kalibrieren** und damit den Abgleich zwischen den Bottom-up modellierten Verbräuchen und den offiziellen Treibstoff- bzw. Energieabsatzdaten zu vollziehen.
- Anschliessend werden Annahmen zur Entwicklung in der Zukunft getroffen. Naturgemäss sind diese Annahmen mit Unsicherheiten behaftet. Wichtig ist daher der Erarbeitungs- und Abstimmungsprozess der Szenarienannahmen in der breit abgestützten **Begleitgruppe**, worin sämtliche massgebenden Bundesstellen (BAFU, BFE, ASTRA, ARE, BFS) vertreten waren.
- Die Annahmen zum Hauptszenario berücksichtigen die **heute beschlossenen Massnahmen** und die aus heutiger Sicht wahrscheinlichen Entwicklungen bis zum Jahr 2050. Zentrale Massnahme für die Modellierung des Energieverbrauchs des Strassenverkehrs sind dabei die Entwicklungen der CO₂-Zielwerte für die PW und LNF. Im Hauptszenario wird angenommen, dass diese sich in der Schweiz in Anlehnung an die Zielwerte der EU entwickeln – allerdings mit leichter Verspätung gegenüber der EU.
- Ein weiteres wichtiges Element der vorliegenden Studie ist der Vergleich der Annahmen und der Ergebnisse mit den Resultaten der **Energieperspektiven 2050** des Bundes aus dem Jahr 2012 (mit dem Basisjahr 2010). Die vorliegenden Modellierungen zeigen, dass der Energieverbrauch des Verkehrs höher ausfallen dürfte als im Szenario POM der Energieperspektiven angenommen wurde. Hauptursache für den erhöhten Energieverbrauch sind die Entwicklungen des realen Verbrauchs (hier abgebildet mittels Annahmen zur Entwicklung von Absenkraten und Ausnutzungsfaktoren) der PW, der bis 2015 weniger stark abgenommen hat als in den Energieperspektiven angenommen wurde. Die heute dokumentierte Verzögerung der CO₂-Zielwertabsenkungen gegenüber der EU (ca. 2-3 Jahre) führt mittelfristig ebenfalls

zu einer langsameren Absenkung des Verbrauchs bei den PW und LNF als noch in POM angenommen wurde. Schliesslich wird heute davon ausgegangen, dass sich die Elektromobilität gegenüber POM weniger schnell im Fahrzeugbestand ausbreitet, namentlich gilt dies wiederum für die PW und die LNF.

- Das Ergebnis der Pilotstudie – entlang der Zielsetzungen – ist ein aktualisiertes, auf den neuesten Erkenntnissen beruhendes **Szenario** für den Treibstoffverbrauch und die Treibhausgasemissionen des Verkehrs.

Glossar

AB	Autobahn
ao	ausserorts
ARE	Bundesamt für Raumentwicklung
ASTRA	Bundesamt für Strassen
BAFU	Bundesamt für Umwelt
BAV	Bundesamt für Verkehr
BEV	Batterie-elektrische Fahrzeuge
BFE	Bundesamt für Energie
BFS	Bundesamt für Statistik
BZ	Brennstoffzelle
DTV	Durchschnittlicher täglicher Verkehr
EMPA	Eidgenössische Materialprüfungsanstalt
EZV	Eidgenössische Zollverwaltung
Fahrzeugschicht	Gliederung durch Fahrzeugkategorie/Technologie/Grössenklasse/EURO-Stufe o. Alter
Fahrzeugsegment	Gliederung durch Fahrzeugkategorie/Technologie/Grössenklasse
GPS	Global Positioning System
HBEFA	Handbuch für Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs
ICCT	International Council on Clean Transportation
io	innerorts
JRC	Joint Research Centre der Europäischen Kommission
LBus	Linienbus (ÖV)
LEV	Low Emission Vehicle (BEV, PHEV)
LNf	Leichte Nutzfahrzeuge (<= 3.5t zulässiges Gesamtgewicht)
LOS	«Level of Service», Verkehrsqualitätsstufe
LSVA	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
MOFIS	Eidgenössisches Motorfahrzeugregister (ASTRA)
MR	Motorräder
MZMV	Mikrozensus Mobilität und Verkehr
NEFZ	Neuer Europäischer Fahrzyklus (Zyklus für die Typenprüfung)
NEP	Szenario «Neue Energiepolitik» (Kontext Energieperspektiven des Bun des 2050)
NPVM	Nationales Personenverkehrsmodell
PC	passenger cars (=PW)

PEMS	Portable Emissions Measurement System
PHEV	Plug-in-Hybridfahrzeuge
POM	Szenario «Politische Massnahmen» (Kontext Energieperspektiven des Bundes 2050)
PW	Personenwagen
RBus	Reisebus (Car)
Rigid Truck	Solo-LKW
RW	Real-world
SASVZ	Schweizerische automatische Strassenverkehrszählung
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge (> 3.5t zulässiges Gesamtgewicht)
SZ, LZ	Sattelzug, Lastzug (SNF)
TTW	«tank-to-wheel», auf den Betrieb bezogen
TT/AT	Truck and Trailer/Articulated Truck (Lasten-/Sattelzug)
UBA	Umweltbundesamt (Deutschland)
WLTP	Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Procedure
WLTC	Worldwide Harmonized Light-Duty Vehicles Test Cycle
WTW	«well-to-wheel», auf den Betrieb und die Herstellung der Treibstoffe bezogen
WWB	Szenario «Weiter Wie Bisher» (Kontext Energieperspektiven des Bundes 2050)

Annex

Flottenzusammensetzungen (Neuwagen, Bestand, Fahrleistungsanteile)

Hauptszenario EES 2020+

Tabelle 13: Flottenzusammensetzung PW, LNF, SNF, Busse und MR in EES 2020+, 2000-2050

Personenwagen (PW)

Neufahrzeuge											
Segment	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Benzin	90%	71%	69%	59%	55%	49%	41%	34%	28%	23%	19%
Diesel	10%	29%	30%	39%	37%	33%	27%	23%	19%	16%	13%
Elektro (BEV, PHEV)	0%	0%	0%	2%	8%	16%	30%	39%	45%	51%	55%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	2%	5%	7%	10%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	0%	0%	1%	2%	3%	3%	3%	3%	3%
Bestand (Fahrzeuge)											
Benzin	96%	90%	81%	72%	66%	61%	55%	49%	42%	36%	30%
Diesel	4%	10%	18%	27%	32%	33%	32%	30%	26%	22%	19%
Elektro (BEV, PHEV)	0%	0%	0%	0%	2%	5%	11%	20%	29%	37%	44%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	3%	5%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%	2%	3%	3%
Bestand (Fzkm)											
Benzin	92%	83%	71%	59%	52%	47%	43%	38%	34%	30%	26%
Diesel	8%	17%	29%	41%	46%	48%	47%	44%	39%	34%	30%
Elektro-Fzge (BEV, PHEV)	0%	0%	0%	0%	1%	4%	9%	16%	24%	31%	37%
Elektro mit E-Antrieb zurückgelegt	0%	0%	0%	0%	1%	3%	6%	11%	16%	21%	25%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	3%	5%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%	2%	2%	3%

Lieferwagen (LNF)

Neufahrzeuge											
Segment	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Benzin	33%	16%	14%	10%	10%	9%	9%	8%	7%	7%	6%
Diesel	67%	85%	85%	89%	87%	85%	80%	73%	67%	60%	55%
Elektro (BEV)	0%	0%	0%	1%	2%	4%	8%	13%	18%	23%	28%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%	5%	7%	8%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	1%	0%	1%	2%	3%	3%	3%	3%	3%
Bestand (Fahrzeuge)											
Benzin	62%	44%	29%	19%	15%	13%	11%	10%	9%	7%	7%
Diesel	38%	56%	70%	80%	84%	86%	86%	84%	80%	76%	71%
Elektro (BEV)	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.3%	1.0%	2.3%	4.7%	7.8%	11.6%	15.7%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	3%	4%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	1%	1%	0%	1%	1%	2%	2%	2%	2%
Bestand (Fzkm)											
Benzin	52%	35%	21%	13%	10%	9%	7%	6%	6%	5%	5%
Diesel	48%	65%	78%	86%	89%	90%	90%	89%	86%	83%	79%
Elektro (BEV)	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	3%	5%	8%	11%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	3%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	1%	0%	0%	0%	1%	1%	1%	2%	2%

Schwere Nutzfahrzeuge (SNF)

Segment	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bestand (Fahrzeuge)											
Diesel	100%	100%	100%	100%	99%	98%	97%	96%	95%	94%	93%
Elektro (BEV, PHEV)	0%	0%	0%	0%	0%	2%	3%	3%	4%	4%	4%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	0%	0%	0%
Bestand (Fzkm)											
Diesel	100%	100%	100%	100%	100%	99%	98%	97%	96%	95%	94%
Elektro (BEV, PHEV)	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	2%	3%	3%	3%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	3%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Busse (LBus)

Segment	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bestand (Fahrzeuge)											
Diesel	100%	100%	96%	96%	98%	98%	98%	97%	96%	93%	90%
Elektro (BEV, PHEV)	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%	3%	4%	5%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	3%	4%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	4%	3%	2%	1%	1%	0%	0%	0%	0%
Bestand (Fzkm)											
Diesel	100%	100%	96%	96%	97%	98%	98%	98%	96%	94%	91%
Elektro (BEV, PHEV)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	3%	4%	5%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	3%	4%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	4%	3%	2%	1%	1%	0%	0%	0%	0%

Motorräder (MR)

Segment	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bestand (Fahrzeuge)											
Benzin	99%	97%	91%	86%	89%	93%	93%	93%	92%	91%	90%
Elektro (inkl. eBike, eScooter)	1%	3%	9%	14%	11%	7%	7%	7%	8%	9%	10%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Bestand (Fzkm)											
Benzin	100%	99%	97%	95%	96%	97%	97%	97%	96%	96%	95%
Elektro (inkl. eBike, eScooter)	0%	1%	3%	5%	4%	3%	3%	3%	4%	4%	5%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%

Alternativszenario (S1)

Tabelle 14: Flottenzusammensetzung PW im Alternativszenario (S1), 2000-2050

Personenwagen (PW)

Neufahrzeuge											
Segment	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Benzin	90%	71%	69%	59%	55%	49%	46%	44%	43%	43%	42%
Diesel	10%	29%	30%	39%	37%	33%	31%	30%	29%	29%	28%
Elektro (BEV, PHEV)	0%	0%	0%	2%	8%	16%	21%	22%	22%	21%	20%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	3%	5%	7%
Elektro BEV, PHEV, BZ	0%	0%	0%	2%	8%	16%	21%	23%	25%	26%	27%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	0%	0%	1%	2%	3%	3%	3%	3%	3%
Bestand (Fahrzeuge)											
Benzin	96%	90%	81%	72%	66%	61%	56%	52%	48%	46%	45%
Diesel	4%	10%	18%	27%	32%	33%	33%	31%	30%	29%	28%
Elektro (BEV, PHEV)	0%	0%	0%	0%	2%	5%	10%	15%	19%	21%	21%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	3%
Elektro BEV, PHEV, BZ	0%	0%	0%	0%	2%	5%	10%	15%	19%	22%	24%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%	2%	3%	3%
Bestand (Fzkm)											
Benzin	92%	83%	71%	59%	52%	47%	43%	40%	38%	37%	36%
Diesel	8%	17%	29%	41%	46%	48%	48%	46%	43%	42%	41%
Elektro-Fzge (BEV, PHEV)	0%	0%	0%	0%	1%	4%	8%	12%	15%	17%	18%
Elektro mit E-Antrieb zurückgelegt	0%	0%	0%	0%	1%	3%	5%	8%	10%	12%	12%
Brennstoffzelle	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	2%	3%
Elektro BEV, PHEV, BZ	0%	0%	0%	0%	1%	3%	5%	8%	11%	13%	15%
übrige (CNG, etc.)	0%	0%	0%	0%	0%	1%	1%	2%	2%	2%	3%

Herleitung der Anteile der Verkehrssituationen

Tabelle 15: Aufsplittung der NPVM-Fahrzeugkategorien in die HBEFA-Fahrzeugkategorien basierend auf der Schweizerischen automatischen Strassenverkehrszählung (SASVZ) des ASTRA des Jahres 2015.

Strassentyp	FzKat NPVM	FzKat HBEFA	Faktor
Autobahn/Autostrasse	PW	PW	0.98
	PW	Motorrad	0.02
	Lieferwagen	Lieferwagen	1.00
	SNF	Reisebus	0.03
	SNF	Linienbus	-
	SNF	SGF	0.97
Restliche Strassen	PW	PW	0.97
	PW	Motorrad	0.03
	Lieferwagen	Lieferwagen	1.00
	SGF	Reisebus	0.03
	SGF	Linienbus	0.13
	SGF	SGF	0.84

Tabelle INFRAS. Lesebeispiel: Auf einem Autobahn-Link werden 98% des im NPVM modellierten durchschnittlichen täglichen Verkehrs (DTV) der PW in HBEFA den PW zugeordnet, 2% werden den Motorrädern zugeordnet.

Tabelle 16: Zuordnung der NPVM-Strassentypen zu HBEFA-Strassentypen.

Strassentyp NPVM (aggregiert)	HBEFA-Strassentyp
CH-Grenzstrecke	Distributor/Secondary
CH-Autobahn	Motorway-Nat.
CH-Autostrasse	TrunkRoad/Primary-Nat.
CH-Hauptverkehrsstrasse	Distributor/Secondary
CH-Verbindungsstrasse	Distributor/Secondary
CH-Sammelstrasse	Local/Collector
CH-Erschliessungsstrasse	Local/Collector
CH-div	Distributor/Secondary

Tabelle INFRAS.

Tabelle 17: Verwendete α -Schwellenwerte für die Zuweisung der LOS-Klassen nach dem Kapazitätsansatz auf Autobahnen und anderen Strassen mit Höchstgeschwindigkeit ≥ 70 km/h (s. auch INFRAS 2015).

Strassentyp NPVM (aggregiert)	α -Schwellenwert zwischen LOS		
	Freeflow-Heavy	Heavy-Saturated	Saturated-Stop+Go
CH-Grenzstrecke	66%	78%	95%
CH-Autobahn	66%	78%	95%
CH-Autostrasse	66%	78%	95%
CH-Hauptverkehrsstrasse ≥ 70 km/h	25%	50%	85%
CH-Verbindungsstrasse ≥ 70 km/h	25%	50%	85%
CH-Sammelstrasse ≥ 70 km/h	10%	25%	50%
CH-Erschliessungsstrasse ≥ 70 km/h	10%	25%	50%

Tabelle INFRAS.

Tabelle 18: Fixe Anteile der Level of Service (LOS) auf Nicht-Autobahnen mit Höchstgeschwindigkeit < 70 km/h (s. auch INFRAS 2015).

Umgebungs- typ	HBEFA Roadtype	Höchstgeschwindigkeit [km/h]	Level of Service-Anteil [%]			
			Freeflow	Heavy	Saturated	Stop+Go
Ländlich	Distributor/Secondary	50	13%	18%	29%	39%
		60	49%	32%	14%	5%
		70	32%	53%	12%	3%
		80	32%	53%	12%	3%
	Local/Collector	50	13%	21%	41%	24%
		60	13%	21%	41%	24%
		70	32%	53%	12%	3%
	Access-residential	30	14%	19%	31%	36%
		40	25%	40%	15%	21%
		50	8%	12%	25%	56%
Städtisch/ Agglo	Distributor/Secondary	50	18%	18%	37%	27%
		60	62%	24%	10%	4%
		70	71%	26%	3%	1%
		80	61%	31%	7%	1%
	Local/Collector	50	15%	26%	36%	23%
		60	56%	24%	15%	4%
		70	61%	31%	7%	1%
	Access-residential	30	14%	19%	31%	36%
		40	25%	40%	15%	21%
		50	6%	14%	29%	51%

Tabelle INFRAS.

Fahrleistungen nach Fahrzeugkategorie

Tabelle 19: Fahrleistungen Hauptszenario «EES 2020+», Alternativszenario (S1), Sensitivität 2 (S2), in Mio. Fzkm

Fzgat	1990	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PW	42'649	45'613	50'949	55'114	56'618	58'628	60'471	62'032	62'810	63'340	63'724
LNF	2'600	2'957	3'502	4'129	4'359	4'652	4'945	5'229	5'514	5'738	5'941
SNF	1'992	2'273	2'226	2'235	2'357	2'458	2'559	2'665	2'772	2'856	2'934
Rbus	108	99	118	131	135	139	144	147	149	151	151
Lbus	174	200	244	272	305	322	340	354	365	371	376
MR	2'025	1'700	1'852	2'027	2'082	2'156	2'224	2'281	2'310	2'329	2'344
Total	49'548	52'841	58'891	63'908	65'856	68'355	70'682	72'710	73'920	74'785	75'470

Tabelle 20: Indexierte Fahrleistungen (2015=100%) Hauptszenario «EES 2020+», Alternativszenario (S1), Sensitivität 2 (S2)

Fzgat	1990	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PW	77%	83%	92%	100%	103%	106%	110%	113%	114%	115%	116%
LNF	63%	72%	85%	100%	106%	113%	120%	127%	134%	139%	144%
SNF	89%	102%	100%	100%	105%	110%	114%	119%	124%	128%	131%
Rbus	82%	76%	90%	100%	103%	106%	110%	113%	114%	115%	116%
Lbus	64%	73%	90%	100%	112%	118%	125%	130%	134%	136%	138%
MR	100%	84%	91%	100%	103%	106%	110%	113%	114%	115%	116%
Total	78%	83%	92%	100%	103%	107%	111%	114%	116%	117%	118%

Tabelle 21: Jährliche Wachstumsraten (CAGR) Hauptszenario «EES 2020+», Alternativszenario (S1), Sensitivität 2 (S2)

Fzgat	2015-2020	2020-2025	2025-2030	2030-2035	2035-2040	2040-2045	2045-2050	2030-2015	2040-2015	2050-2015
PW	0.54%	0.70%	0.62%	0.51%	0.25%	0.17%	0.12%	0.62%	0.52%	0.42%
LNF	1.09%	1.31%	1.23%	1.13%	1.07%	0.80%	0.70%	1.21%	1.16%	1.04%
SNF	1.07%	0.84%	0.81%	0.82%	0.79%	0.60%	0.54%	0.91%	0.87%	0.78%
Rbus	0.54%	0.70%	0.62%	0.51%	0.25%	0.17%	0.12%	0.62%	0.52%	0.42%
Lbus	2.27%	1.13%	1.05%	0.85%	0.57%	0.34%	0.26%	1.48%	1.17%	0.92%
MR	0.54%	0.70%	0.62%	0.51%	0.25%	0.17%	0.12%	0.62%	0.52%	0.42%
Total	0.60%	0.75%	0.67%	0.57%	0.33%	0.23%	0.18%	0.67%	0.58%	0.48%

Tabelle 22: Fahrleistungen Sensitivität 3 (S3), in Mio. Fzkm

Fzgat	1990	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PW	42'649	45'613	50'580	52'406	53'837	55'747	57'500	58'984	59'724	60'228	60'593
LNF	2'600	2'957	3'964	4'198	4'432	4'729	5'027	5'317	5'606	5'834	6'040
SNF	1'992	2'273	2'348	2'471	2'610	2'722	2'835	2'956	3'079	3'176	3'266
Rbus	108	99	125	145	149	154	159	164	166	167	169
Lbus	174	200	244	272	305	322	340	354	365	371	376
MR	2'025	1'700	1'839	1'927	1'980	2'050	2'115	2'169	2'196	2'215	2'228
Total	49'548	52'841	59'099	61'419	63'312	65'726	67'976	69'944	71'136	71'991	72'672

Tabelle 23: Indexierte Fahrleistungen (2015=100%) Sensitivität 3 (S3)

Fzgat	1990	2000	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PW	81%	87%	97%	100%	103%	106%	110%	113%	114%	115%	116%
LNF	62%	70%	94%	100%	106%	113%	120%	127%	134%	139%	144%
SNF	81%	92%	95%	100%	106%	110%	115%	120%	125%	129%	132%
Rbus	75%	68%	86%	100%	103%	107%	110%	113%	114%	116%	116%
Lbus	64%	73%	90%	100%	112%	118%	125%	130%	134%	136%	138%
MR	105%	88%	95%	100%	103%	106%	110%	113%	114%	115%	116%
Total	81%	86%	96%	100%	103%	107%	111%	114%	116%	117%	118%

Tabelle 24: Jährliche Wachstumsraten (CAGR) Sensitivität 3 (S3)

Fzgat	2015- 2020	2020- 2025	2025- 2030	2030- 2035	2035- 2040	2040- 2045	2045- 2050	2030- 2015	2040- 2015	2050- 2015
PW	0.54%	0.70%	0.62%	0.51%	0.25%	0.17%	0.12%	0.62%	0.52%	0.42%
LNF	1.09%	1.31%	1.23%	1.13%	1.07%	0.80%	0.70%	1.21%	1.16%	1.04%
SNF	1.10%	0.85%	0.82%	0.84%	0.82%	0.62%	0.56%	0.92%	0.88%	0.80%
Rbus	0.57%	0.71%	0.63%	0.53%	0.28%	0.19%	0.14%	0.64%	0.54%	0.43%
Lbus	2.27%	1.13%	1.05%	0.85%	0.57%	0.34%	0.26%	1.48%	1.17%	0.92%
MR	0.54%	0.70%	0.62%	0.51%	0.25%	0.17%	0.12%	0.62%	0.52%	0.42%
Total	0.61%	0.75%	0.68%	0.57%	0.34%	0.24%	0.19%	0.68%	0.59%	0.48%

Fahrzeugbestand, Starts und Stopps nach Fahrzeugkategorie

Tabelle 25: Fahrzeugbestand, Starts und Stopps für alle Szenarien und Sensitivitäten

Fzg- kat	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Bestand (in 1000 Fzge)													
PW	2'985	3'229	3'545	3'861	4'076	4'458	4'689	4'824	4'893	4'918	4'928	4'947	4'963
LNF	221	238	260	291	326	394	405	413	424	433	441	446	449
SNF	55	53	51	53	52	53	57	59	60	60	61	61	61
Rbus	2	2	2	2	3	3	3	2	2	2	2	2	2
Lbus	4	4	4	5	5	6	6	6	6	6	7	7	7
MR	764	688	713	748	791	870	889	909	928	946	959	965	971
Starts/Stopps pro Fahrzeug u. Tag													
PW	2.61	2.53	2.46	2.40	2.34	2.32	2.28	2.30	2.28	2.25	2.25	2.25	2.25
LNF	1.97	1.97	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96	1.96
MR	1.59	1.54	1.50	1.54	1.57	1.58	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59	1.59
Mio. Starts/Stopps pro Jahr													
PW	2'840	2'987	3'187	3'383	3'477	3'780	3'909	4'041	4'072	4'039	4'047	4'063	4'076
LNF	159	171	186	208	233	282	289	295	303	310	315	319	321
MR	443	387	390	420	453	502	516	528	538	549	557	560	563

Tabelle INFRAS. Quelle: MOFIS, Mikrozensus Verkehr (MZMV), eigene Berechnungen

Treibstoffeigenschaften (Energie-, CO₂-Inhalt, Dichte)

Tabelle 26: Treibstoff-Eigenschaften (Betrieb, TTW; ohne Energieproduktion und -transport)

Treibstoff	Heizwert [MJ/kg]	Dichte [kg/L], [t/m ³]	Total* CO ₂		Fossiles CO ₂	
			[kg/kg]	[t/TJ]	[kg/kg]	[t/TJ]
Benzin	42.6	0.737	3.15	73.8	3.15	73.8
Diesel	43.0	0.830	3.15	73.3	3.15	73.3
Flugpetrol, Flugtreibstoffe	43.2	0.799	3.14	72.8	3.14	72.8
Biogas	45.7	0.000795	2.58	56.4	0	0
Biodiesel	38.0	0.860	3.15	83.0	0	0
Bio-Ethanol	26.5	0.794	3.15	118.5	0	0
Flüssiggas (LPG)	46.0	0.540	3.01	65.5	3.01	65.5
Erdgas (CNG)	45.7	0.000795	2.58	56.4	2.58	56.4
Wasserstoff	117.0	0.000090	0	0	0	0
Elektrizität	-	-	0	0	0	0
Heizöl EL	42.9	0.839	3.16	73.7	3.16	73.7

* Total CO₂: Fossiles und biogenes CO₂

Tabelle INFRAS. Quellen: BAFU 2016, BFE 2016a

Ergebnis Energieverbrauch Alternativszenario 1 (S1) und Sensitivitäten (S2, S3)

Alternativszenario (S1)

Tabelle 27: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Verwendungszwecken in Alternativszenario (S1); 2000 – 2050, in PJ

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Absolut in PJ											
PW	153.7	153.8	152.8	155.9	150.0	139.9	128.7	119.8	114.7	111.1	108.6
LNF	10.5	11.2	12.0	13.5	13.6	13.3	12.6	12.0	11.6	11.2	11.0
MR	2.1	2.4	2.4	2.7	2.8	2.9	3.0	3.0	3.0	3.1	3.1
SNF	24.3	23.5	24.4	24.2	25.0	24.8	24.4	23.8	23.4	23.2	23.1
RBus (Car)	1.2	1.2	1.4	1.4	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8
LBus (ÖV)	3.1	3.5	3.6	3.9	4.4	4.6	4.9	5.1	5.1	5.1	5.1
Tankt.	16.1	15.2	14.7	4.0	2.2	1.2	0.6	0.4	0.3	0.3	0.2
Non-road	30.2	30.6	31.8	31.9	33.4	34.0	34.5	34.4	34.6	34.7	35.0
Total	241.3	241.4	243.0	237.5	232.9	222.3	210.3	200.2	194.5	190.5	187.8
Anteil am Total											
PW	63.7%	63.7%	62.9%	65.6%	64.4%	62.9%	61.2%	59.8%	59.0%	58.3%	57.8%
LNF	4.3%	4.6%	4.9%	5.7%	5.8%	6.0%	6.0%	6.0%	6.0%	5.9%	5.9%
MR	0.9%	1.0%	1.0%	1.1%	1.2%	1.3%	1.4%	1.5%	1.6%	1.6%	1.6%
SNF	10.1%	9.7%	10.0%	10.2%	10.7%	11.2%	11.6%	11.9%	12.0%	12.2%	12.3%
RBus (Car)	0.5%	0.5%	0.6%	0.6%	0.7%	0.7%	0.8%	0.9%	0.9%	0.9%	0.9%
LBus (ÖV)	1.3%	1.4%	1.5%	1.7%	1.9%	2.1%	2.3%	2.5%	2.6%	2.7%	2.7%
Tankt.	6.7%	6.3%	6.0%	1.7%	1.0%	0.5%	0.3%	0.2%	0.2%	0.1%	0.1%
Non-road	12.5%	12.7%	13.1%	13.4%	14.3%	15.3%	16.4%	17.2%	17.8%	18.2%	18.6%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Non-road gemäss Definition in Tabelle 2

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 28: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Energieträger in Alternativszenario (S1) 2020+, 2000 – 2050, in PJ

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Absolut in PJ											
Benzin	170.7	151.3	131.0	107.2	91.0	79.3	70.5	64.8	62.3	59.9	58.1
Diesel	56.3	75.2	96.0	112.5	120.0	119.6	114.4	108.4	103.5	100.4	98.3
Flugtreib- stoffe	4.4	3.3	3.3	3.5	3.6	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3
Flüssige Biotreibst.	0.1	0.2	0.4	2.1	4.1	4.0	3.8	3.5	3.4	3.3	3.2
Flüssiggas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Erdgas als Treibst.	0.2	0.2	0.6	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.6	1.6
Biogas als Treibst.	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5
Wasser- stoff	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.5	1.1	1.8
Elektrizität	9.5	10.7	11.4	11.4	13.3	14.9	16.9	18.3	19.4	20.3	20.8
Heizöl EL	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Total	241.3	241.4	243.0	237.5	232.9	222.3	210.3	200.2	194.5	190.5	187.8
Anteil am Total											
Benzin	70.7%	62.7%	53.9%	45.1%	39.1%	35.7%	33.5%	32.4%	32.0%	31.4%	30.9%
Diesel	23.3%	31.2%	39.5%	47.4%	51.5%	53.8%	54.4%	54.1%	53.2%	52.7%	52.3%
Flugtreib- stoffe	1.8%	1.4%	1.4%	1.5%	1.5%	1.6%	1.7%	1.7%	1.7%	1.8%	1.8%
Flüssige Biotreibst.	0.0%	0.1%	0.1%	0.9%	1.8%	1.8%	1.8%	1.8%	1.7%	1.7%	1.7%
Flüssiggas	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Erdgas als Treibst.	0.1%	0.1%	0.3%	0.2%	0.2%	0.3%	0.4%	0.6%	0.8%	0.8%	0.9%
Biogas als Treibst.	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.3%	0.3%	0.3%
Wasser- stoff	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.2%	0.6%	1.0%
Elektrizität	3.9%	4.4%	4.7%	4.8%	5.7%	6.7%	8.0%	9.1%	10.0%	10.6%	11.1%
Heizöl EL	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Sensitivität 2

Tabelle 29: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Verwendungszwecken in Sensitivität 2 (S2), 2000 – 2050, in PJ

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Absolut in PJ											
PW	153.7	153.8	152.8	155.9	150.4	141.2	128.7	115.8	106.1	97.9	91.7
LNF	10.5	11.2	12.0	13.5	13.6	13.3	12.6	12.0	11.6	11.2	11.0
MR	2.1	2.4	2.4	2.7	2.8	2.9	3.0	3.0	3.0	3.1	3.1
SNF	24.3	23.5	24.4	24.2	25.0	24.8	24.4	23.8	23.4	23.2	23.1
RBus (Car)	1.2	1.2	1.4	1.4	1.6	1.6	1.7	1.7	1.8	1.8	1.8
LBus (ÖV)	3.1	3.5	3.6	3.9	4.4	4.6	4.9	5.1	5.1	5.1	5.1
Tankt.	16.1	15.2	14.7	4.0	2.3	1.4	1.1	1.2	1.5	1.7	1.8
Non-road	30.2	30.6	31.8	31.9	33.4	34.0	34.5	34.4	34.6	34.7	35.0
Total	241.3	241.4	243.0	237.5	233.4	223.8	210.9	197.1	187.1	178.7	172.6
Anteil am Total											
PW	63.7%	63.7%	62.9%	65.6%	64.4%	63.1%	61.0%	58.8%	56.7%	54.8%	53.2%
LNF	4.3%	4.6%	4.9%	5.7%	5.8%	5.9%	6.0%	6.1%	6.2%	6.3%	6.4%
MR	0.9%	1.0%	1.0%	1.1%	1.2%	1.3%	1.4%	1.5%	1.6%	1.7%	1.8%
SNF	10.1%	9.7%	10.0%	10.2%	10.7%	11.1%	11.6%	12.1%	12.5%	13.0%	13.4%
RBus (Car)	0.5%	0.5%	0.6%	0.6%	0.7%	0.7%	0.8%	0.9%	0.9%	1.0%	1.0%
LBus (ÖV)	1.3%	1.4%	1.5%	1.7%	1.9%	2.1%	2.3%	2.6%	2.7%	2.9%	3.0%
Tankt.	6.7%	6.3%	6.0%	1.7%	1.0%	0.6%	0.5%	0.6%	0.8%	1.0%	1.1%
Non-road	12.5%	12.7%	13.1%	13.4%	14.3%	15.2%	16.4%	17.5%	18.5%	19.4%	20.3%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Non-road gemäss Definition in Tabelle 2

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 30: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Energieträger in Sensitivität 2 (S2), 2000 – 2050, in PJ

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Absolut in PJ											
Benzin	170.7	151.3	131.0	107.2	91.2	78.9	69.1	61.9	57.6	53.4	50.1
Diesel	56.3	75.2	96.0	112.5	118.8	116.3	107.9	97.9	88.3	80.4	73.9
Flugtreib- stoffe	4.4	3.3	3.3	3.5	3.6	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3
Flüssige Biotreibst.	0.1	0.2	0.4	2.1	5.8	9.1	11.8	12.4	12.9	12.9	13.0
Flüssiggas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Erdgas als Treibst.	0.2	0.2	0.6	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.7	1.7
Biogas als Treibst.	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.6
Wasser- stoff	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	1.5	2.6
Elektrizität	9.5	10.7	11.4	11.4	13.3	14.9	17.2	19.7	22.2	24.8	27.2
Heizöl EL	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Total	241.3	241.4	243.0	237.5	233.4	223.8	210.9	197.1	187.1	178.7	172.6
Anteil am Total											
Benzin	70.7%	62.7%	53.9%	45.1%	39.1%	35.3%	32.7%	31.4%	30.8%	29.9%	29.0%
Diesel	23.3%	31.2%	39.5%	47.4%	50.9%	52.0%	51.2%	49.7%	47.2%	45.0%	42.8%
Flugtreib- stoffe	1.8%	1.4%	1.4%	1.5%	1.5%	1.6%	1.7%	1.7%	1.8%	1.9%	1.9%
Flüssige Biotreibst.	0.0%	0.1%	0.1%	0.9%	2.5%	4.1%	5.6%	6.3%	6.9%	7.2%	7.5%
Flüssiggas	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Erdgas als Treibst.	0.1%	0.1%	0.3%	0.2%	0.2%	0.3%	0.4%	0.6%	0.8%	0.9%	1.0%
Biogas als Treibst.	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.3%	0.3%	0.3%
Wasser- stoff	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.4%	0.9%	1.5%
Elektrizität	3.9%	4.4%	4.7%	4.8%	5.7%	6.6%	8.2%	10.0%	11.9%	13.9%	15.8%
Heizöl EL	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Sensitivität 3

Tabelle 31: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Verwendungszwecken in Sensitivität 3 (S3), 2000 – 2050, in PJ

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Absolut in PJ											
PW	153.7	153.8	151.7	148.5	142.9	133.3	120.8	108.2	99.1	91.7	86.2
LNF	10.5	11.2	13.5	13.8	13.8	13.5	12.8	12.2	11.8	11.4	11.2
MR	2.1	2.4	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	2.9	2.9	2.9
SNF	24.3	23.5	25.7	26.8	27.6	27.5	27.0	26.4	26.0	25.8	25.7
RBus (Car)	1.2	1.2	1.5	1.6	1.8	1.8	1.9	1.9	2.0	2.0	2.0
LBus (ÖV)	3.1	3.5	3.6	3.9	4.4	4.6	4.9	5.1	5.1	5.1	5.1
Tankt.	16.1	15.2	14.7	4.0	2.3	1.4	1.1	1.2	1.5	1.7	1.8
Non-road	30.2	30.6	31.8	31.9	33.4	34.0	34.5	34.4	34.6	34.7	35.0
Total	241.3	241.4	244.9	232.9	228.8	218.8	205.8	192.3	182.9	175.3	169.9
Anteil am Total											
PW	63.7%	63.7%	62.0%	63.7%	62.4%	60.9%	58.7%	56.3%	54.2%	52.3%	50.8%
LNF	4.3%	4.6%	5.5%	5.9%	6.0%	6.2%	6.2%	6.3%	6.4%	6.5%	6.6%
MR	0.9%	1.0%	1.0%	1.1%	1.2%	1.2%	1.4%	1.5%	1.6%	1.7%	1.7%
SNF	10.1%	9.7%	10.5%	11.5%	12.1%	12.6%	13.1%	13.7%	14.2%	14.7%	15.1%
RBus (Car)	0.5%	0.5%	0.6%	0.7%	0.8%	0.8%	0.9%	1.0%	1.1%	1.1%	1.2%
LBus (ÖV)	1.3%	1.4%	1.5%	1.7%	1.9%	2.1%	2.4%	2.6%	2.8%	2.9%	3.0%
Tankt.	6.7%	6.3%	6.0%	1.7%	1.0%	0.6%	0.5%	0.6%	0.8%	0.9%	1.1%
Non-road	12.5%	12.7%	13.0%	13.7%	14.6%	15.5%	16.8%	17.9%	18.9%	19.8%	20.6%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Non-road gemäss Definition in Tabelle 2

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Tabelle 32: Endenergieverbrauch des Verkehrs nach Energieträger in Sensitivität 3 (S3), 2000 – 2050, in PJ

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Absolut in PJ											
Benzin	170.7	151.3	130.6	102.7	87.1	74.9	65.1	58.1	54.0	50.2	47.3
Diesel	56.3	75.2	98.3	112.4	118.3	115.6	107.2	97.5	88.4	80.9	74.9
Flugtreib- stoffe	4.4	3.3	3.3	3.5	3.6	3.5	3.5	3.4	3.4	3.4	3.3
Flüssige Biotreibst.	0.1	0.2	0.4	2.1	5.7	8.9	11.5	12.1	12.6	12.7	12.9
Flüssiggas	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Erdgas als Treibst.	0.2	0.2	0.7	0.5	0.5	0.6	0.9	1.1	1.4	1.6	1.6
Biogas als Treibst.	0.1	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.5
Wasser- stoff	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.7	1.5	2.6
Elektrizität	9.5	10.7	11.4	11.4	13.3	14.8	17.1	19.4	21.8	24.3	26.7
Heizöl EL	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Total	241.3	241.4	244.9	232.9	228.8	218.8	205.8	192.3	182.9	175.3	169.9
Anteil am Total											
Benzin	70.7%	62.7%	53.3%	44.1%	38.1%	34.3%	31.7%	30.2%	29.5%	28.7%	27.8%
Diesel	23.3%	31.2%	40.1%	48.2%	51.7%	52.8%	52.1%	50.7%	48.3%	46.2%	44.1%
Flugtreib- stoffe	1.8%	1.4%	1.3%	1.5%	1.6%	1.6%	1.7%	1.8%	1.8%	1.9%	2.0%
Flüssige Biotreibst.	0.0%	0.1%	0.1%	0.9%	2.5%	4.1%	5.6%	6.3%	6.9%	7.3%	7.6%
Flüssiggas	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%
Erdgas als Treibst.	0.1%	0.1%	0.3%	0.2%	0.2%	0.3%	0.4%	0.6%	0.8%	0.9%	0.9%
Biogas als Treibst.	0.1%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%	0.3%	0.3%	0.3%
Wasser- stoff	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.0%	0.1%	0.4%	0.8%	1.5%
Elektrizität	3.9%	4.4%	4.7%	4.9%	5.8%	6.8%	8.3%	10.1%	11.9%	13.9%	15.7%
Heizöl EL	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%
Total	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen

Ergebnis CO₂-Emissionen

Hauptszenario

Tabelle 33: Fossile CO₂-Emissionen (TTW) des Verkehrs nach Verwendungszweck in EES 2020+, 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PW	11.34	11.33	11.23	11.36	10.71	9.73	8.52	7.35	6.45	5.67	5.06
LNF	0.77	0.82	0.87	0.98	0.96	0.92	0.86	0.80	0.75	0.71	0.67
MR	0.16	0.17	0.18	0.20	0.20	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
SNF	1.78	1.72	1.78	1.75	1.77	1.72	1.65	1.59	1.54	1.50	1.47
RBus (Car)	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
LBus (ÖV)	0.23	0.25	0.26	0.28	0.31	0.32	0.33	0.34	0.34	0.33	0.32
Tankt.	1.19	1.12	1.08	0.30	0.17	0.09	0.05	0.03	0.02	0.02	0.01
Non-road	1.50	1.44	1.49	1.49	1.46	1.44	1.42	1.42	1.40	1.40	1.39
Total	17.05	16.95	16.99	16.45	15.69	14.55	13.15	11.85	10.83	9.96	9.25

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, BAFU 2016

Alternativszenario (S1)

Tabelle 34: CO₂-Emissionen (fossile und biogene, TTW) des Verkehrs nach Verwendungszweck in Alternativszenario (S1), 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PW	11.34	11.34	11.25	11.50	11.07	10.25	9.31	8.53	8.06	7.72	7.49
LNF	0.77	0.82	0.88	0.99	1.00	0.97	0.92	0.87	0.83	0.79	0.75
MR	0.16	0.17	0.18	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23	0.23
SNF	1.78	1.72	1.79	1.78	1.83	1.82	1.78	1.74	1.70	1.68	1.66
RBus (Car)	0.09	0.09	0.10	0.10	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13
LBus (ÖV)	0.23	0.25	0.26	0.28	0.32	0.34	0.36	0.37	0.37	0.37	0.36
Tankt.	1.19	1.12	1.08	0.30	0.17	0.09	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
Non-road	1.51	1.45	1.49	1.51	1.51	1.51	1.52	1.52	1.52	1.53	1.53
Total	17.07	16.98	17.03	16.66	16.22	15.32	14.28	13.41	12.87	12.46	12.17

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, BAFU 2016

Tabelle 35: Fossile CO₂-Emissionen (TTW) des Verkehrs nach Verwendungszweck in Alternativszenario (S1), 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PW	11.34	11.33	11.23	11.36	10.77	9.96	9.04	8.29	7.82	7.49	7.26
LNF	0.77	0.82	0.87	0.98	0.97	0.95	0.90	0.85	0.81	0.77	0.73
MR	0.16	0.17	0.18	0.20	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.22	0.22
SNF	1.78	1.72	1.78	1.75	1.79	1.78	1.74	1.70	1.66	1.64	1.62
RBus (Car)	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.12	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13
LBus (ÖV)	0.23	0.25	0.26	0.28	0.31	0.33	0.35	0.36	0.36	0.36	0.36
Tankt.	1.19	1.12	1.08	0.30	0.17	0.09	0.05	0.03	0.03	0.02	0.02
Non-road	1.50	1.44	1.49	1.49	1.48	1.48	1.48	1.49	1.49	1.50	1.50
Total	17.05	16.95	16.99	16.45	15.81	14.92	13.90	13.05	12.52	12.12	11.83

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, BAFU 2016

Tabelle 36: CO₂-Emissionen (fossile und biogene, TTW) des Verkehrs nach Energieträger in Alternativszenario (S1), 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Benzin	12.59	11.17	9.67	7.91	6.72	5.85	5.20	4.78	4.60	4.42	4.28
Diesel	4.12	5.52	7.03	8.24	8.80	8.76	8.38	7.94	7.59	7.36	7.21
Flugtreibstoffe	0.32	0.24	0.24	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24
<i>Flüssige Biotreibst.</i>	<i>0.01</i>	<i>0.02</i>	<i>0.03</i>	<i>0.20</i>	<i>0.40</i>	<i>0.39</i>	<i>0.36</i>	<i>0.34</i>	<i>0.32</i>	<i>0.31</i>	<i>0.30</i>
Flüssiggas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas als Treibst.	0.01	0.01	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.08	0.09	0.09
<i>Biogas als Treibst.</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.02</i>	<i>0.02</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>
Wasserstoff	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektrizität	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heizöl EL	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Total fossil	17.05	16.95	16.99	16.45	15.81	14.92	13.90	13.05	12.52	12.12	11.83
Total	17.07	16.98	17.03	16.66	16.22	15.32	14.28	13.41	12.87	12.46	12.17

kursiv (hellgrau): Biogene CO₂-Emissionen (Biotreibstoffe, Biogas)

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, BAFU 2016

Sensitivität 2 (S2)

Tabelle 37: CO₂-Emissionen (fossile und biogene, TTW) des Verkehrs nach Verwendungszweck in S2, 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PW	11.34	11.34	11.25	11.50	11.12	10.41	9.40	8.26	7.35	6.52	5.85
LNF	0.77	0.82	0.88	0.99	1.00	0.98	0.93	0.88	0.84	0.80	0.76
MR	0.16	0.17	0.18	0.20	0.21	0.22	0.22	0.23	0.23	0.24	0.24
SNF	1.78	1.72	1.79	1.78	1.84	1.83	1.79	1.75	1.72	1.69	1.68
RBus (Car)	0.09	0.09	0.10	0.10	0.12	0.12	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
LBus (ÖV)	0.23	0.25	0.26	0.28	0.32	0.34	0.36	0.37	0.38	0.37	0.37
Tankt.	1.19	1.12	1.08	0.30	0.17	0.11	0.09	0.09	0.11	0.13	0.14
Non-road	1.51	1.45	1.49	1.51	1.51	1.52	1.52	1.53	1.54	1.55	1.55
Total	17.07	16.98	17.03	16.66	16.28	15.52	14.44	13.24	12.29	11.42	10.71

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, BAFU 2016

Tabelle 38: Fossile CO₂-Emissionen (TTW) des Verkehrs nach Verwendungszweck in S2, 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PW	11.34	11.33	11.23	11.36	10.74	9.82	8.65	7.50	6.59	5.78	5.14
LNF	0.77	0.82	0.87	0.98	0.96	0.92	0.86	0.80	0.75	0.71	0.67
MR	0.16	0.17	0.18	0.20	0.20	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21	0.21
SNF	1.78	1.72	1.78	1.75	1.77	1.72	1.65	1.59	1.54	1.50	1.47
RBus (Car)	0.09	0.09	0.10	0.10	0.11	0.11	0.12	0.12	0.12	0.12	0.12
LBus (ÖV)	0.23	0.25	0.26	0.28	0.31	0.32	0.33	0.34	0.34	0.33	0.32
Tankt.	1.19	1.12	1.08	0.30	0.17	0.11	0.09	0.09	0.11	0.13	0.14
Non-road	1.50	1.44	1.49	1.49	1.46	1.44	1.42	1.42	1.40	1.40	1.39
Total	17.05	16.95	16.99	16.45	15.73	14.66	13.33	12.07	11.06	10.18	9.46

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, BAFU 2016

Tabelle 39: CO₂-Emissionen (fossile und biogene, TTW) des Verkehrs nach Energieträger in S2, 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Benzin	12.59	11.17	9.67	7.91	6.73	5.83	5.10	4.57	4.25	3.94	3.70
Diesel	4.12	5.52	7.03	8.24	8.70	8.53	7.91	7.17	6.47	5.89	5.42
Flugtreib- stoffe	0.32	0.24	0.24	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24
<i>Flüssige Biotreibst.</i>	<i>0.01</i>	<i>0.02</i>	<i>0.03</i>	<i>0.20</i>	<i>0.54</i>	<i>0.85</i>	<i>1.10</i>	<i>1.15</i>	<i>1.20</i>	<i>1.21</i>	<i>1.21</i>
Flüssiggas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas als Treibst.	0.01	0.01	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.07	0.09	0.09	0.10
<i>Biogas als Treibst.</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.02</i>	<i>0.02</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>
Wasser- stoff	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektrizität	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heizöl EL	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Total fossil	17.05	16.95	16.99	16.45	15.73	14.66	13.33	12.07	11.06	10.18	9.46
Total	17.07	16.98	17.03	16.66	16.28	15.52	14.44	13.24	12.29	11.42	10.71

kursiv (hellgrau): Biogene CO₂-Emissionen (Biotreibstoffe, Biogas)

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, BAFU 2016

Sensitivität 3 (S3)

Tabelle 40: CO₂-Emissionen (fossile und biogene, TTW) des Verkehrs nach Verwendungszweck in S3, 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PW	11.34	11.34	11.17	10.95	10.56	9.83	8.81	7.71	6.85	6.09	5.48
LNF	0.77	0.82	0.99	1.01	1.01	0.99	0.95	0.89	0.85	0.81	0.77
MR	0.16	0.17	0.17	0.19	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.22	0.23
SNF	1.78	1.72	1.89	1.97	2.03	2.02	1.99	1.94	1.91	1.88	1.87
RBus (Car)	0.09	0.09	0.11	0.12	0.13	0.13	0.14	0.14	0.14	0.15	0.15
LBus (ÖV)	0.23	0.25	0.26	0.28	0.32	0.34	0.36	0.37	0.38	0.37	0.37
Tankt.	1.19	1.12	1.08	0.30	0.17	0.11	0.08	0.09	0.11	0.12	0.13
Non-road	1.51	1.45	1.49	1.51	1.51	1.52	1.52	1.53	1.54	1.55	1.55
Total	17.07	16.98	17.17	16.32	15.94	15.15	14.07	12.90	12.00	11.19	10.55

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, BAFU 2016

Tabelle 41: Fossile CO₂-Emissionen (TTW) des Verkehrs nach Verwendungszweck in S3, 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
PW	11.34	11.33	11.16	10.82	10.20	9.27	8.12	7.01	6.14	5.41	4.82
LNF	0.77	0.82	0.99	0.99	0.98	0.94	0.87	0.81	0.76	0.72	0.68
MR	0.16	0.17	0.17	0.19	0.19	0.19	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
SNF	1.78	1.72	1.88	1.94	1.96	1.91	1.83	1.76	1.71	1.67	1.64
RBus (Car)	0.09	0.09	0.11	0.11	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13	0.13
LBus (ÖV)	0.23	0.25	0.26	0.28	0.31	0.32	0.33	0.34	0.34	0.33	0.32
Tankt.	1.19	1.12	1.08	0.30	0.17	0.11	0.08	0.09	0.11	0.12	0.13
Non-road	1.50	1.44	1.49	1.49	1.46	1.44	1.42	1.42	1.40	1.40	1.39
Total	17.05	16.95	17.13	16.12	15.40	14.31	12.98	11.76	10.80	9.98	9.32

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, BAFU 2016

Tabelle 42: CO₂-Emissionen (fossile und biogene, TTW) des Verkehrs nach Energieträger in S3, 2000 – 2050, in Mio. Tonnen CO₂

	2000	2005	2010	2015	2020	2025	2030	2035	2040	2045	2050
Benzin	12.59	11.17	9.64	7.58	6.43	5.53	4.81	4.29	3.99	3.71	3.49
Diesel	4.12	5.52	7.20	8.24	8.67	8.47	7.86	7.15	6.48	5.93	5.49
Flugtreib- stoffe	0.32	0.24	0.24	0.26	0.26	0.26	0.25	0.25	0.25	0.24	0.24
<i>Flüssige Biotreibst.</i>	<i>0.01</i>	<i>0.02</i>	<i>0.03</i>	<i>0.19</i>	<i>0.53</i>	<i>0.83</i>	<i>1.07</i>	<i>1.12</i>	<i>1.17</i>	<i>1.18</i>	<i>1.20</i>
Flüssiggas	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Erdgas als Treibst.	0.01	0.01	0.04	0.03	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.09	0.09
<i>Biogas als Treibst.</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.01</i>	<i>0.02</i>	<i>0.02</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>	<i>0.03</i>
Wasser- stoff	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Elektrizität	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Heizöl EL	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Total fossil	17.05	16.95	17.13	16.12	15.40	14.31	12.98	11.76	10.80	9.98	9.32
Total	17.07	16.98	17.17	16.32	15.94	15.15	14.07	12.90	12.00	11.19	10.55

kursiv (hellgrau): Biogene CO₂-Emissionen (Biotreibstoffe, Biogas)

Tabelle INFRAS. Quelle: eigene Berechnungen, BAFU 2016

Literatur

- ARE 2002:** Fahrleistungen der Schweizer Fahrzeuge. Ergebnisse der periodischen Erhebung Fahrleistungen (PEFA) 2000. Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Bern.
[<http://www.news-service.admin.ch/NSBSubscriber/message/attachments/1588.pdf>].
- ARE 2014:** Gemeindetypologie ARE. Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Ittigen.
[https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full_view/c967f055-9482-4bcb-a1bb-8de7971e7293].
- ARE 2016a:** Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040 - Hauptbericht. Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Ittigen. [<https://www.are.admin.ch/are/de/home/medien-und-publikationen/publikationen/verkehr/verkehrsperspektiven-2040.html>].
- ARE 2016b:** Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040 - Technischer Bericht. [<https://www.are.admin.ch/are/de/home/medien-und-publikationen/publikationen/verkehr/verkehrsperspektiven-2040-technischer-bericht.html>].
- ARE 2016c:** Perspektiven des Schweizerischen Personen- und Güterverkehrs bis 2040 - Projektion 2050.
- BAFU 2010a:** Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990-2035. Aktualisierung 2010. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern. [<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/publikationen-studien/publikationen/luftschadstoff-emissionen-des-strassenverkehrs-1990-2035.html>].
- BAFU 2010b:** Handbuch Emissionsfaktoren Strassenverkehr HBEFA. Version 3.1. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern. [www.hbefa.net].
- BAFU 2015:** Energieverbrauch und Schadstoffemissionen des Non-Road-Sektors. Studie für die Jahre 1980-2050. Umwelt-Wissen Nr. 1519. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Bern.
[<https://www.bafu.admin.ch/bafu/de/home/themen/luft/publikationen-studien/publikationen/energieverbrauch-und-schadstoffemissionen-des-non-road-sektors.html>].
- BAFU 2016:** Faktenblatt CO₂-Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Ittigen. [http://www.bafu.admin.ch/klima/09608/index.html?lang=de&download=NHZLp-Zeg7t,lnp6l0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2qZpnO2Yuq2Z6gpJCEe3t3gGym162epYbg2c_JjKbNoKSn6A--].
- BFE 2016a:** Schweizerische Gesamtenergiestatistik 2015. [http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_83041321.pdf].
- BFE 2016b:** Energieverbrauch und Energieeffizienz der neuen Personenwagen 2015. 20. Berichtserstattung im Rahmen der Energieverordnung. [<https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/44457.pdf>].

- BFE 2016c:** Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2015 nach Verwendungszwecken („Ex-Post-Analyse“). [http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_577909349.pdf].
- BFE 2016d:** Auswirkungen der CO₂-Emissionsvorschriften für neue Personenwagen 2012-2015. [http://www.bfe.admin.ch/themen/00507/05318/index.html?lang=de&dosier_id=06740].
- BFE 2017:** CO₂-Emissionsvorschriften für Personenwagen und leichte Nutzfahrzeuge - Grundlagenbericht. [http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/stream.php?extlang=de&name=de_406219528.pdf].
- BFS 2016:** Leistungen des privaten Personenverkehrs auf der Strasse - Methodenbericht 2016 (Zeitreihe bis 2015). [<https://www.bfs.admin.ch/bfsstatic/dam/assets/1010399/master>].
- EEA 2016:** Monitoring CO₂ emissions from new passenger cars and vans in 2015. [<https://www.eea.europa.eu/publications/monitoring-co-2-emissions-from>].
- FOEN 2017:** Switzerland's Greenhouse Gas Inventory 1990-2015. National Inventory Report 2017. Submission of April 2017 under the United Nations Framework Convention on Climate Change and under the Kyoto Protocol. Federal Office for the Environment (FOEN), Ittigen. [<https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/climate/state/data/climate-reporting/most-recent-ghg-inventory.html>].
- ICCT 2014:** The WLTP: How a new test procedure for cars will affect fuel consumption values in the EU, working paper 2014-9. [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_WLTP_EffectEU_20141029.pdf].
- ICCT 2016a:** 2020-2030 CO₂-standards for new cars and light-commercial vehicles in the European Union, Briefing. [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_EU_CO2-stds_2020-30_brief_nov2016.pdf].
- ICCT 2016b:** From laboratory to road: A 2016 update. [http://www.theicct.org/sites/default/files/publications/ICCT_LaboratoryToRoad_2016.pdf].
- INFRAS 2015:** Driving behaviour, Phase II. GPS-based recording of driving behaviour. Final Report. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Ittigen.
- INFRAS 2017:** HBEFA 3.3. Handbook of Emission Factors for Road Transport. INFRAS, Bern. [www.hbefa.net].
- Keller, M. 2015:** Tanktourismus und Eurokurs, Studie im Auftrag der Erdöl-Vereinigung. [https://www.erdoel.ch/images/pdf/Studie_Tanktourismus_d.pdf].
- Mellios, G., Hausberger, S., Keller, M., Samaras, C., Ntziachristos, L. 2011:** Parameterisation of fuel consumption and CO₂ emissions of passenger cars and light commercial vehicles for modelling purposes. [http://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/111111111/22474/1/co2_report_jrc_format_final2.pdf].

- Prognos 2012:** Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050. Energienachfrage und Elektrizitätsangebot in der Schweiz 2000 - 2050. Ergebnisse der Modellrechnungen für das Energiesystem. Bundesamt für Energie (BFE). [http://www.prognos.com/uploads/tx_at-wpubdb/120912_Prognos_Bundesamt_fuer_Energie_Energieperspektiven_Schweiz_2050.pdf].
- RICARDO-AEA 2014:** Data gathering and analysis to assess the impact of mileage on the cost effectiveness of the LDV CO2 Regulations. [https://ec.europa.eu/clima/sites/clima/files/transport/vehicles/docs/ldv_mileage_en.pdf].
- Swisstopo 2015:** swissNAMES3D. Die umfangreichste Sammlung von geografischen Namen der Schweiz. Bundesamt für Landestopographie (swisstopo), Wabern. [<https://shop.swisstopo.admin.ch/de/products/landscape/names3D>].
- TU Graz 2009:** Emission Factors from the Model PHEM for the HBEFA Version 3. Report Nr. I-20/2009 Haus-Em 33/08/679. Technische Universität (TU) Graz im Auftrag des Umweltbundesamtes Österreich, Lebensministerium Österreich, BMVIT Österreich, Joint Research Centre and ERMES members, Graz. [www.hbefa.net].
- UBA 2015:** Zukünftige Massnahmen zur Kraftstoffeinsparung und Treibhausgasminderung bei schweren Nutzfahrzeugen, UBA-FB 002058. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikationen/texte_32_2015_kraftstoffeinsparung_bei_nutzfahrzeugen.pdf].
- UVEK 2016:** Klimapolitik der Schweiz - Erläuternder Bericht zur Vernehmlassungsvorlage. [https://www.admin.ch/ch/d/gg/pc/documents/2801/Klimapolitik-der-Schweiz-nach-2020_Erl.-Bericht_de.pdf].