

# **Szenarien 2020 für die MfMU-Stationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen**

## **Immissionen und Emissionen an Luftschadstoffen**

**Im Auftrag des BAFU und  
des Amtes für Umweltschutz Uri**

Dr. Jürg Thudium

29.05.2013 / 5711.20 / 5712.20 V3

Oekoscience AG

Postfach 452  
CH - 7001 Chur

Telefon: +4181 250 3310  
[science@oekoscience.ch](mailto:science@oekoscience.ch)

# Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>8</b>
<b>2. Die Szenarien des Verkehrsaufkommens 2020</b>	<b>8</b>
2.1. Szenarium 'LfwP'	9
<b>3. Die für 2020 postulierten Flottenzusammensetzungen nach Euroklassen</b>	<b>11</b>
<b>4. Die Emissionsfaktoren je Euroklasse</b>	<b>12</b>
4.1. Die in den Szenarien verwendeten Emissionsfaktoren	12
4.2. Konsequenzen der Entwicklung der Emissionsfaktoren für Zukunftsszenarien	14
4.3. Emissionsfaktoren für die Wiederaufwirbelung von PM10	16
<b>5. Szenarien verkehrslenkender Massnahmen für 2020</b>	<b>17</b>
5.1. Sektorales Fahrverbot 'SFV'	17
5.2. Aufhebung des Nachtfahrverbots für SNF 'noNFV'	18
5.3. Permanente Geschwindigkeitsreduktion des Leichtverkehrs 'Tempo100'	21
<b>6. Die Szenarien 2020 im Überblick</b>	<b>25</b>
<b>7. Methodik der Bestimmung der Immissionen für die Szenarien 2020/27</b>	
7.1. Stickstoffoxidimmissionen (NO <sub>x</sub> und NO <sub>2</sub> )	27
7.2. PM10-Immissionen	30
7.3. Russ-Immissionen	30
7.4. Effekt der Verschiebung der Station Erstfeld	31
<b>8. Ergebnisse der Szenarien 'MfMU 2020'</b>	<b>32</b>
8.1. Legende	32
8.2. Übersicht: Reduktionen an NO <sub>x</sub> -, NO <sub>2</sub> - und PM10-Immissionen für die Szenarien 2020 'technische Entwicklung', 'Erreichung Verlagerungsziel' und 'Tempo100'	33
8.3. Lüthygienische Effekte der einzelnen Szenarien	38
<b>9. Fazit</b>	<b>42</b>

<b>10.</b>	<b>Literatur</b>	<b>43</b>
<b>11.</b>	<b>Glossar</b>	<b>44</b>
	<b><i>Anhang: Dokumentation der Szenarien-Ergebnisse</i></b>	<b>46</b>
<b>1.</b>	<b>Dokumentation der Szenarien für Erstfeld</b>	<b>47</b>
1.1.	Emissionen	47
1.2.	Immissionen	49
1.3.	Differenzen zu Grundszenarien	52
1.4.	Emissionen und Immissionen nach Fahrzeugkategorie	57
<b>2.</b>	<b>Dokumentation der Szenarien für Moleno</b>	<b>60</b>
2.1.	Emissionen	60
2.2.	Immissionen	62
2.3.	Differenzen zu Grundszenarien	65
2.4.	Emissionen und Immissionen nach Fahrzeugkategorie	70
<b>3.</b>	<b>Dokumentation der Szenarien für Rothenbrunnen</b>	<b>73</b>
3.1.	Emissionen	73
3.2.	Immissionen	75
3.3.	Differenzen zu Grundszenarien	78
3.4.	Emissionen und Immissionen nach Fahrzeugkategorie	83

# Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Effekte von Entwicklungen und Massnahmen auf NO <sub>2</sub> -Immissionen für 2020 nach den Ansätzen 'HB' und 'hE6' für die Emissionsfaktoren; ohne Berücksichtigung der Szenarien 'noNFV' und 'LfwP'. Die Ausgangswerte (Gesamthöhe der Säulen) sind die gemessenen Jahresmittel von 2011.	5
Abbildung 2: Prozentuale Reduktion der NO <sub>x</sub> -Immissionen für verschiedene Szenarien bezogen auf die Referenzentwicklung für Erstfeld 2020.	6
Abbildung 4.1: Relative Emissionsfaktoren (für EuroVI/6 = 1) von NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub> , Partikelmasse und CO <sub>2</sub> für verschiedene Fahrzeugkategorien, Autobahn Schweiz.	14
Abbildung 4.2: EFA EuroVI/6 verschiedener Fahrzeugkategorien relativ zu Diesel-Pw, Autobahn Schweiz.	15
Abbildung 5.1: Relative Tagesgänge (Mittelwert jeder Kurve = 100%!) des SNF-Verkehrs 2011 real bei Erstfeld (mit Nachtfahrverbot NFV), real bei Hallein (Tauern, ohne NFV) und hypothetisch bei Erstfeld ohne NFV (mit Zusatzverkehr).	19
Abbildung 5.2: Relative Geschwindigkeitsabhängigkeit der EFA von NO <sub>x</sub> , PM und CO <sub>2</sub> für Pw (oben) bzw. Lieferwagen (unten). 100% = EFA bei 112 km/h; bei 112 km/h liegt ein Bestimmungspunkt für die EFA für den Autobahnzyklus im HBEFA3.1.	22
Abbildung 5.3: Relative Emissionsfaktoren (EFA) für NO <sub>x</sub> je Euroklasse in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit (100% = EFA bei 86 km/h) für Sattel- und Lastenzüge (SLZ; rechts) und SoloLkw (links). Datenquelle: "Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf den Emissionsausstoß von LKW größer 7,5t auf Autobahnen", TU Graz, Januar 2012.	23
Abbildung 7.1: NO <sub>2</sub> gegen NO <sub>x</sub> bei Vomp 2009, Stundenwerte.	28
Abbildung 7.2: Jahresmittelwerte von NO <sub>x</sub> und NO <sub>2</sub> ; Messungen an Autobahnstandorten und Werte für Szenarien '1' und '6' bei Vomp (Tiroler Inntalautobahn).	29
Abbildung 7.3: Jahresmittel von NO <sub>x</sub> und Russ an MfM-U-Stationen, 2010 und 2011.	30
Abbildung 7.4: Mittlerer Tagesgang von NO <sub>2</sub> an altem und neuem Standort Erstfeld, 26.04.-17.07.2007.	31

Abbildung 8.1: Effekte von Entwicklungen und Massnahmen auf NO <sub>x</sub> -Immissionen für 2020 nach EFA-Ansätzen 'HB' und 'hE6'; ohne Berücksichtigung der Szenarien 'noNFV' und 'LfwP'. Ausgangswerte von 2011.	34
Abbildung 8.2: Effekte von Entwicklungen und Massnahmen auf NO <sub>2</sub> -Immissionen für 2020 nach EFA-Ansätzen 'HB' und 'hE6'; ohne Berücksichtigung der Szenarien 'noNFV' und 'LfwP'. Ausgangswerte von 2011.	35
Abbildung 8.3: Effekte von Entwicklungen und Massnahmen auf PM <sub>10</sub> -Immissionen für 2020 nach EFA-Ansätzen 'HB' und 'hE6'; ohne Berücksichtigung der Szenarien 'noNFV' und 'LfwP'. Ausgangswerte von 2011.	36
Abbildung 8.4: Prozentuale Effekte von Szenarien 2020 auf Immissionen und CO <sub>2</sub> -Emissionen, bezogen auf Grundszenarien, Moleno. Links: BAU/hE6-Flotte; rechts: BAU/HB-Flotte.	38
Abbildung 8.5: Prozentuale Effekte von Szenarien 2020 auf Immissionen und CO <sub>2</sub> -Emissionen, bezogen auf Grundszenarien, Erstfeld. Links: BAU/hE6-Flotte; rechts: BAU/HB-Flotte.	39
Abbildung 8.6: Prozentuale Effekte von Szenarien 2020 auf Immissionen und CO <sub>2</sub> -Emissionen, bezogen auf Grundszenarien, Rothenbrunnen. Links: BAU/hE6-Flotte; rechts: BAU/HB-Flotte.	40
Abbildung A1.1: Jahresmittel der NO <sub>x</sub> -Emissionen für Szenarien Erstfeld 2020.	48
Abbildung A1.2: Jahresmittel der CO <sub>2</sub> -Emissionen für Szenarien Erstfeld 2020.	48
Abbildung A1.3: Jahresmittel der NO <sub>x</sub> -Immissionen für Szenarien Erstfeld 2020.	50
Abbildung A1.4: Jahresmittel der NO <sub>2</sub> -Immissionen für Szenarien Erstfeld 2020.	50
Abbildung A1.5: Jahresmittel der PM <sub>10</sub> -Immissionen für Szenarien Erstfeld 2020.	51
Abbildung A1.6: Jahresmittel der Russ-Immissionen für Szenarien Erstfeld 2020.	51
Abbildung A1.7: Differenz der NO <sub>x</sub> - und NO <sub>2</sub> -Immissionen zu Real 2011 für Grundszenarien Erstfeld 2020.	55
Abbildung A1.8: Differenz der NO <sub>2</sub> -Immissionen der Verlagerungsszenarien (BAU/hE6 und BAU/HB) zu G.2 für Erstfeld 2020.	56
Abbildung A1.9: Differenz der NO <sub>2</sub> -Immissionen von Massnahmenszenarien (BAU hE6) zu G.2 für Erstfeld 2020.	56

Abbildung A1.10: Aufteilung der NO <sub>x</sub> -Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Erstfeld 2011 und Grundszenarien 2020.	57
Abbildung A1.11: Aufteilung der CO <sub>2</sub> -Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Erstfeld 2011 und Grundszenarien 2020.	57
Abbildung A1.12: Aufteilung der PM-Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Erstfeld 2011 und Grundszenarien 2020.	58
Abbildung A1.13: Aufteilung der NO <sub>x</sub> -Immissionen nach Fahrzeugkategorie, Erstfeld 2011 und Grundszenarien 2020.	58
Abbildung A1.14: Aufteilung der NO <sub>2</sub> -Immissionen nach Fahrzeugkategorie, Erstfeld 2011 und Grundszenarien 2020.	59
Abbildung A2.1: Jahresmittel der NO <sub>x</sub> -Emissionen für Szenarien Moleno 2020.	61
Abbildung A2.2: Jahresmittel der CO <sub>2</sub> -Emissionen für Szenarien Moleno 2020.	61
Abbildung A2.3: Jahresmittel der NO <sub>x</sub> -Immissionen für Szenarien Moleno 2020.	63
Abbildung A2.4: Jahresmittel der NO <sub>2</sub> -Immissionen für Szenarien Moleno 2020.	63
Abbildung A2.5: Jahresmittel der PM <sub>10</sub> -Immissionen für Szenarien Moleno 2020.	64
Abbildung A2.6: Jahresmittel der Russ-Immissionen für Szenarien Moleno 2020.	64
Abbildung A2.7: Differenz der NO <sub>x</sub> und NO <sub>2</sub> -Immissionen zu Real 2011 für Grundszenarien Moleno 2020.	68
Abbildung A2.8: Differenz der NO <sub>2</sub> -Immissionen der Verlagerungsszenarien (BAU/hE6 und BAU/HB) zu G.2 für Moleno 2020.	69
Abbildung A2.9: Differenz der NO <sub>2</sub> -Immissionen von Massnahmenszenarien (BAU hE6) zu G.2 für Moleno 2020.	69
Abbildung A2.10: Aufteilung der NO <sub>x</sub> -Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Moleno 2011 und Grundszenarien 2020.	70
Abbildung A2.11: Aufteilung der CO <sub>2</sub> -Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Moleno 2011 und Grundszenarien 2020.	70
Abbildung A2.12: Aufteilung der PM-Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Moleno 2011 und Grundszenarien 2020.	71

Abbildung A2.13: Aufteilung der NO <sub>x</sub> -Immissionen nach Fahrzeugkategorie, Moleno 2011 und Grundszenarien 2020.	71
Abbildung A2.14: Aufteilung der NO <sub>2</sub> -Immissionen nach Fahrzeugkategorie, Moleno 2011 und Grundszenarien 2020.	72
Abbildung A3.1: Jahresmittel der NO <sub>x</sub> -Emissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020.	74
Abbildung A3.2: Jahresmittel der CO <sub>2</sub> -Emissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020.	74
Abbildung A3.3: Jahresmittel der NO <sub>x</sub> -Immissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020.	76
Abbildung A3.4: Jahresmittel der NO <sub>2</sub> -Immissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020.	76
Abbildung A3.5: Jahresmittel der PM <sub>10</sub> -Immissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020.	77
Abbildung A3.6: Jahresmittel der Russ-Immissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020.	77
Abbildung A3.7: Differenz der NO <sub>x</sub> und NO <sub>2</sub> -Immissionen zu Real 2011 für Grundszenarien Rothenbrunnen 2020.	81
Abbildung A3.8: Differenz der NO <sub>2</sub> -Immissionen der Verlagerungsszenarien (BAU/hE6 und BAU/HB) zu G.2 für Rothenbrunnen 2020.	82
Abbildung A3.9: Differenz der NO <sub>2</sub> -Immissionen von Massnahmenszenarien (BAU hE6) zu G.2 für Rothenbrunnen 2020.	82
Abbildung A3.10: Aufteilung der NO <sub>x</sub> -Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Rothenbrunnen 2011 und Grundszenarien 2020.	83
Abbildung A3.11: Aufteilung der CO <sub>2</sub> -Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Rothenbrunnen 2011 und Grundszenarien 2020.	83
Abbildung A3.12: Aufteilung der PM-Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Rothenbrunnen 2011 und Grundszenarien 2020.	84
Abbildung A3.13: Aufteilung der NO <sub>x</sub> -Immissionen nach Fahrzeugkategorie, Rothenbrunnen 2011 und Grundszenarien 2020.	84
Abbildung A3.14: Aufteilung der NO <sub>2</sub> -Immissionen nach Fahrzeugkategorie, Rothenbrunnen 2011 und Grundszenarien 2020.	85

# Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Überblick zu den Szenarien zur Verlagerung der SNF und zu Entwicklungen und Massnahmen für 2020:	2
Tabelle 2.1: Jährliche Anzahl SNF im alpenquerenden Güterverkehr (AQQV) in vier Szenarien 2020:	8
Tabelle 2.2: Jährliche Anzahl SNF im nicht-alpenquerenden Güterverkehr (Nicht-AQQV) je Standort für jedes Szenarium:	9
Tabelle 2.3: Faktoren des Verkehrsaufkommens 2020/2011 für die übrigen Fahrzeugkategorien:	9
Tabelle 3.1: Postulierte Euroklassenzusammensetzungen der Pw, Lfw und SNF für 2020, Flotte BAU ('Business as usual'):	11
Tabelle 5.1: Vom SFV betroffene SNF-Fahrten an Gotthard und Brenner:	17
Tabelle 5.2: Anteil jeder Tagesstunde von 0-24 Uhr am gesamten Verkehr der SNF (Summe über alle 24 Tagesstunden = 100%!). Werte für Moleno, Erstfeld und Rothenbrunnen sowohl für die reale Situation 2011 (mit Nachtfahrverbot) als auch hypothetisch ohne NFV (mit Zusatzverkehr); reale Werte 2011 für Hallein (Tauern, ohne NFV).	20
Tabelle 6.1: In den Szenarien berechnete Emissionen und Immissionen:	25
Tabelle 6.2: Überblick zu den Szenarien zur Verlagerung der SNF und zu Entwicklungen und Massnahmen für 2020:	26
Tabelle A1.1: Emissionen für Szenarien Erstfeld 2020:	47
Tabelle A1.2: Immissionen für Szenarien Erstfeld 2020:	49
Tabelle A1.3: Differenzen der Emissionen der Grundszenarien für Erstfeld 2020 zu Real 2011:	52
Tabelle A1.4: Differenzen der Immissionen der Grundszenarien für Erstfeld 2020 zu Real 2011:	52
Tabelle A1.5: Differenzen der Emissionen der "BAU/HB"-Szenarien für Erstfeld 2020 zu G.1:	53

Tabelle A1.6: Differenzen der Immissionen der "BAU/HB"-Szenarien für Erstfeld 2020 zu G.1:	53
Tabelle A1.7: Differenzen der Emissionen der "BAU/hE6"-Szenarien für Erstfeld 2020 zu G.2:	54
Tabelle A1.8: Differenzen der Immissionen der "BAU/hE6"-Szenarien für Erstfeld 2020 zu G.2:	54
Tabelle A2.1: Emissionen für Szenarien Moleno 2020:	60
Tabelle A2.2: Immissionen für Szenarien Moleno 2020:	62
Tabelle A2.3: Differenzen der Emissionen der Grundszenarien für Moleno 2020 zu Real 2011:	65
Tabelle A2.4: Differenzen der Immissionen der Grundszenarien für Moleno 2020 zu Real 2011:	65
Tabelle A2.5: Differenzen der Emissionen der "BAU/HB"-Szenarien für Moleno 2020 zu G.1:	66
Tabelle A2.6: Differenzen der Immissionen der "BAU/HB"-Szenarien für Moleno 2020 zu G.1:	66
Tabelle A2.7: Differenzen der Emissionen der "BAU/hE6"-Szenarien für Moleno 2020 zu G.2:	67
Tabelle A2.8: Differenzen der Immissionen der "BAU/hE6"-Szenarien für Moleno 2020 zu G.2:	67
Tabelle A3.1: Emissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020:	73
Tabelle A3.2: Immissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020:	75
Tabelle A3.3: Differenzen der Emissionen der Grundszenarien für Rothenbrunnen 2020 zu Real 2011:	78
Tabelle A3.4: Differenzen der Immissionen der Grundszenarien für Rothenbrunnen 2020 zu Real 2011:	78
Tabelle A3.5: Differenzen der Emissionen der "BAU/HB"-Szenarien für Rothenbrunnen 2020 zu G.1:	79

Tabelle A3.6: Differenzen der Immissionen der "BAU/HB"-Szenarien für Rothenbrunnen 2020 zu G.1:	79
Tabelle A3.7: Differenzen der Emissionen der "BAU/hE6"-Szenarien für Rothenbrunnen 2020 zu G.2:	80
Tabelle A3.8: Differenzen der Immissionen der "BAU/hE6"-Szenarien für Rothenbrunnen 2020 zu G.2:	80

# Zusammenfassung

Im Projekt 'Monitoring flankierende Massnahmen – Umwelt' (MfMU) werden die Umweltauswirkungen des Transitverkehrs durch die Alpen beobachtet. Dazu wurden u.a. sechs Messstationen entlang der Transitkorridore eingerichtet, welche kontinuierlich den Verkehr im betreffenden Strassenabschnitt zählen sowie immissionsseitige und meteorologische Messungen ausführen.

In dieser Studie wird der Einfluss verschiedener Varianten der Entwicklung des alpenquerenden Güterverkehrs auf Emissionen und Immissionen von Luftschadstoffen bei den im inneralpinen Raum liegenden MfMU-Stationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen für das Jahr 2020 abgeschätzt. Auch der Effekt von bestimmten Entwicklungen und verkehrslenkenden Massnahmen wird evaluiert.

Das Ausgangsjahr ist 2011, was die meteorologischen Bedingungen (Ausbreitungsbedingungen für Luftschadstoffe) und das Verkehrsaufkommen betrifft. Die Szenarien werden für das Jahr 2020 berechnet, bis dahin könnten geplante Massnahmen voll greifen.

Es wurden zwei Typen von Szenarien für das Jahr 2020 untersucht, welche sich zum Teil überlagern: Einerseits Veränderungen der Verkehrsmengen ("Mengenszenarien"), andererseits unterschiedliche Intensitäten technologischer Verbesserungen ("Technologieszenarien"). In den Mengenszenarien werden verschiedene Grade der Zielerreichung der Verlagerungspolitik betreffend den Strassengütertransitverkehr untersucht (2.25 Mio./ 1.457 Mio./ 1 Mio./ 650'000 Lastwagenfahrten an den Schweizer Alpenübergängen). In den Technologieszenarien werden unterschiedliche Potenziale der Einführung der neuen Abgasgrenzwertstufe EURO-6/VI untersucht.

Die Effekte der untersuchten verkehrslenkenden Massnahmen sind einerseits den Mengenszenarien zuzuordnen (Aufhebung des Nachtfahrverbots für SGF, sektorales Fahrverbot für SGF mit bahnaffinen Gütern und verstärkte Zunahme der Anzahl Lieferwagen), andererseits den Technologieszenarien (Tempolimit von 100 km/h).

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über alle berechneten Szenarien. Die von Infrac (2013) berechneten Szenarien sind in der folgenden Tabelle violett gekennzeichnet. Ausdrücke in eckigen Klammern sind von Infrac verwendete Bezeichnungen.

**Tabelle 1: Überblick zu den Szenarien zur Verlagerung der SNF und zu Entwicklungen und Massnahmen für 2020:**

Technologie-Szenarien →	Emissionsfaktoren	HBEFA3.1 (HB)	Halbe Effizienz alle Fz Euro-6/VI (hE6)	HBEFA3.1 (HB)	HBEFA3.1 (HB)	Halbe Effizienz alle Fz Euro-6/VI (hE6)	HBEFA3.1; PW+Lfw Tempolimit 100	Halbe Effizienz alle Fz Euro-6/VI; PW+Lfw Tempolimit 100
	Flottenzusammensetzung	Referenzentwicklung 2020	Referenzentwicklung 2020	BAT SGF Euro-VI	BAT alle Fz Euro-6/VI	BAT alle Fz Euro-6/VI	Referenzentwicklung 2020	Referenzentwicklung 2020
Mengenszenarien ↓	Anz. Alpenquerende SNF							
Grundszenario [Realszenario]	1'457'000	G.1	G.2		G.3	G.4	G.7 (T100)	G.11 (T100)
Verlagerungsziel erreicht	650'000	VZ.1	VZ.2		VZ.3	VZ.4		
Zwischenziel erreicht	1'000'000	ZZ.1	ZZ.2					
Keine Verlagerungspolitik	2'250'000	KV.1	KV.2					
Aufhebung Nachtfahrverbot	1'673'000	G.6 (noNFV)	G.10 (no NFV)					
Sektorales Fahrverbot [Teil-Verlagerungszwang]	1'331'000	G.5 (SFV)	G.9 (SFV)					
Lieferwagenzunahme gem. Primes	1'457'000	G.8 (Lfw P)	G.12 (Lfw P)					

Sze von Infras berechnet.

Die Bedeutung der einzelnen Szenarien kann wie folgt zusammengefasst werden:

**Emissionsfaktoren:**

**"HBEFA3.1 (HB)":** Emissionsfaktoren je Fahrzeugkategorie und Euroklasse gemäss Handbuch HBEFA3.1.

**"Halbe Effizienz alle Fz Euro-6/VI (hE6)":** Emissionsfaktoren Euro 0-V/5 gemäss HBEFA3.1; EuroVI/6-Fahrzeuge weisen in den Emissionsfaktoren nur halbe Differenz zu entsprechendem EuroV/5 wie gemäss HBEFA3.1 auf.

**"PW+Lfw Tempolimit 100":** Die EFA der Pw, Lieferwagen und Motorräder nehmen bei hohen Geschwindigkeiten stark mit der Geschwindigkeit zu. Eine Ge-

schwindigkeitsreduktion würde deshalb zu reduzierten Emissionen und damit zu reduzierten Immissionen führen. Für dieses Szenarium wurde eine Geschwindigkeitsreduktion von 120 auf 105 km/h (Moleno; Erstfeld) bzw. von 100 auf 85 km/h (Rothenbrunnen) postuliert.

### **Flottenzusammensetzung:**

**"Referenzentwicklung 2020"**: Für Nicht-SNF Flottenzusammensetzung gemäss HBEFA3.1 für schweizerisches Mittel. Die Flottenzusammensetzung für den schweren Güterverkehr unterscheidet sich nach Verkehrsart (Binnen-, Import-, Export- und Transitverkehr). Basis der postulierten Euroklassenverteilungen der SNF sind die LSVA-Auswertungen des BAV 2001-2012 und Extrapolationen daraus bis 2020 durch Infrac (2013).

**"BAT SNF Euro-VI"**: Alle SNF weisen die Euroklasse VI auf.

**"BAT alle Fz Euro-6/VI"**: Alle Fahrzeuge weisen die Euroklasse 6/VI auf (BAT: Best available Technology).

### **Mengenszenarien:**

**"Grundscenario [Realszenario]"**: Fortführung des bisherigen Verlagerungspolitik; 1.457 Mio. SNF/Jahr an den Schweizer Alpenübergängen, wovon etwa 75% auf den Gotthard fallen, etwa 15% auf den San Bernardino und etwa 10% auf Simplon und Gd. St. Bernard.

**"Verlagerungsziel erreicht"**: 1 Mio. SNF/Jahr an den Schweizer Alpenübergängen.

**"Zwischenziel erreicht"**: 650'000 SNF/Jahr an den Schweizer Alpenübergängen.

**"Keine Verlagerungspolitik"**: Verkehrsentwicklung 2020 ohne Einführung der 40t-Limite und flankierende Massnahmen im Schienenverkehr.

**"Aufhebung Nachtfahrverbot"**: Aufhebung des bestehenden Nachtfahrverbots für SNF in der Schweiz; dadurch zusätzliches Aufkommen an SNF von 200'000/Jahr. Eine Verlagerung von SNF-Fahrten in die Nacht bedeutet selbst bei gleicher Fahrtenanzahl eine lufthygienische Verschlechterung, da Nachtfahrten bei im Mittel schlechteren Ausbreitungsbedingungen als tagsüber stattfinden, d.h. gleiche Emissionen führen in der Nacht zu höheren Immissionen.

**"Sektorales Fahrverbot [Teil-Verlagerungszwang]"**: Sektorales Fahrverbot (SFV) für Transporte bahnaffiner Güter auf der Strasse. Beim Verbot ähnlicher Warengruppen wie am Brenner würden 10.8% der alpenquerenden SNF am Gotthard und am San Bernardino wegfallen.

**"Lieferwagenzunahme gem. Primes"**: Wachstum des Aufkommens der Lfw bis 2020 wie beim Güterverkehr gemäss PRIMES (EU-Kommission, 2008), also um +25% von 2011 bis 2020.

Aus den Verkehrsaufkommen und den Emissionsfaktoren je Fahrzeugkategorie werden die Emissionen an NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> und an weiteren Komponenten für jede Stunde des Referenzjahres 2011 ermittelt. Dabei variieren diese Eingangsgrößen je nach Szenarium. In der Folge werden die Immissionen an NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> und PM10 bestimmt; NO<sub>x</sub> und PM10 mit Hilfe des 'Tau-Modells', NO<sub>2</sub> unter Beachtung der komplexen Wechselwirkungen zwischen direkt emittiertem und in der Atmosphäre aus NO gebildetem NO<sub>2</sub>.

Das 'Tau-Modell' ist ein empirisches Ausbreitungsmodell für quellennahe Bereiche, das die konkreten Ausbreitungsverhältnisse für jede Stunde konkreten Erhebungen der Schadstoffquellen (z.B. Verkehrszählungen) und der Immissionen entnimmt, s. z.B.: Oekoscience (2005b).

Die so bestimmten Effekte der angenommenen technischen Entwicklung bei den SNF und übrigen Verkehr (infolge Modernisierung der Flotte), der Erreichung des SNF-Verlagerungsziels und eines Tempolimits für den Leichtverkehr ergeben eine erhebliche Immissionsreduktion für NO<sub>2</sub>, für welches ein Jahresmittelgrenzwert von 30 µg/m<sup>3</sup> besteht. Die Szenarien 'Aufhebung des Nachtfahrverbotes' und 'Zunahme der Lfw nach PRIMES' sind in der folgenden Abbildung unberücksichtigt.

Bei den Emissionsfaktoren (EFA) nach 'HB' sind die Effekte der technischen Entwicklung grösser und die Effekte von Massnahmen kleiner als bei EFA nach 'hE6'. Die stetige Modernisierung der Fahrzeugflotten (bis 2020 71% EuroVI bei den SNF, 50% Euro6 bei den Pw) ist dabei sowohl bei 'HB' als auch bei 'hE6' vorausgesetzt.

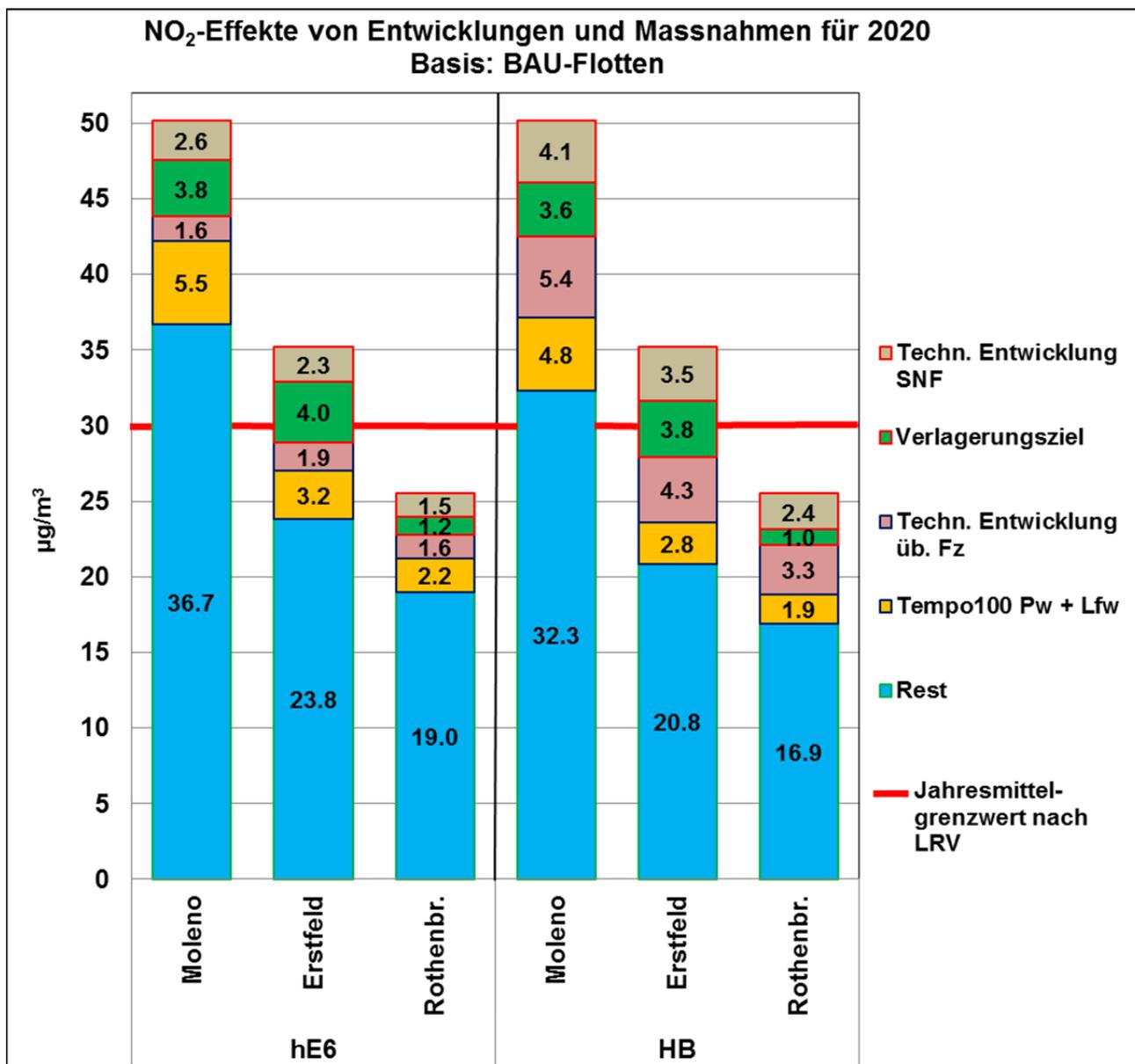
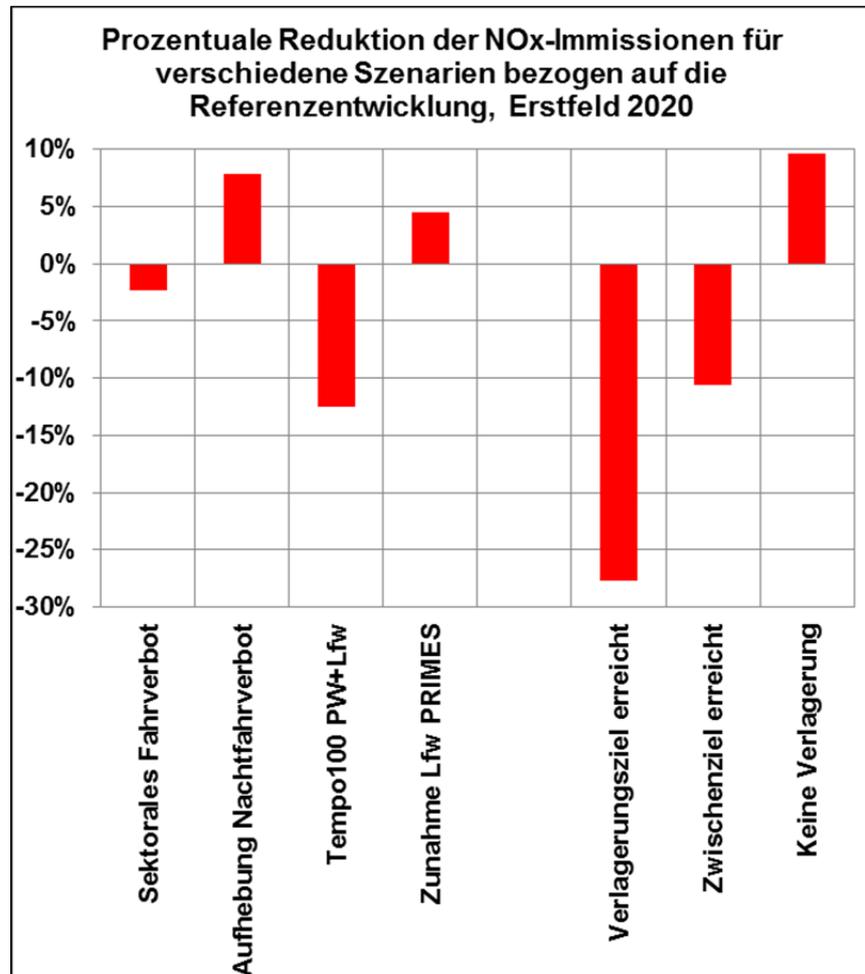


Abbildung 1: Effekte von Entwicklungen und Massnahmen auf NO<sub>2</sub>-Immissionen für 2020 nach den Ansätzen 'HB' und 'hE6' für die Emissionsfaktoren; ohne Berücksichtigung der Szenarien 'noNFV' und 'LfwP'. Die Ausgangswerte (Gesamthöhe der Säulen) sind die gemessenen Jahresmittel von 2011.

Standorte, die 2011 ein NO<sub>2</sub>-Jahresmittel von über 37 µg/m<sup>3</sup> aufwiesen, werden auf der Basis von 'hE6' (Emissionsfaktoren) die Grenzwerteinhaltung bis 2020 nur auf-grund der technischen Entwicklung vermutlich nicht schaffen. Auf der Basis von 'HB' (Emissionsfaktoren) werden es vermutlich nur Standorte mit über 43 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> im 2011 nicht schaffen; die Unterschiede der beiden Ansätze sind also erheblich, auch bezüglich der Betroffenheit von Standorten.

Die mit 'Tempo100' zu erreichenden Immissionsreduktionen sind wesentlich.

Am Beispiel der Immissionen an Gesamtstickoxid NO<sub>x</sub> für Erstfeld werden in der folgenden Abbildung die Effekte der einzelnen Szenarien einander gegenübergestellt. Sie gelten qualitativ auch für die übrigen Immissionen.



**Abbildung 2: Prozentuale Reduktion der NO<sub>x</sub>-Immissionen für verschiedene Szenarien bezogen auf die Referenzentwicklung für Erstfeld 2020.**

Die hauptsächlichsten Reduktionen werden mit den Szenarien 'Verlagerungsziel erreicht' und 'Tempo100 PW+Lfw' erreicht. Hier werden NO<sub>x</sub>-Reduktionen von 12-27% erreicht.

Die Szenarien mit den grössten Zunahmen betreffen 'Aufhebung Nachtfahrverbot' und 'Keine Verlagerung'. Hier werden NO<sub>x</sub>-Zunahmen von 8-10% erreicht.

Das sektorale Fahrverbot für Teile der SNF bringt nur lufthygienische Verminderungen um die 2%. Ein deutlich stärkeres Wachstum des Aufkommens an Liefer-

wagen gemäss PRIMES bringt ebenfalls einen relativ kleinen Anstieg der lufthygienischen Belastungen bis etwa 4%.

Für Moleno und ähnlich belastete Standorte (Muttenz, Camignolo, Härkingen ...) reicht die technologische Entwicklung zur Grenzwerteinhaltung bei NO<sub>2</sub> bis 2020 nicht aus. Dort braucht es zusätzliche Massnahmen.

Es braucht in der Urner Reusebene das Erreichen des Verlagerungsziels bei den SNF zur sicheren Einhaltung des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes bei den 'hE6'-Szenarien; bis es soweit ist, wäre Tempo100 für Pw und Lieferwagen eine wirksame Alternative. Bei den 'HB'-Szenarien reicht die technische Entwicklung zur Einhaltung des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes bis 2020.

Das sektorale Fahrverbot bringt relativ wenig Effekt; allenfalls ist es in den Massnahmen zur Erreichung des Verlagerungsziels enthalten.

Die tatsächliche Entwicklung der Emissionsfaktoren (einerseits die reale Modernisierung der Flotten, andererseits die Emissionsfaktoren je Euroklasse) ist ein sehr entscheidender Punkt in der lufthygienischen Entwicklung der nächsten 10 Jahre.

Beim CO<sub>2</sub> ist ebenfalls mit Fahrtenreduktionen oder beim Leichtverkehr mit einer Temporeduktion eine bedeutende Reduktion zu erzielen, also letztlich mit einer Treibstoffverbrauchsreduktion. Das Erreichen des Verlagerungsziels brächte eine Reduktion der gesamten CO<sub>2</sub>-Emission der A2 bei Erstfeld um etwa 17%.

# 1. Einleitung

In dieser Studie wird der Einfluss verschiedener Varianten der Entwicklung des alpenquerenden Güterverkehrs auf Emissionen und Immissionen von Luftschadstoffen bei den im inneralpinen Raum liegenden MfMU-Stationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen abgeschätzt. Auch der Effekt von bestimmten Entwicklungen und verkehrslenkenden Massnahmen wird evaluiert.

Das Ausgangsjahr ist 2011, was die meteorologischen Bedingungen (Ausbreitungsbedingungen für Luftschadstoffe) und das Verkehrsaufkommen betrifft. Die Szenarien werden für das Jahr 2020 berechnet, bis dahin könnten geplante Massnahmen voll greifen.

# 2. Die Szenarien des Verkehrsaufkommens 2020

Die Szenarien 2020 unterscheiden sich beim Verkehrsaufkommen im Wesentlichen an der Anzahl der Fahrzeuge im alpenquerenden Güterverkehr (AQGV). Es werden die folgenden vier Szenarien untersucht:

**Tabelle 2.1: Jährliche Anzahl SNF im alpenquerenden Güterverkehr (AQGV) in vier Szenarien 2020:**

	Sze	Alpentransit CH	Gotthard	S. Bernardino
<b>Grund-Szenario Verlagerung</b>	<b>G</b>	<b>1'457'000</b>	<b>1'094'000</b>	<b>216'000</b>
<b>Verlagerungsziel erreicht</b>	<b>VZ</b>	<b>650'000</b>	<b>512'000</b>	<b>95'000</b>
<b>Zwischenziel erreicht</b>	<b>ZZ</b>	<b>1'000'000</b>	<b>760'000</b>	<b>146'000</b>
<b>Keine Verlagerungspolitik</b>	<b>KV</b>	<b>2'225'000</b>	<b>1'610'000</b>	<b>320'000</b>

Für jeden untersuchten Querschnitt (Moleno, Erstfeld, Rothenbrunnen) kommt noch ortsspezifisch ein Anteil Nicht-AQGV hinzu; er leitet sich aus dem Verkehrsmodell UVEK für 2020 ab:

**Tabelle 2.2: Jährliche Anzahl SNF im nicht-alpenquerenden Güterverkehr (Nicht-AQGV) je Standort für jedes Szenarium:**

Nicht-AQGV	Zählung 2011	VM UVEK 2020	Δ (2011-2020)
Erstfeld	39'898	31'559	-21%
Moleno	105'341	112'470	+7%
Rothenbrunnen	120'105	136'794	+14%

Das Verkehrsmodell UVEK ist ein gesamtschweizerisches Modell, weshalb es an einzelnen Standorten zu Fluktuationen kommen kann, die wie im Falle Erstfeld nicht ganz realistisch erscheinen. Im Verhältnis zur Gesamtzahl an SNF sind die Zahlen für die Szenarien aber haltbar.

Das Verkehrsaufkommen in den übrigen Fahrzeugkategorien stellt sich gemäss Verkehrsmodell UVEK wie folgt dar; dabei werden die Verhältnisse im Aufkommen 2020/2011 angegeben:

**Tabelle 2.3: Faktoren des Verkehrsaufkommens 2020/2011 für die übrigen Fahrzeugkategorien:**

Faktoren Verkehr 2020/2011	Bus	Motorrad	Pw	Lfw
Gotthard (Tunnel)	1.02	1.17	1.11	1.05
San Bernardino (Tunnel)	1.03	1.12	1.11	1.07

Für die einzelnen Streckenabschnitte sind die Faktoren ähnlich wie für Gotthard- bzw. San Bernardinotunnel.

Die Wachstumsraten des Verkehrsmodells UVEK entsprechen nun bei den Pw und nahezu bei den Bussen den Angaben der PRIMES-Szenarien. Das PRIMES-Modell ist das Grundmodell für die Abschätzung der EU-Kommission (2008) der zukünftigen Entwicklung von Energie und Verkehr in Europa. Dieser Ansatz wurde auch im europäischen iMonitraf-Projekt für die DPSIR-Szenarien verwendet. Lediglich bei den Lieferwagen weist das UVEK-Modell deutlich geringere Wachstumsraten aus.

## 2.1. Szenarium 'LfwP'

In einem Zusatzszenarium zum Grundszenarium 'G' wird der Einfluss eines verstärkten Wachstums der Anzahl Lieferwagen untersucht (genauer: der Anzahl der als Lieferwagen gezählten Fahrzeuge).

Die Lieferwagen sind in den letzten Jahren auf den Alpentransitachsen von Gott- hard und San Bernardino stärker gewachsen als die Pw. Die folgende Tabelle zeigt das Aufkommen der Lieferwagen (Lfw) und Pw 2011 und dessen Änderung seit 2004:

<b>Lfw</b>	<b>Erstfeld</b>	<b>Moleno</b>	<b>Rothenbrunnen</b>
Aufkommen 2011(DTV)	2170	3962	2015
Proz. Änderung seit 2004	+25%	+58%	+33%

<b>Pw</b>	<b>Erstfeld</b>	<b>Moleno</b>	<b>Rothenbrunnen</b>
Aufkommen 2011(DTV)	17755	22152	13229
Proz. Änderung seit 2004	+6%	+5%	+9%

Das Aufkommen der Lieferwagen ist bei Moleno und Rothenbrunnen etwa so hoch wie bei den schweren Nutzfahrzeugen, bei Erstfeld etwa halb so hoch. Lieferwagen gelten als Leichtverkehr und sind rechtlich den Pw gleichgestellt, was verkehrslenkende Massnahmen betrifft (Nachtfahrverbot, LSVA, allfällige Al- pentransitbörse...). Auf der anderen Seite stellen sie einen zunehmenden Anteil an den Emissionen, weil diese nicht so effektiv wie bei den grossen Lkw reduziert werden können und trotzdem deutlich höher als bei den Pw sind.

In diesem Zusatzszenarium 'LfwP' soll das Aufkommen der Lfw bis 2020 wie der Güterverkehr gemäss PRIMES wachsen, also um +25% von 2011 bis 2020. Eine Verbindung zu anderen Fahrzeugkategorien wird nicht in Betracht gezogen. Es geht hier nicht um eine effektive Prognose, sondern nur darum, die lufthygienischen Effekte eines möglichen stärkeren Wachstums des Lieferwagenverkehrs abzuschätzen.

### 3. Die für 2020 postulierten Flottenzusammensetzungen nach Euroklassen

Die Motorfahrzeugflotten unterliegen einer stetigen Modernisierung hin zu höheren Euroklassen. Die Neuanschaffung von Fahrzeugen hängt auch von der wirtschaftlichen Lage ab und ist nicht nur eine technische Frage. Die SNF im Transitverkehr fahren pro Jahr wesentlich grössere Strecken als regional eingesetzte Lastwagen; sie werden deshalb häufiger ersetzt, was zur Folge hat, dass die SNF auf den Alpentransitstrecken im Durchschnitt moderner sind als im gesamtschweizerischen Durchschnitt.

Die geschätzten Euroklassenzusammensetzungen für 2020 wurden für alle Fahrzeugkategorien ausser den SNF dem HBEFA3.1 entnommen, die Zusammensetzung für die SNF wurde von Infrac (2013) übernommen. In der folgenden Tabelle wird die SNF-Zusammensetzung für den Gotthardtunnel angegeben, für die drei jeweiligen Streckenabschnitte ist die Zusammensetzung der SNF sehr ähnlich.

**Tabelle 3.1: Postulierte Euroklassenzusammensetzungen der Pw, Lfw und SNF für 2020, Flotte BAU ('Business as usual'):**

Kategorie	Motorrad	Pw	Lfw	Bus	SNF
Quelle	HBEFA3.1	HBEFA3.1	HBEFA3.1	HBEFA3.1	Infrac
<b>Euro0</b>	<b>2%</b>	<b>0%</b>	<b>1%</b>	<b>0%</b>	<b>0.0%</b>
<b>Euro1</b>	<b>13%</b>	<b>0%</b>	<b>2%</b>	<b>1%</b>	<b>0.1%</b>
<b>Euro2</b>	<b>9%</b>	<b>2%</b>	<b>5%</b>	<b>2%</b>	<b>0.3%</b>
<b>Euro3</b>	<b>26%</b>	<b>5%</b>	<b>11%</b>	<b>8%</b>	<b>2.4%</b>
<b>Euro4</b>	<b>16%</b>	<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>8%</b>	<b>1.3%</b>
<b>Euro5</b>	<b>35%</b>	<b>24%</b>	<b>23%</b>	<b>30%</b>	<b>24.6%</b>
<b>Euro6</b>		<b>49%</b>	<b>39%</b>	<b>50%</b>	<b>71.4%</b>

Das HBEFA3.1 geht gesamtschweizerisch von 49% EuroVI-SNF für 2020 aus; wie stark sich die SNF-Flotte auf Europas Strassen in den nächsten Jahren tatsächlich weiter erneuern wird, wird weiter zu beobachten sein.

In diesen Szenarien werden diese Euroklassenverteilungen **BAU** genannt (Business as usual') und nicht weiter variiert. Daneben wurden für einige Szenarien auch reine EuroVI/6-Flotten postuliert (**BAT**: 'Best available Technology').

## 4. Die Emissionsfaktoren je Euroklasse

### 4.1. Die in den Szenarien verwendeten Emissionsfaktoren

Die Emissionen pro Kilometer eines Strassenabschnitts berechnen sich je Komponente wie folgt:

$$E = \sum_{i=1}^n [V(i) * \sum_{j=1}^k [(a(i,j) * e(i,j))]]$$

Mit:

$V(i)$ : Verkehrsaufkommen der Fahrzeugkategorie  $i$ ;

$a(i,j)$ : Relativer Anteil der Euroklasse  $j$  in der Fahrzeugkategorie  $i$ ;

$e(i,j)$ : Emissionsfaktor der betreffenden Komponente für die Euroklasse  $j$  der Fahrzeugkategorie  $i$ .

Die Emissionsfaktoren  $e(i,j)$  hängen vom Strassentyp und der Fahrsituation ab. Sie wurden dem HBEFA3.1 entnommen für die Situation 'Autobahn Schweiz, ländlich, flüssiger Verkehr' und einer dem jeweiligen Szenarium entsprechenden mittleren Geschwindigkeit je Fahrzeugkategorie. Diese betrug für die SNF stets 86 km/h, für die Busse 103 km/h gemäss Annahmen des HBEFA3.1. Die Emissionen der Pw und Lfw nehmen mit der Geschwindigkeit stark zu (s. Kap. 5.3). Sie wurde mit Ausnahme des 'Tempo100'-Szenariums für Moleno und Erstfeld zu 120 km/h, für Rothenbrunnen zu 100 km/h angesetzt.

In diesen Szenarien werden zwei Varianten der Emissionsfaktoren (EFA) je Euroklasse verwendet:

- HB: Alle Emissionsfaktoren je Euroklasse werden ausnahmslos dem HBEFA3.1 entnommen.
- hE6: 'Halbe Effizienz EuroVI/6': Alle Emissionsfaktoren Euro 0-V/5 werden dem HBEFA3.1 entnommen; EuroVI/6-Fahrzeuge weisen in den Emissionsfaktoren nur halbe Differenz zu entsprechendem EuroV/5 wie gemäss HBEFA3.1 auf.

Die Verwendung von zwei verschiedenen Ansätzen für die EFA in den Szenarien reflektiert die Tatsachen, dass man im Sommer 2012 noch nicht weiss, wie sich die gewaltigen Emissionsreduktionen der EuroVI/6-Fahrzeuge im Massenbetrieb

in Europa umsetzen werden, und dass an manchen Messstandorten in den letzten etwa 10 Jahren die erzielten Immissionsreduktionen beim NO<sub>x</sub> den postulierten Emissionsreduktionen gemäss HBEFA3.1 nicht ganz zu folgen vermochten. (Beispielsweise Moleno und Erstfeld Trend 2004-2011: NO<sub>x</sub>-Immissionen -3.5 bis -4 %/Jahr, NO<sub>x</sub>-Emissionen -5 bis -6 %/Jahr [Berechnungsbasis: Oekoscience (2011)]).

In einer neueren Studie der TU Graz (2010) über Emissionsmessungen an 367 Pw zeigte sich, dass die Emissionen an Partikelmasse, Kohlenwasserstoffen und CO von Euro0 bis Euro5 zwar deutlich abgenommen haben; die NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Emissionen für Euro4- und Euro5-Pw verharrten aber in den CADC-Fahrzyklen etwa auf den Werten von Euro3. Für den hier besonders interessierenden Autobahnzyklus wiesen die NO<sub>x</sub>-EFA von Euro4- und Euro5-Pw im Mittel im CADC Werte von etwa 90% der Euro3-Pw aus, im Typprüfzyklus NEDC von knapp 60%; obwohl das HBEFA3.1 an sich von CADC-Zyklen ausgeht, postuliert es für Euro4- und Euro5-DieselPw ebenfalls NO<sub>x</sub>-EFA von nur knapp 60% der Euro3-DieselPw. Nach der neueren Studie der TU Graz führt also die Modernisierung der Flotte der Diesel-Pw zu einer geringeren Abnahme der NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-EFA als vom HBEFA3.1 postuliert.

Ein weiterer kritischer Punkt der Fahrzeugemissionen betrifft den Umstand, dass die elektronischen Steuerungen der EuroV/5- und EuroVI/6-Fahrzeuge in Motorleistungsbereichen zwischen den Typprüfpunkten eine Treibstoffverbrauchsoptimierung zu Lasten der Stickoxid-Emissionen erzeugen können. Diese Problematik könnte nur mit gesetzlichen Vorschriften auf europäischer Ebene angegangen werden.

Die Verwendung der beiden EFA-Ansätze bedeutet weder, dass die EFA des HBEFA3.1 bis 2020 auf keinen Fall erreicht werden könnten, noch dass zumindest die schlechteren Ansätze gemäss hE6 garantiert werden könnten. Die weitere Entwicklung bei den Fahrzeugflotten wird auch von der politischen und wirtschaftlichen Entwicklung in Europa abhängen. Die beiden EFA-Varianten sollen die generelle Unsicherheit auf diesem Gebiet aufzeigen und dennoch ein Gefühl dafür geben, wohin immissionsseitig die Reise geht.

Der Praxistest der Emissionsentwicklungen kann am effektivsten anhand von strassennahen mehrjährigen Immissionsmessungen durchgeführt werden. Von daher ist es sehr wichtig, dass die existierenden mehrjährigen strassennahen Messstandorte zumindest solange bestehen bleiben, bis der NO<sub>2</sub>-Grenzwert schweizweit sicher eingehalten wird.

## 4.2. Konsequenzen der Entwicklung der Emissionsfaktoren für Zukunftsszenarien

Die Emissionsfaktoren haben sich mit zunehmender Euroklasse in allen Fahrzeugkategorien beträchtlich verringert. Auch von Euro V/5 zu VI/6 werden erhebliche Reduktionen erwartet, die je nach Fahrzeugkategorie und Komponente aber sehr unterschiedlich ausfallen. Die folgenden Grafiken geben einen Überblick über den relativen Verlauf der EFA je Euroklasse, jeweils mit EFA(EuroVI/6)=1.

Die EFA für NO<sub>x</sub> nehmen bei den schweren Fahrzeugen viel stärker ab als bei den leichten. Beim NO<sub>2</sub> ist dies bis EuroV/5 auch so. Bei den EFA für die Partikelmasse (Auspuff) verläuft die Entwicklung bei leichten und schweren Fahrzeugen ähnlicher, allerdings wird bei den schweren Fahrzeugen von EuroV auf VI

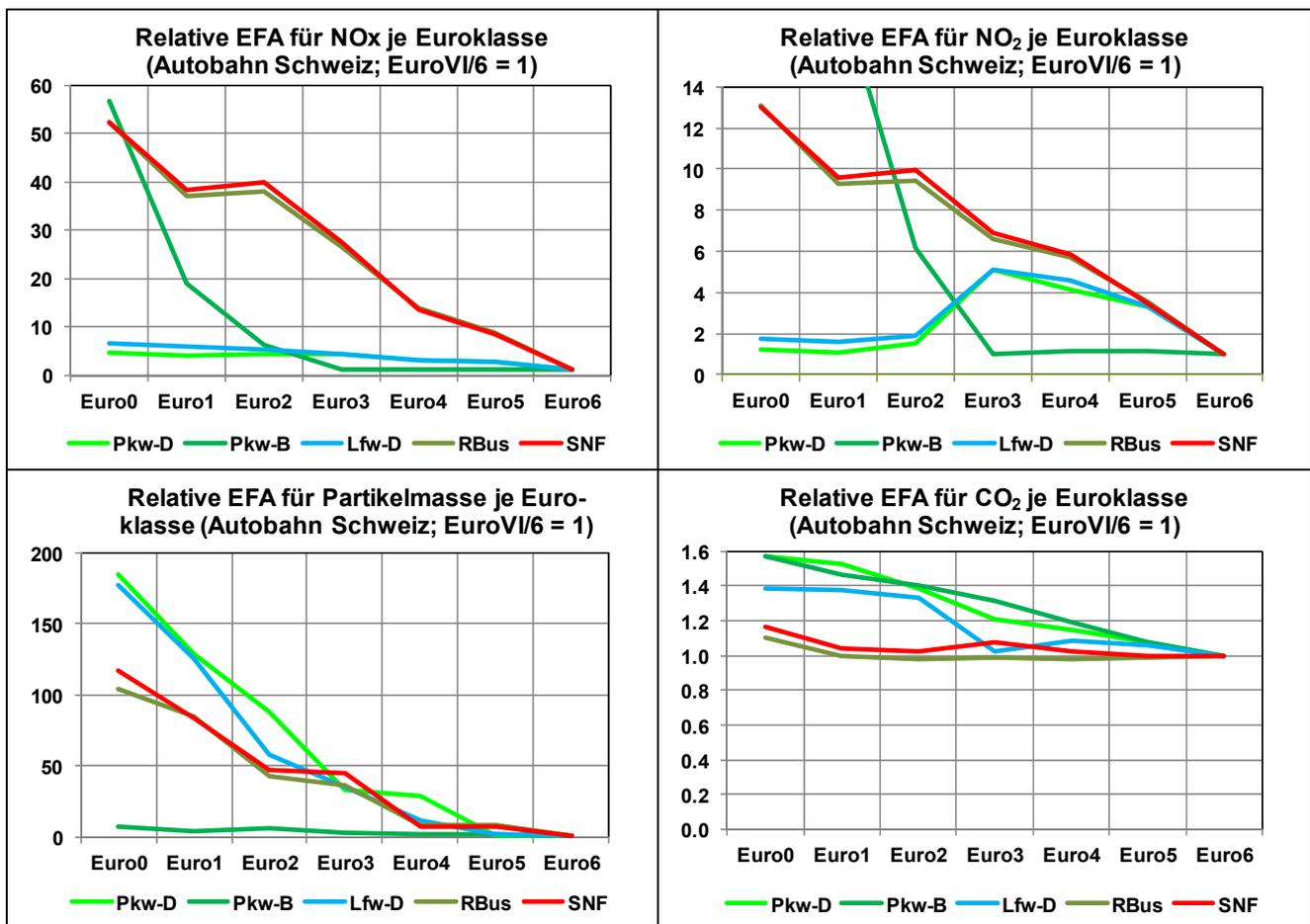


Abbildung 4.1: Relative Emissionsfaktoren (für EuroVI/6 = 1) von NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub>, Partikelmasse und CO<sub>2</sub> für verschiedene Fahrzeugkategorien, Autobahn Schweiz.

nochmals eine Reduktion um einen Faktor 7-8 erwartet, währenddem es sich bei leichten Fahrzeugen um maximal 20% handelt. Die EFA für CO<sub>2</sub> reduzieren sich demgegenüber gemäss HBEFA3.1 um relativ wenig mit zunehmender Euroklasse bei den leichten Fahrzeugen, bei den schweren bleiben sie ab EuroIV praktisch stabil.

Aus diesem Bild lässt sich ableiten, dass der Anteil der schweren Fahrzeuge an den Gesamtemissionen bei Stickstoffoxiden und Partikelmasse mit zunehmender Modernisierung geringer werden wird (etwa gleichbleibender Anteil am Verkehrsaufkommen vorausgesetzt), währenddem er beim CO<sub>2</sub> noch etwas steigen wird. Im Weiteren kann eine wesentliche Reduktion der CO<sub>2</sub>-Emissionen des Schwerverkehrs nur durch eine Fahrtenreduktion erreicht werden, beim Leichtverkehr ist auch die verstärkte Hinwendung zu verbrauchsärmeren Fahrzeugen möglich.

Die nächste Abbildung zeigt das Verhältnis der EuroVI/6-EFA verschiedener Fahrzeugkategorien zu Diesel-Pkw. Bei den Stickstoffoxiden werden die Lieferwagen die grössten Emittenten werden, Busse und SNF emittieren etwa gleich viel wie ein Diesel-Pkw (innerhalb der Gruppe von EuroVI/6-Fahrzeugen!). Bei der Partikelmasse (PM) und vor allem beim CO<sub>2</sub> ist das Übergewicht der schweren Fahrzeuge noch vorhanden, aber auch beim PM deutlich geringer als bei niedrigeren Euroklassen. Mit EuroVI/6 soll sich also eine grosse Umstellung der Emissionsgegebenheiten der Strassenfahrzeuge ergeben.

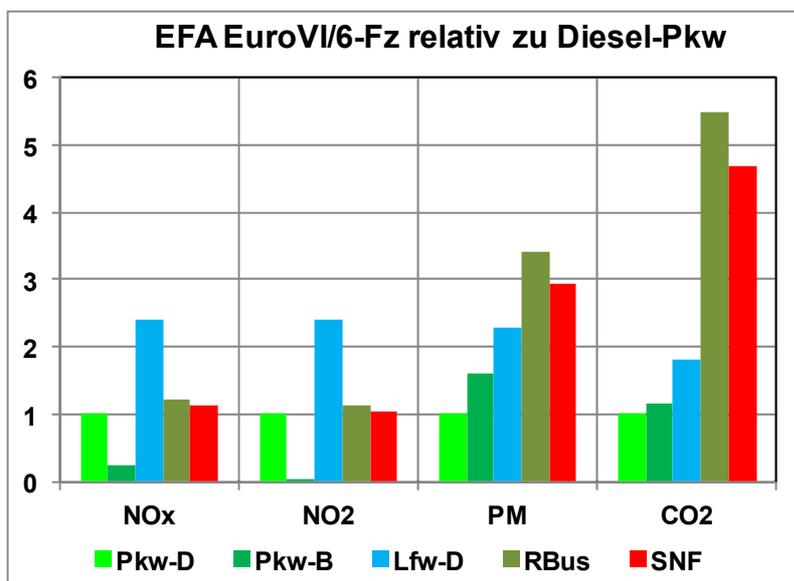


Abbildung 4.2: EFA EuroVI/6 verschiedener Fahrzeugkategorien relativ zu Diesel-Pkw, Autobahn Schweiz.

### 4.3. Emissionsfaktoren für die Wiederaufwirbelung von PM10

Der Einbezug der Wiederaufwirbelung von Partikeln in die Emissionsfaktoren geschieht anhand der Studie von EMPA und PSI (2009), Fall 'Reiden (Autobahn)'. Danach haben im Jahre 2007 die vom Auspuff stammenden Anteile am PM10 41%, die von der Aufwirbelung stammenden Anteile 59% der gesamten PM10-Konzentration ausgemacht. Somit kann der EFA für PM10<sub>non-exhaust</sub> zu 59/41 des Auspuff-EFA im Jahre 2007 (gemäss HBEFA3.1) angesetzt werden, unterschieden nach Schwer- und Leichtverkehr.

Es ergaben sich die folgenden Werte für EFA PM10<sub>non-exhaust</sub>:

Für den Leichtverkehr: 0.035 g/km;

für den Schwerverkehr: 0.156 g/km.

Diese EFA ändern sich nicht mit der Euroklasse.

## 5. Szenarien verkehrslenkender Massnahmen für 2020

Der lufthygienische Effekt von drei verschiedenen verkehrslenkenden Massnahmen wurde mit Szenarien für 2020 abgeschätzt, welche von der bisherigen Verlagerungspolitik (Grundszenarium G.) ausgegangen sind.

### 5.1. Sektorales Fahrverbot 'SFV'

Bahnaffine Güter wären unter bestimmten Voraussetzungen (kein Ziel-/Quellverkehr) zwingend auf die Bahn zu verladen nach dem Beispiel Tirols (2007), wo diese Güter 6.6% der gesamten SGV-Fahrten ausmachen. Das schweizerische SFV soll die gleichen Warengruppen wie Tirol umfassen, da diese vom EuGH als bahnaffin akzeptiert wurden, d.h. Bahntransport ist zumutbar.

Transportalternativen für vom SFV betroffene Lkw-Ladungen müssen nicht schon heute bestehen, und es muss sich dabei nicht unbedingt um eine RoLa handeln.

Für das schweizerische SFV wurde folgender Ansatz gewählt: Die Prozentsätze der vom SFV betroffenen Transporte **je Warengruppe nach NST2007** werden für den Brenner bestimmt und auf die Schweiz übertragen. Daraus wird die Gesamtzahl der in der Schweiz vom SFV betroffenen Transporte genähert. Binnenverkehr ist dabei nur zu  $\frac{3}{4}$  betroffen bei einer Transportdistanz > 200 km.

Folgende Tabelle stellt die SFV an Brenner und Gotthard einander gegenüber:

Tabelle 5.1: Vom SFV betroffene SNF-Fahrten an Gotthard und Brenner:

Warengruppe NST2007	Bezeichnung	SFV Brenner	SFV Gotthard
3, 14	Abfälle, die im Europäischen Abfallverzeichnis enthalten sind, Steine, Erden, Aushub. Nichteisen- und Eisenerze, Marmor und Travertin.	60'000	25'500
1, 12	Rundholz und Kork, Kraftfahrzeuge und Anhänger	77'000	44'500
9, 10	Fliesen (keramisch), Stahl.	58'000	16'000
	<b>TOTAL</b>	<b>195'000</b>	<b>86'000</b>

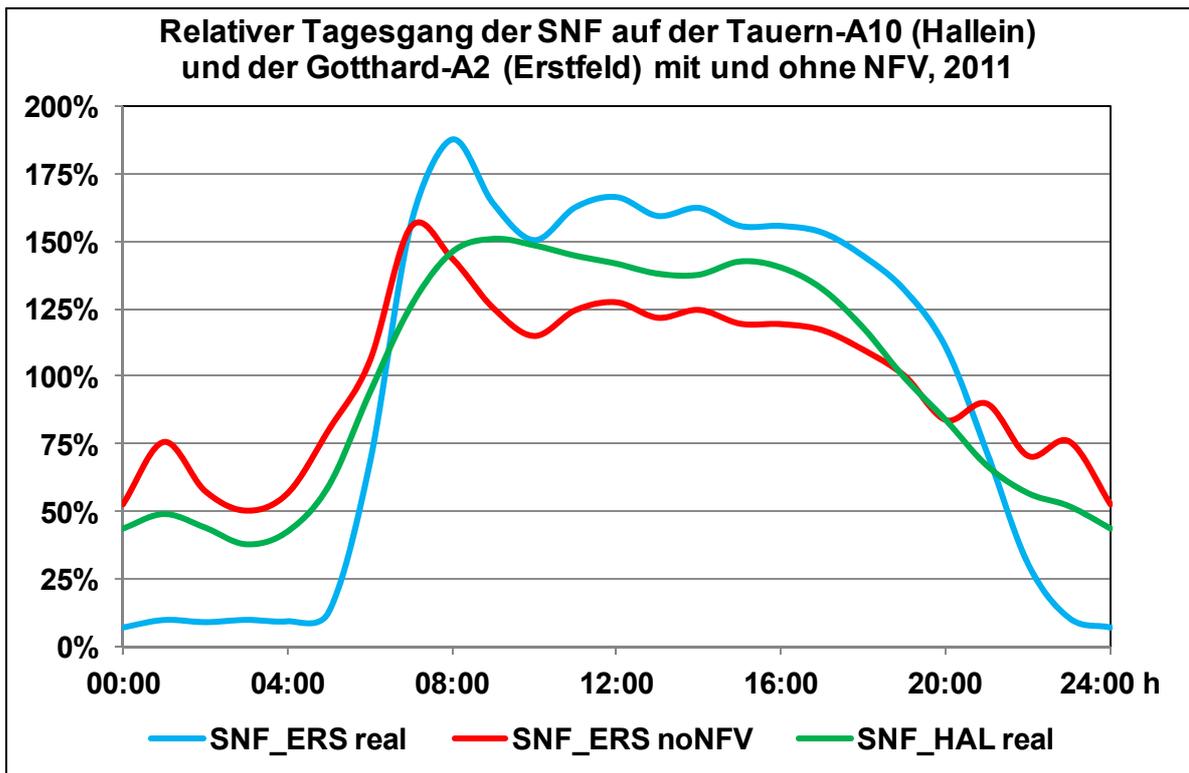
Im Ergebnis fallen 10.8% der alpenquerenden SNF am Gotthard und am San Bernardino im Szenarium 'SFV' weg. Die obige absolute Zahl gilt für 2009 und wächst mit dem SNF-Wachstum mit.

## 5.2. **Aufhebung des Nachtfahrverbots für SNF 'noNFV'**

Das Nachtfahrverbot (NFV) für die SNF bedeutet einerseits eine Lärmverminderung zu sensiblen Nachtzeiten; andererseits eine lufthygienische Verbesserung, da Nachtfahrten bei im Mittel schlechteren Ausbreitungsbedingungen stattfinden, d.h. gleiche Emissionen führen in der Nacht zu höheren Immissionen. Bei Aufhebung des Nachtfahrverbots würden nachts gleichwohl weniger Lkw fahren als tagsüber, es gibt da einen natürlichen Tagesgang. Für die theoretische Umlagerung des SNF-Verkehrs vom Tag in die Nacht für das Szenarium "Aufhebung Nachtfahrverbot" wurden Erfahrungen an österreichischen Transit-Autobahnen herangezogen, wo es solche mit (A12; Brenner) und ohne Nachtfahrverbot (A10; Tauern) gibt (Oekoscience (2004); (2005a)). Es wurde angenommen, der relative Tagesgang der SNF am Gotthard gleiche sich bei einer Aufhebung des Nachtfahrverbots an denjenigen der Tauern-Autobahn an.

Im Weiteren hat die Studie von Infrac, Rapp Trans AG und Kurt Moll (2011) ermittelt, dass bei einer Aufhebung des Nachtfahrverbots mit zusätzlich 200'000 SNF im AQQV jährlich in der gesamten Schweiz zu rechnen wäre. Gemäss Alpinfo 2011 (BAV 2012) verteilte sich der AQQV 2011 zu 73.6% auf den Gotthard und zu 15.4% auf den San Bernardino (zu 10% auf Simplon und Gd. S. Bernard). Entsprechend hätte sich der Zusatzverkehr an SNF infolge Aufhebung des NFV zu 147'200 SNF am Gotthard und zu 30'800 SNF am San Bernardino aufgeteilt. Tageszeitlich wurde dieser Zusatzverkehr zu 75% in die Zeitspanne von 20-7 Uhr, zu 25% in diejenige von 7-20 Uhr gelegt; innerhalb einer Zeitspanne wurde er jeweils proportional zum bereits bestehenden Verkehr angesetzt.

Die folgende Grafik zeigt als Ergebnis die **relativen** Tagesgänge (Mittelwert jeder Kurve = 100%!) des SNF-Verkehrs 2011 real bei Erstfeld (mit NFV), real bei Hallau (Tauern, ohne NFV) und hypothetisch bei Erstfeld ohne NFV (mit Zusatzverkehr).



**Abbildung 5.1:** Relative Tagesgänge (Mittelwert jeder Kurve = 100%!) des SNF-Verkehrs 2011 real bei Erstfeld (mit Nachtfahrverbot NFV), real bei Hallein (Tauern, ohne NFV) und hypothetisch bei Erstfeld ohne NFV (mit Zusatzverkehr).

Die folgende Tabelle zeigt die **Anteile** jeder Tagesstunde am gesamten Verkehr der SNF (hier ist die Summe über alle 24 Tagesstunden = 100%! ). Angegeben werden die Werte für Moleno, Erstfeld und Rothenbrunnen sowohl für die reale Situation 2011 (mit Nachtfahrverbot) als auch hypothetisch ohne NFV (mit Zusatzverkehr) und auch als Vergleich die realen Werte 2011 für Hallein (Tauern, ohne NFV). Die Anteile der SNF von 22-6 Uhr wurden auch für die Lärmstudien verwendet.

**Tabelle 5.2: Anteil jeder Tagesstunde von 0-24 Uhr am gesamten Verkehr der SNF (Summe über alle 24 Tagesstunden = 100%). Werte für Moleno, Erstfeld und Rothenbrunnen sowohl für die reale Situation 2011 (mit Nachtfahrverbot) als auch hypothetisch ohne NFV (mit Zusatzverkehr); reale Werte 2011 für Hallein (Tauern, ohne NFV).**

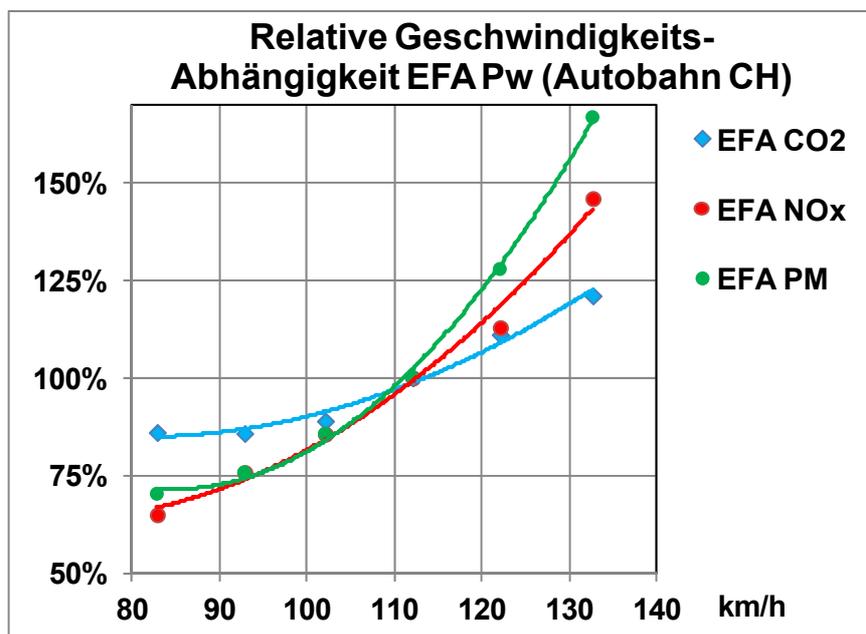
Tageszeit	SNF_Moleno real	SNF_Moleno noNFV	SNF_Erstfeld real	SNF_ERS noNFV	SNF_Rothenbrunnen real	SNF_Rothenbrunnen noNFV	SNF_Hallein (Tauern) real
01:00	0.4%	3.0%	0.3%	2.2%	0.4%	1.7%	2.1%
02:00	0.5%	2.4%	0.4%	2.4%	0.3%	1.5%	1.8%
03:00	0.4%	2.0%	0.4%	2.1%	0.5%	2.0%	1.6%
04:00	0.4%	2.3%	0.4%	2.3%	0.4%	1.7%	1.8%
05:00	0.5%	3.1%	0.5%	3.3%	0.6%	2.8%	2.5%
06:00	3.5%	4.4%	2.8%	4.4%	3.0%	4.4%	3.9%
07:00	5.8%	5.7%	6.5%	6.4%	6.7%	6.9%	5.3%
08:00	7.2%	5.6%	7.8%	6.0%	7.8%	6.5%	6.1%
09:00	7.1%	5.6%	6.8%	5.2%	7.1%	6.0%	6.3%
10:00	7.1%	5.6%	6.3%	4.8%	7.1%	5.9%	6.2%
11:00	7.1%	5.6%	6.8%	5.2%	7.7%	6.5%	6.0%
12:00	6.9%	5.4%	6.9%	5.3%	7.5%	6.3%	5.9%
13:00	6.0%	4.6%	6.6%	5.1%	6.2%	5.2%	5.8%
14:00	6.4%	5.0%	6.8%	5.2%	6.7%	5.6%	5.7%
15:00	6.7%	5.3%	6.5%	5.0%	6.9%	5.8%	5.9%
16:00	6.7%	5.3%	6.5%	5.0%	6.8%	5.8%	5.8%
17:00	6.4%	5.0%	6.4%	4.9%	6.4%	5.4%	5.5%
18:00	6.0%	4.6%	6.0%	4.6%	5.7%	4.8%	4.9%
19:00	5.4%	4.2%	5.5%	4.2%	4.6%	3.8%	4.1%
20:00	4.3%	3.3%	4.6%	3.5%	3.6%	3.0%	3.5%
21:00	2.9%	3.6%	3.0%	3.7%	2.3%	2.8%	2.8%
22:00	1.5%	3.0%	1.3%	2.9%	1.0%	2.2%	2.4%
23:00	0.5%	3.0%	0.4%	3.1%	0.4%	1.7%	2.2%
24:00	0.4%	2.2%	0.3%	2.2%	0.4%	1.7%	1.8%
<b>22-6 h</b>	<b>6.6%</b>	<b>22.3%</b>	<b>5.5%</b>	<b>22.0%</b>	<b>6.0%</b>	<b>17.4%</b>	<b>17.7%</b>

### 5.3. Permanente Geschwindigkeitsreduktion des Leichtverkehrs 'Tempo100'

Die EFA der Pw, Lieferwagen und Motorräder nehmen bei hohen Geschwindigkeiten stark mit der Geschwindigkeit zu. Eine Geschwindigkeitsreduktion würde deshalb zu reduzierten Emissionen und damit zu reduzierten Immissionen führen.

Einwöchige Stichprobenmessungen der Pw-Geschwindigkeit im Mai 2009 lagen für Maienfeld (A13), Reiden (A2) und Moleno (A2) bei 117 – 125 (Moleno) km/h als Wochenmittel. Für dieses Szenarium wurde eine Geschwindigkeitsreduktion von 120 auf 105 km/h (Moleno; Erstfeld) bzw. von 100 auf 85 km/h (Rothenbrunnen) postuliert.

Die folgenden beiden Abbildungen zeigen die relative Geschwindigkeitsabhängigkeit der EFA von NO<sub>x</sub>, PM und CO<sub>2</sub> für Pw und Lieferwagen gemäss HBEFA3.1.



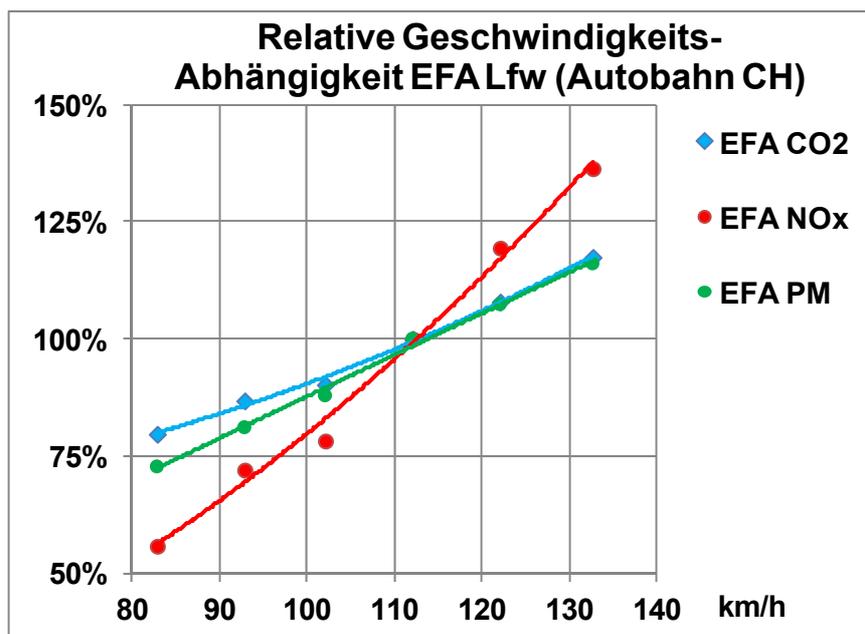


Abbildung 5.2: Relative Geschwindigkeitsabhängigkeit der EFA von NOx, PM und CO<sub>2</sub> für Pw (oben) bzw. Lieferwagen (unten). 100% = EFA bei 112 km/h; bei 112 km/h liegt ein Bestimmungspunkt für die EFA für den Autobahnzyklus im HBEFA3.1.

Die Geschwindigkeit der SNF wurde in allen Szenarien konstant zu 86 km/h angesetzt. Was die **Abhängigkeit der NOx-Emissionen des schweren Güterverkehrs von der Fahrgeschwindigkeit** betrifft, so schreibt die TU Graz (2012) in ihrem Bericht vom Januar (Zitat):

*" LKW-Generationen aus den 90er Jahren (EURO-0 bis EURO-II) zeigen hier mit sinkenden Durchschnittsgeschwindigkeiten ähnliche Abnahmen wie bei für Kraftstoffverbrauch bzw. CO<sub>2</sub>-Ausstoß. Für modernere Fahrzeuggenerationen (LKW ab EURO-III) kann allerdings durch eine Absenkung des Fahrgeschwindigkeitsniveaus keine Reduktion der NOx-Emissionen bewirkt werden. Diese Tatsache ist vor allem durch Merkmale des Verfahrens zur Emissionszertifizierung von Nutzfahrzeugmotoren von EURO-III bis EURO-V zu erklären. Diese Motorengenerationen müssen in der Typprüfung die Emissionsgrenzwerte in den Zyklen ESC (European Stationary Cycle) und ETC (European Transient Cycle) einhalten. In diesen Zyklen ist der Bereich niedriger Motordrehzahlen jedoch nur schwach abgedeckt. Dies führt dazu, dass die so zertifizierten Motoren im unteren Drehzahlbereich auf ein höheres NOx-Niveau zu Gunsten eine besseren Kraftstoffverbrauchs abgestimmt werden können. Somit bewirken die Fahrzyklen für die strengeren Tempolimits durch die Absenkung der Motordrehzahlen generell eine Erhöhung des NOx-Ausstoßes. Für Fahrzeuge ausgerüstet SCR-Abgasnachbehandlung („Selective Catalytic Reduction“; ein Verfahren zur Reduktion der NOx-Emissionen in einem Katalysator unter Zuhilfenahme z.B. einer wässrigen*

Harnstofflösung) ist zudem noch ein weiterer Effekt maßgeblich: die Effizienz der NO<sub>x</sub>-Reduktion im Katalysator wird maßgeblich durch das Temperaturniveau im Abgassystem beeinflusst. Höhere Temperaturen begünstigen grundsätzlich die Effizienz der Abgasnachbehandlung. Durch die geringeren Motorlasten in den Zyklen mit den niedrigeren Durchschnittsgeschwindigkeiten sinkt also die Konvertierung der motorischen NO<sub>x</sub>-Emissionen im SCR-System was zu höherem NO<sub>x</sub>-Ausstoß am Auspuff führt. Dieser Effekt tritt zudem noch verstärkt zutage durch die Tatsache, dass sowohl im ESC als auch im ETC praktisch nur hohe Temperaturen im Abgassystem auftreten wodurch die SCR-Fahrzeuge zertifiziert bis inklusive EURO-V auch nicht auf hohe SCR-Effizienzen bei niedrigen Abgastemperaturen ausgelegt sind."

Bezüglich EuroVI-Lkw sind die Geschwindigkeitsabhängigkeiten der EFA noch sehr unsicher. Die folgenden Grafiken zeigen die NO<sub>x</sub>-EFA für den schweren Güterverkehr in Prozent des Wertes für die Standardgeschwindigkeit auf Autobahnen (86 km/h).

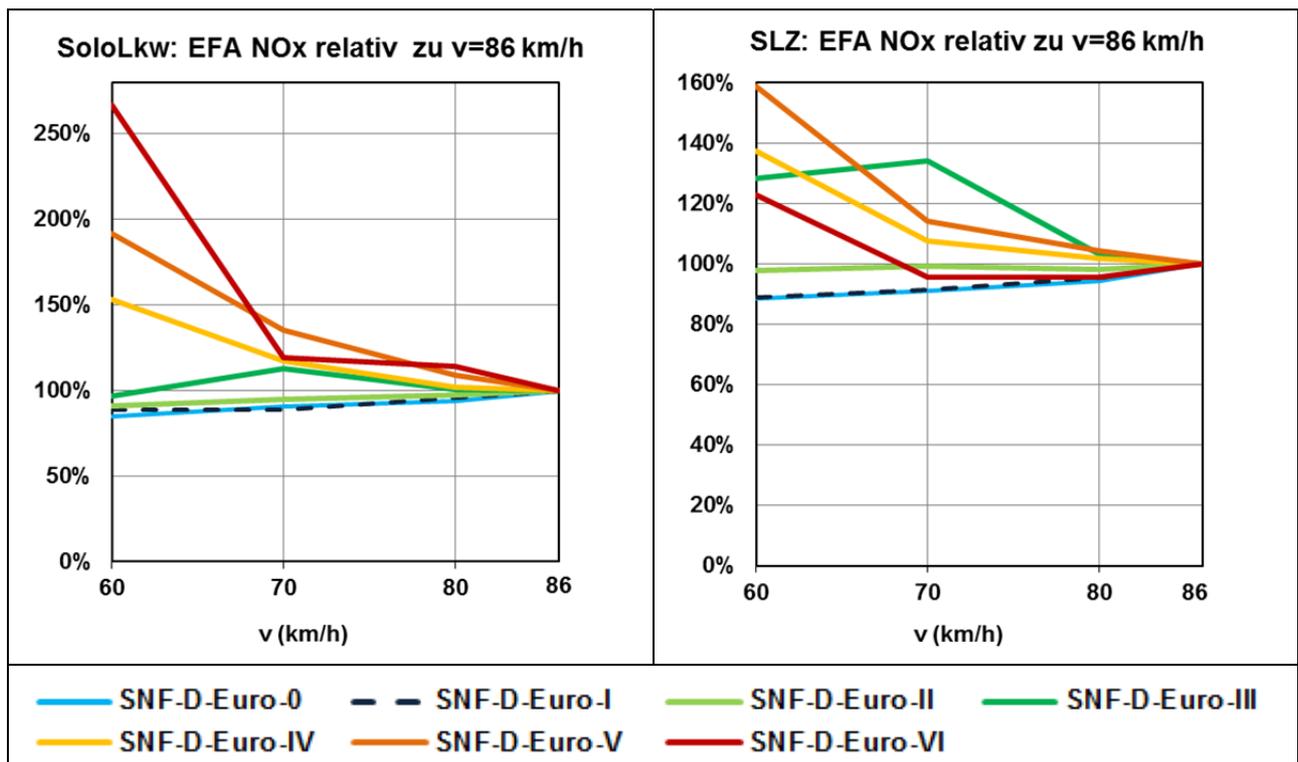


Abbildung 5.3: Relative Emissionsfaktoren (EFA) für NO<sub>x</sub> je Euroklasse in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit (100% = EFA bei 86 km/h) für Sattel- und Lastenzüge (SLZ; rechts) und SoloLkw (links). Datenquelle: "Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf den Emissionsausstoß von LKW größer 7,5t auf Autobahnen", TU Graz, Januar 2012.

Über die Emissionsfaktoren für Geschwindigkeiten über 86 km/h ist nichts bekannt. Da die Abgastechnik für Geschwindigkeiten im Bereich 85 – 90 km/h opti-

miert ist, dürfte bei höheren Geschwindigkeiten der steigende Fahrwiderstand wieder an Bedeutung gewinnen. Einwöchige Stichprobenmessungen der Geschwindigkeit des Schwerverkehrs im Mai 2009 (nur Montag – Samstag) lagen für Maienfeld (A13), Reiden (A2) und Moleno (A2) bei 90 - 93 km/h als **Wochenmittel**, wobei nur Viertelstunden mit mehr als 10 Fahrzeugen je Fahrrichtung berücksichtigt wurden. Einzelne Fahrzeuge während der Nacht gingen somit nicht in die Mittelwertbildung ein. Der Schwerverkehr enthält neben den SNF auch die Busse, welche aber nur einen kleinen Teil des Schwerverkehrs ausmachen, z.B. bei Moleno 8% im 2011. Unter der Annahme, dass die Busse um 12 km/h schneller fahren als die SNF, fahren letztere im Wochenmittel mit 89 – 92 km/h.

## 6. Die Szenarien 2020 im Überblick

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick, welche Emissionen und Immissionen für alle Szenarien berechnet wurden:

**Tabelle 6.1: In den Szenarien berechnete Emissionen und Immissionen:**

	<b>Emissionen</b>	<b>Immissionen</b>
<b>NO<sub>x</sub></b>	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>NO<sub>2</sub></b>	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>PM exh.</b>	<b>x</b>	
<b>PM10</b>	<b>x</b>	<b>x</b>
<b>CO<sub>2</sub></b>	<b>x</b>	
<b>Russ</b>		<b>x</b>

Weitere Ausführungen zur Bestimmung der Immissionen finden sich im nächsten Kapitel.

Es wurden insgesamt 20 Szenarien berechnet. Dabei handelte es sich einerseits um vier Verlagerungsszenarien für den SGV (mit Varianten in der Flottenzusammensetzung und den Emissionsfaktoren), andererseits um vier Szenarien zu Entwicklungen (starke Zunahme der Anzahl Lieferwagen gemäss Primes) und Massnahmen (Aufhebung Nachtfahrverbot, Sektorales Fahrverbot für Teile der SNF, Tempo 100) ausgehend vom Grundszenarium 'G' (mit Varianten in den Emissionsfaktoren).

Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht über alle berechneten Szenarien. Sie orientiert sich an der Auflistung der berechneten Szenarien bei Infrac (2013). Die von Infrac berechneten Szenarien sind in der folgenden Tabelle violett gekennzeichnet. Ausdrücke in eckigen Klammern sind von Infrac verwendete Bezeichnungen.

**Tabelle 6.2: Überblick zu den Szenarien zur Verlagerung der SNF und zu Entwicklungen und Massnahmen für 2020:**

Technologie-Szenarien →	Emissionsfaktoren	HBEFA3.1 (HB)	Halbe Effizienz alle Fz Euro-6/VI (hE6)	HBEFA3.1 (HB)	HBEFA3.1 (HB)	Halbe Effizienz alle Fz Euro-6/VI (hE6)	HBEFA3.1; PW+Lfw Tempolimit 100	Halbe Effizienz alle Fz Euro-6/VI; PW+Lfw Tempolimit 100
	Flottenzusammensetzung	Referenzentwicklung 2020	Referenzentwicklung 2020	BAT SGF Euro-VI	BAT alle Fz Euro-6/VI	BAT alle Fz Euro-6/VI	Referenzentwicklung 2020	Referenzentwicklung 2020
Mengenszenarien ↓	Anz. Alpenquerende SNF							
Grundszenario [Realszenario]	1'457'000	G.1	G.2		G.3	G.4	G.7 (T100)	G.11 (T100)
Verlagerungsziel erreicht	650'000	VZ.1	VZ.2		VZ.3	VZ.4		
Zwischenziel erreicht	1'000'000	ZZ.1	ZZ.2					
Keine Verlagerungspolitik	2'250'000	KV.1	KV.2					
Aufhebung Nachtfahrverbot	1'673'000	G.6 (noNFV)	G.10 (no NFV)					
Sektorales Fahrverbot [Teil-Verlagerungszwang]	1'331'000	G.5 (SFV)	G.9 (SFV)					
Lieferwagenzunahme gem. Primes	1'457'000	G.8 (Lfw P)	G.12 (Lfw P)					

 Sze von Infras berechnet.

## 7. Methodik der Bestimmung der Immissionen für die Szenarien 2020

### 7.1. Stickstoffoxidimmissionen (NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub>)

Aus den Verkehrsaufkommen und den Emissionsfaktoren je Fahrzeugkategorie werden die Emissionen an NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> und an weiteren Komponenten für jede Stunde des Referenzjahres 2011 ermittelt. Dabei können diese Eingangsgrößen je nach Szenarium variieren. In der Folge werden die Immissionen an NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> und PM10 bestimmt, NO<sub>x</sub> und in der Folge PM10 mit Hilfe des 'Tau-Modells', NO<sub>2</sub> unter Beachtung der komplexen Wechselwirkungen zwischen direkt emittiertem und in der Atmosphäre aus NO gebildetem NO<sub>2</sub>.

Das 'Tau-Modell' ist ein empirisches Ausbreitungsmodell für quellennahe Bereiche, das die konkreten Ausbreitungsverhältnisse für jede Stunde konkreten Erhebungen der Schadstoffquellen (z.B. Verkehrszählungen) und der Immissionen entnimmt, s. z.B.: Oekoscience (2005b). Dieses Modell ist szenarienfähig. Für jede topographische/ meteorologische Region wird eine Immissionsmessung gebraucht (in diesem Falle autobahnahe Standorte von MfMU oder ähnlich), weil auf die Adaptierung mechanischer und thermodynamischer Gleichungen für die Atmosphäre verzichtet wird; vom Modell her kann nicht direkt auf die Ausbreitung ins 'Landesinnere' geschlossen werden. Dazu können empirische Abklingkurven verwendet werden, die ebenfalls Immissionsmessungen entstammen.

Die Auswirkungen der Szenarien auf die Immissionen an NO<sub>2</sub> müssen unter Berücksichtigung der NO<sub>2</sub>-Emission und des in der Atmosphäre aus NO gebildeten NO<sub>2</sub>-Anteils modelliert werden. Das grosse Problem ist hier, dass der Anteil des NO<sub>2</sub> in den NO<sub>x</sub>-Emissionen bei moderneren Motoren deutlich zunimmt und also über die Jahre nicht konstant ist, womit jeder statische Ansatz in die Irre führt. Zunächst wird die aus der ermittelten NO<sub>x</sub>-Änderung resultierende NO<sub>2</sub>-Änderung bei gleichem relativen NO<sub>2</sub>-Emissionsanteil geschätzt; dies geschieht aufgrund des empirischen NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub>-Zusammenhangs an der betreffenden Station, wobei für jede Stunde vom aktuell gemessenen NO<sub>2</sub>-Wert ausgegangen wird. Eine Änderung des relativen NO<sub>2</sub>-Emissionsanteils wirkt sich auf die resultierende NO<sub>2</sub>-Immission aus. Beispielsweise eine Erhöhung führt entsprechend zu einer Erhöhung des direkt aus der NO<sub>2</sub>-Emission stammenden NO<sub>2</sub>-Immissionsanteils; allerdings reduziert sich dadurch der NO-Anteil, der für die Konversion zu NO<sub>2</sub> mit

Ozon zur Verfügung steht. Diese Reduktion wiederum führt aber zu einer Erhöhung des prozentualen Anteils von konvertiertem  $\text{NO}_2$  bezogen auf das emittierte  $\text{NO}$ . Die Berechnung dieser von Ozonangebot und meteorologischen Bedingungen abhängigen komplexen Prozesse kann nur mit empirischer Hilfe angegangen werden:

Die Pkw weisen einen höheren relativen  $\text{NO}_2$ -Emissionsanteil auf als die Lkw; aus diesem Grunde ist der gesamte relative  $\text{NO}_2$ -Emissionsanteil der österreichischen A12 im 2009 an Sonntagen etwa da, wo er 2015 im Mittel über alle Tage sein wird. Die nächste Abbildung zeigt, dass sich der höhere  $\text{NO}_2$ -Emissionsanteil am Sonntag im tieferen Konzentrationsbereich wenig auf die  $\text{NO}_2$ -Werte auswirkt; die atmosphärischen Vorgänge sind zu dominant. Im höheren Konzentrationsbereich jedoch bewegen sich die  $\text{NO}_2$ -Werte an Sonntagen im oberen Bereich der Punktwolke.

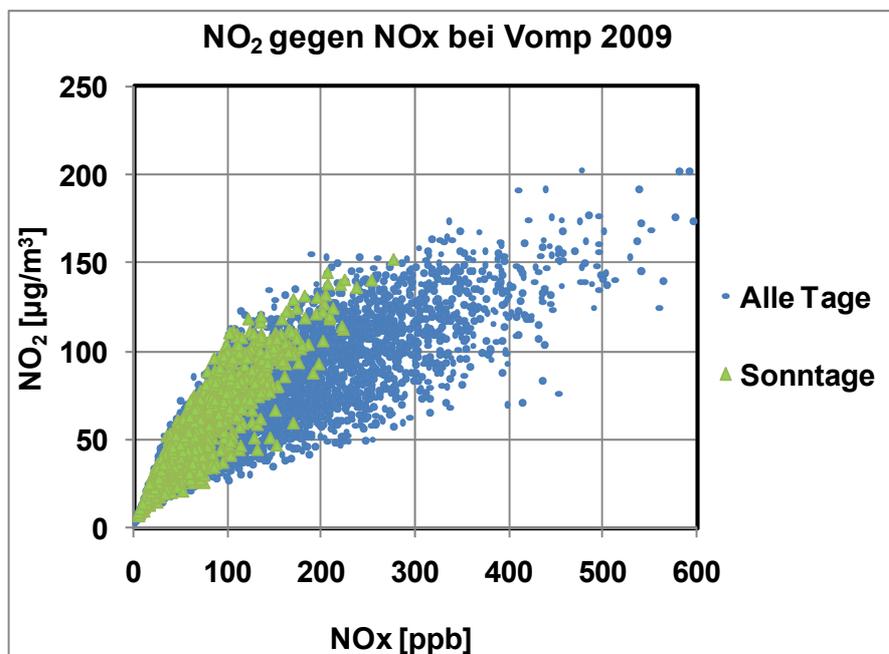


Abbildung 7.1:  $\text{NO}_2$  gegen  $\text{NO}_x$  bei Vomp 2009, Stundenwerte.

Es ist vor allem die Frage zu lösen, wie der in der Atmosphäre konvertierte  $\text{NO}_2$ -Anteil bei veränderlichem  $\text{NO}_2$ -Emissionsanteil reagiert. Der Algorithmus wurde in Reflexion auch von obiger Abbildung so gewählt, dass das Verhältnis  $\text{NO}_{2\text{konv}}/\text{NO}$  – der Anteil des in der Atmosphäre konvertierten  $\text{NO}_2$  am  $\text{NO}$  – dem empirischen Befund für verschiedene Konzentrationsbereiche entspricht.

Mit Zukunftsszenarien für  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  an der Tiroler Inntalautobahn (bei Vomp) gelangte man in Bereiche, welche schon heute an weniger belasteten Autobahnstandorten erreicht werden (s. nächste Abbildung). Im prognostisch diesbezüglich

heikelsten Szenarium (Erreichen des  $\text{NO}_2$ -Grenzwertes der EU von  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , am weitesten vom aktuellen Jahresmittel bei Vomp entfernt) erreichen  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  Werte, welche in den oberen Bereich der Jahresmittel von  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  zu liegen kommen, welche bei Erstfeld in den letzten Jahren gemessen wurden. Ohne Zunahme des  $\text{NO}_2$ -Emissionsanteils bis 2015 kämen sie in den unteren Bereich dieser Zone zu liegen. Daraus kann geschlossen werden, dass die resultierenden  $\text{NO}_2$ -Reduktionen in den Szenarien realistische, allenfalls eher optimistische Schätzungen darstellen.

Das Modell bildet die Realität 2011 als Ausgangsbasis für  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  identisch ab.

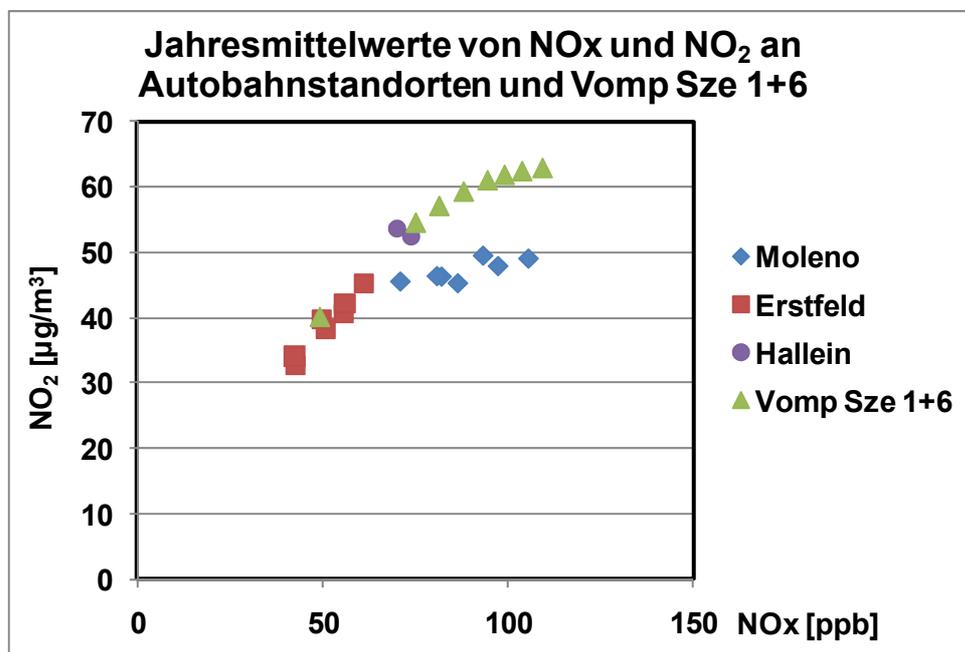


Abbildung 7.2: Jahresmittelwerte von  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$ : Messungen an Autobahnstandorten und Werte für Szenarien '1' und '6' bei Vomp (Tiroler Inntalautobahn).

Es ist deutlich zu sehen, dass die  $\text{NO}_2$ -Verhältnisse von Stationen wie Erstfeld und Vomp völlig verschieden sind von denjenigen etwa bei Moleno. Aus diesem Grund muss das Modell für jede Station neu aufgesetzt werden; allgemeine statische Ansätze für das Verhältnis zwischen  $\text{NO}_2$  und  $\text{NO}_x$  wie z.B. nach Romberg führen zu nicht haltbaren Ergebnissen.

## 7.2. PM10-Immissionen

Es kann davon ausgegangen werden, dass die primären PM10-Emissionen (Auspuff und Aufwirbelung) strassennah den gleichen meteorologischen Ausbreitungsbedingungen unterworfen sind wie die Gasemissionen. Aus diesem Grunde wurden die mit NO<sub>x</sub> ermittelten Tauwerte der stündlichen Ausbreitungsbedingungen auf die PM10-Emissionen angewandt, um die primären Verkehrsimmissionen an PM10 zu erhalten. Die für das Jahr 2011 ermittelte Differenz dieser Immission zur PM10-Gesamtmission wurde in allen Szenarien 2020 erhalten. Für diese Szenarien blieb also unberücksichtigt, dass eine Veränderung der Verkehrsemissionen an NO<sub>x</sub> auch die Sekundärpartikelbildung beeinflussen kann. Die primären Verkehrsimmissionen an PM10 werden in den Ergebnissen der Szenarien ebenfalls ausgewiesen.

## 7.3. Russ-Immissionen

Emissionsfaktoren für Russ existieren nicht. Für eine Abschätzung der Russ-Immissionen wurde auf die Russmessungen im Projekt MfM-U abgestellt. Die Russbestimmungen wurden für 2010 und 2011 nach dem EUSAAR2-Protokoll durchgeführt. Zwischen den Jahresmitteln von NO<sub>x</sub> und Russ ergab sich für die Summe aller MfM-U-Stationen eine hohe Korrelation:

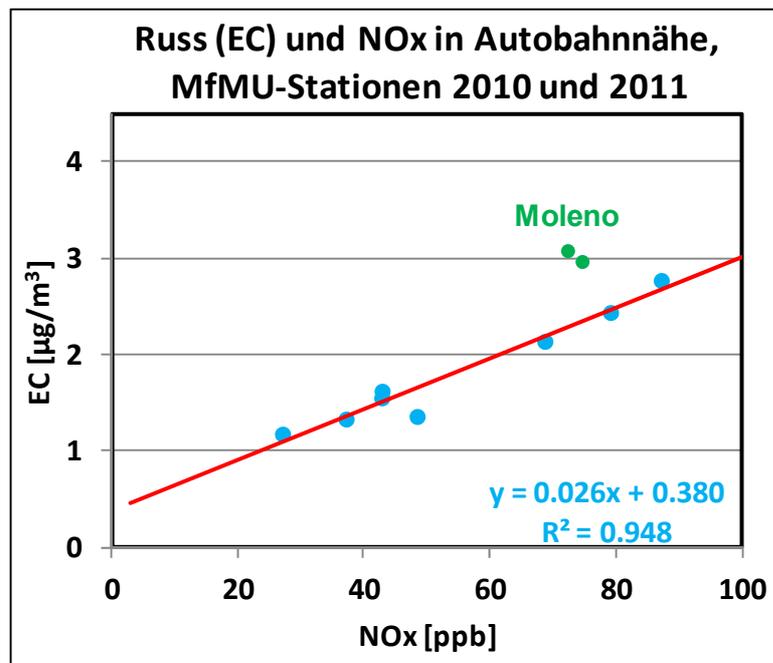


Abbildung 7.3: Jahresmittel von NO<sub>x</sub> und Russ an MfM-U-Stationen, 2010 und 2011.

In Moleno ist eine Erhöhung der Russkonzentration infolge der vielen Holzfeuerungen zu sehen. Zur Abschätzung der Russimmissionen in den Szenarien 2020 wurde obige Korrelation verwendet; bei Moleno wurde angenommen, dass die Zusatzimmission an Russ unverändert bleibt.

## 7.4. Effekt der Verschiebung der Station Erstfeld

Im Jahre 2007 wurde die Station Erstfeld etwa 800 m nach Norden verschoben. In einer Parallelmessung von April - Juli 2007 stellte sich heraus, dass der neue Standort deutlich weniger mit NO<sub>2</sub> befrachtet war:

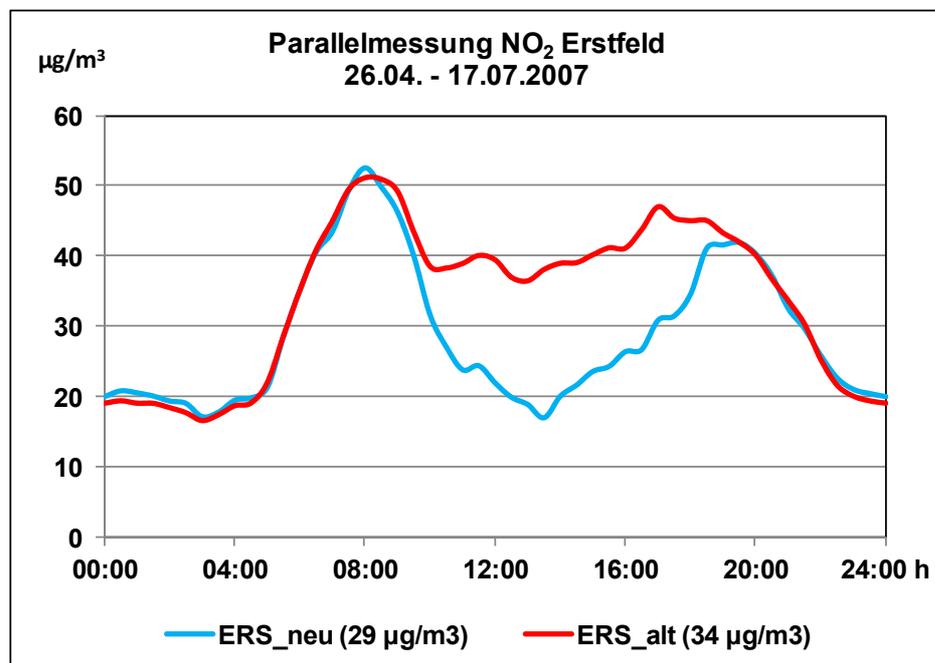


Abbildung 7.4: Mittlerer Tagesgang von NO<sub>2</sub> an altem und neuem Standort Erstfeld, 26.04.-17.07.2007.

Während der Parallelmessung war der neue Standort mit -16% minder belastet. Im Jahresmittel dürfte es um die -10% ausmachen. Der Grund dafür liegt an Aufwinden, welche am neuen Standort wegen eines Seitentals schräg zur Talachse stehen und die Station ins Luv zur Autobahn stellen, und wegen der Lage aussen an einer Strassenkurve.

Wegen der Vergleichbarkeit mit anderen strassennahen Stationen innerhalb und ausserhalb der Schweiz sollte bedacht werden, dass strassennah exponierte Bereiche in der Urner Reussebene möglicherweise erst dann den NO<sub>2</sub>-Grenzwert einhalten, wenn das Jahresmittel am neuen Standort auf 27 µg/m<sup>3</sup> gesunken ist. Zusätzliche Immissionsmessungen könnten weiteren Aufschluss geben.

## 8. Ergebnisse der Szenarien 'MfMU 2020'

In diesem Kapitel werden zunächst die Ergebnisse der Szenarien für alle drei Standorte im Überblick dargestellt und diskutiert. Sodann werden alle Ergebnisse (Emissionen und Immissionen) der Szenarien 2020 für Moleno, Erstfeld und Rotenbrunnen tabellarisch aufgelistet und graphisch in verschiedenen Kontexten dokumentiert.

### 8.1. Legende

Die folgenden Begriffe sind alle im Bericht bereits erläutert worden. Sie werden hier zur Vereinfachung der Lektüre der Szenarienergebnisse nochmals aufgelistet.

<b>Bezeichnung</b>	<b>Bedeutung</b>
SGV	Schwerer Güterverkehr = Lkw ohne Anhänger + Sattel- und Lastenzüge >3.5t
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge >3.5t: Lkw ohne Anhänger, Sattel- und Lastenzüge
HB	Emissionsfaktoren (EFA) nach HBEFA3.1
hE6	Für alle Fahrzeugkategorien: EFA Euro0-V/5 gemäss HBEFA3.1; EuroVI/6 weisen nur halbe Differenz zu entsprechendem EuroV/5 auf ('halbe Effizienz').
BAU	Flottenzusammensetzung SGV 2020 gemäss Infrac ('Business as usual'); Flotte üb. Fahrzeuge gemäss HBEFA3.1
BAT	Alle Fahrzeugkategorien nur EuroVI/6
SFV	Sektorales Fahrverbot für Teile des SGV.
noNFV	Aufhebung des Nachtfahrverbotes
Tempo100	Permanentes Tempo100 (Moleno; Erstfeld) bzw. Tempo80 (Rotenbrunnen) für Pw + Lfw
LfwP	Wachstum Anzahl Lieferwagen gemäss Primes-Szenarien der EU (25% von 2011 bis 2020)
PM	Partikelmasse (Auspuff + Aufwirbelung)
PMexh	Partikelmasse von Auspuff

## 8.2. Übersicht: Reduktionen an NO<sub>x</sub>-, NO<sub>2</sub>- und PM<sub>10</sub>-Immissionen für die Szenarien 2020 'technische Entwicklung', 'Erreichung Verlagerungsziel' und 'Tempo100'

Die folgenden drei Grafiken geben einen Überblick der Immissionseffekte der angenommenen technischen Entwicklung bei den SNF und übrigen Verkehr (infolge Modernisierung der Flotte), der Erreichung des SNF-Verlagerungsziels und eines Tempolimits für den Leichtverkehr. Die Szenarien 'noNFV' und 'LwP' sind hier unberücksichtigt.

Die Immissionseffekte bei den Verlagerungsszenarien 'Erreichung Verlagerungsziel' und 'Zwischenziel' gehen von der notwendigen Reduktion an SNF ab 2011 aus; die entsprechenden Immissionsreduktionen werden den Verlagerungsszenarien zugeordnet, die Modernisierung der Restflotte der technischen Entwicklung. Es ist ja nicht so, dass die Flotte unbeeinflusst bis 2019 wachsen würde (Grund-szenarium) und dann mit einem Schlag auf das Verlagerungsziel reduziert werden könnte; vielmehr wird anhaltend an der Schwerverkehrsverlagerung gearbeitet, was mit der gewählten Zuordnung adäquat zum Ausdruck gebracht werden kann.

### Die Szenarienergebnisse können wie folgt zusammengefasst werden:

- Bei den EFA nach 'HB' sind die Effekte der technischen Entwicklung größer und die Effekte von Massnahmen kleiner als bei EFA nach 'hE6'. Die Unterschiede vor allem bei der technischen Entwicklung sind bei den Stickoxiden erheblich, beim PM<sub>10</sub> zu vernachlässigen.
- Die stetige Modernisierung der BAU-Flotten (bis 2020 71% EuroVI bei den SNF, 50% Euro6 bei den Pw) ist dabei sowohl bei 'HB' als auch bei 'hE6' vorausgesetzt.
- Standorte, die 2011 ein NO<sub>2</sub>-Jahresmittel von über 37 µg/m<sup>3</sup> aufwiesen, werden auf der Basis von 'hE6' die Grenzwerteinhaltung bis 2020 nur aufgrund der technischen Entwicklung vermutlich nicht schaffen.
- Auf der Basis von 'HB' werden es vermutlich nur Standorte mit über 43 µg/m<sup>3</sup> NO<sub>2</sub> im 2011 nicht schaffen; die Unterschiede der beiden Ansätze sind also erheblich, auch bezüglich der Betroffenheit von Standorten.
- Die mit 'Tempo100' zu erreichenden Immissionsreduktionen sind wesentlich.

- Die mit dem Erreichen des Verlagerungsziels des SGV erzielten Immissionsreduktionen sind beim NOx grösser als beim 'Tempo100', beim NO<sub>2</sub> hingegen kleiner. Sie sind beim NO<sub>2</sub> deshalb kleiner, weil die NO<sub>2</sub>-Emissionen des Leichtverkehrs grösser sind.

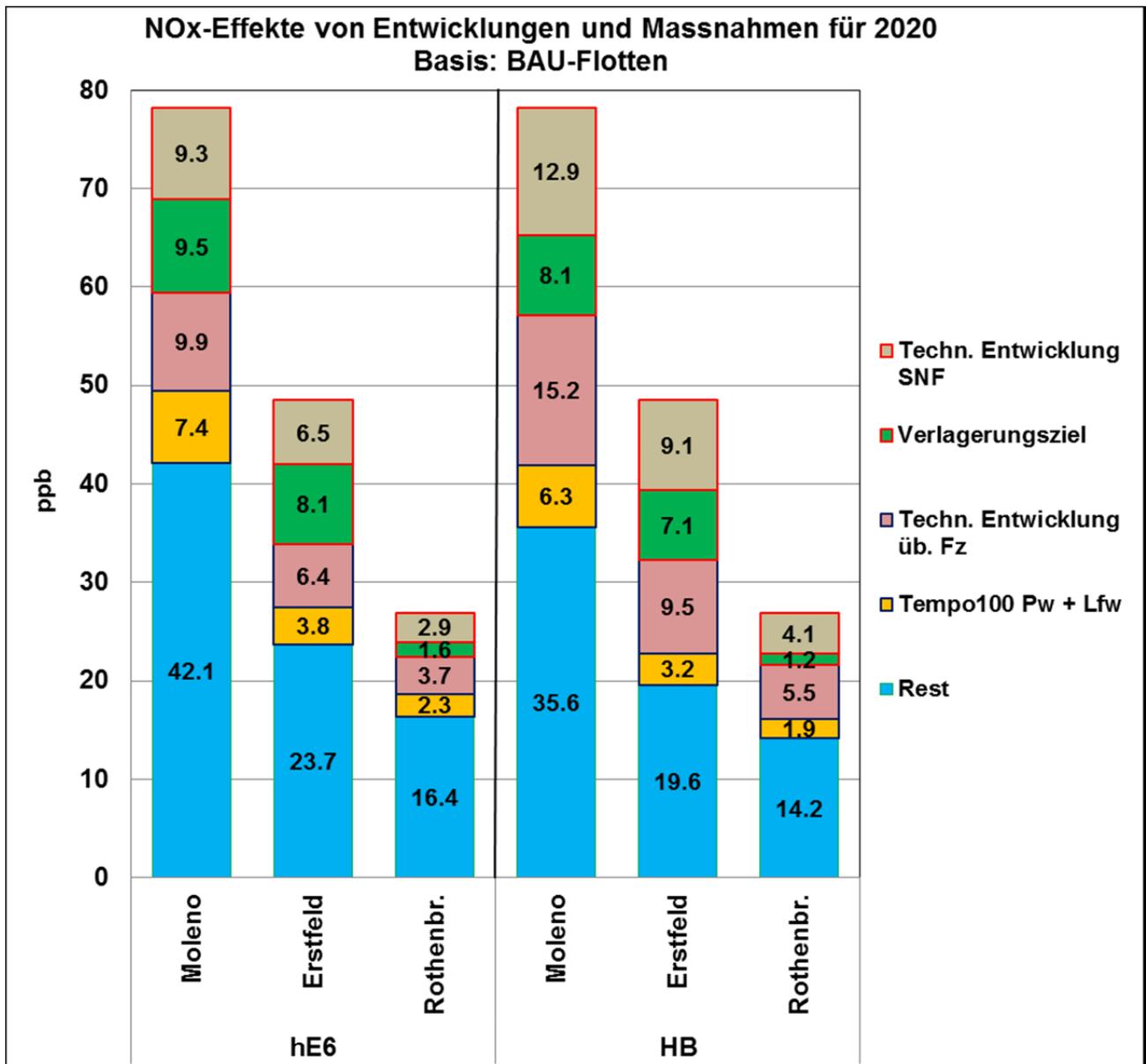


Abbildung 8.1: Effekte von Entwicklungen und Massnahmen auf NOx-Immissionen für 2020 nach EFA-Ansätzen 'HB' und 'hE6'; ohne Berücksichtigung der Szenarien 'noNFV' und 'LfwP'. Ausgangswerte von 2011.

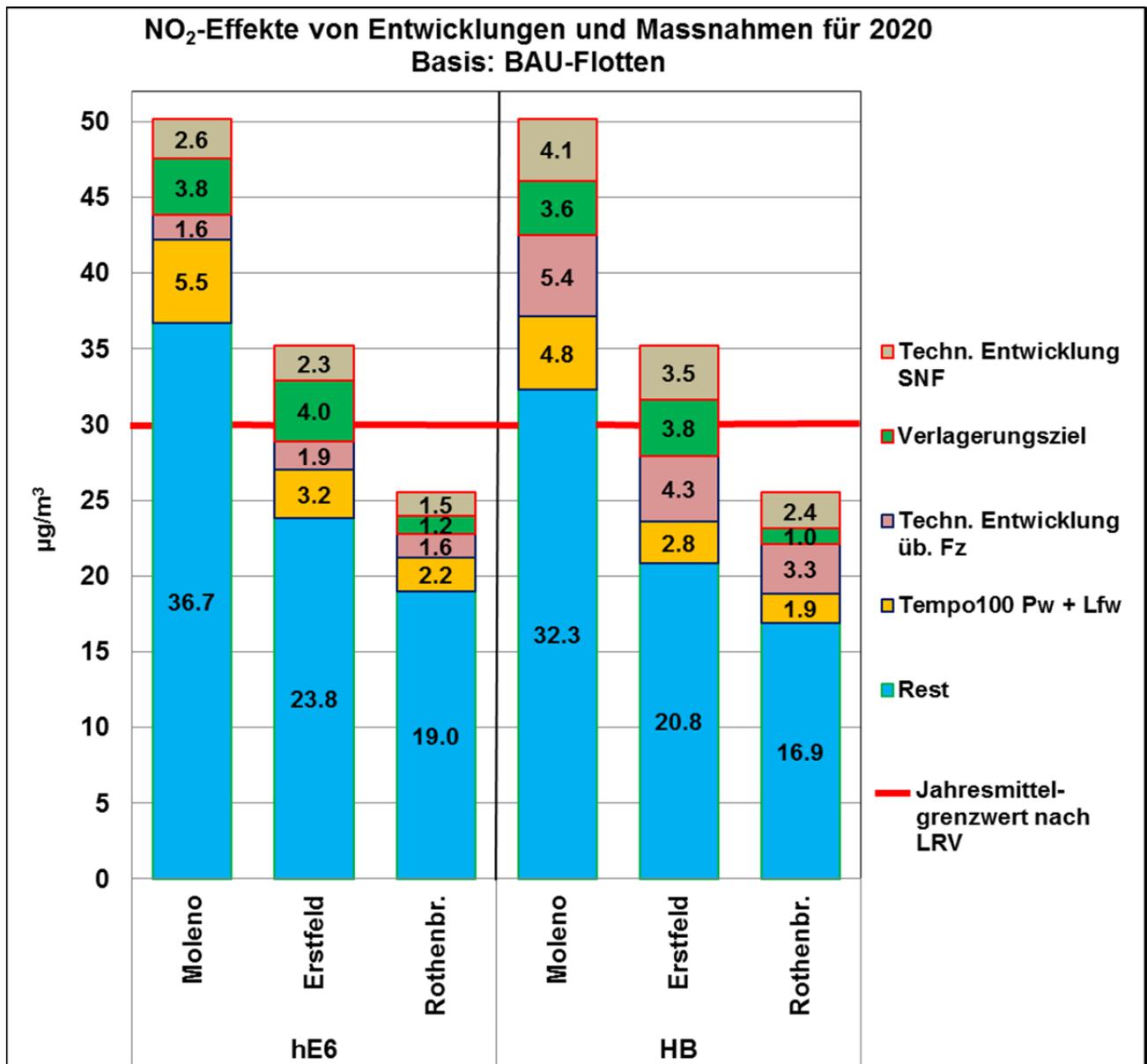


Abbildung 8.2: Effekte von Entwicklungen und Massnahmen auf NO<sub>2</sub>-Immissionen für 2020 nach EFA-Ansätzen 'HB' und 'hE6'; ohne Berücksichtigung der Szenarien 'noNFV' und 'LfwP'. Ausgangswerte von 2011.

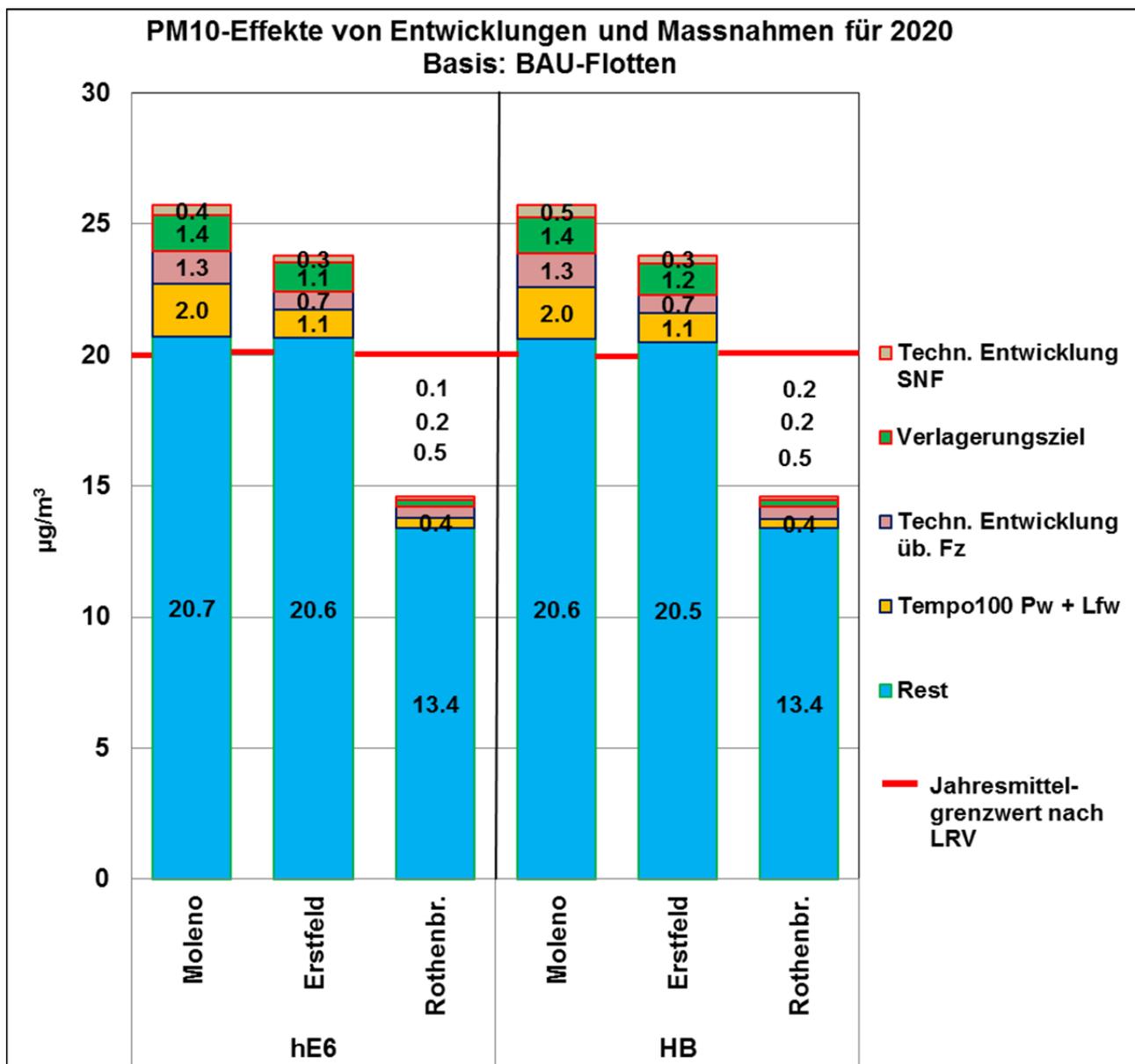


Abbildung 8.3: Effekte von Entwicklungen und Massnahmen auf PM10-Immissionen für 2020 nach EFA-Ansätzen 'HB' und 'hE6'; ohne Berücksichtigung der Szenarien 'noNFV' und 'LfwP'. Ausgangswerte von 2011.

PM10 zeigt grundsätzlich weniger Wirkung der Entwicklungen und Massnahmen, weil diese Komponente zu einem grösseren Anteil von anderen Quellen als dem Strassenverkehr stammt und vor allem weil die Wiederaufwirbelung sich durch die Flottenmodernisierung nicht ändert; ebenso ist nicht bekannt, wie sie sich bei einer Geschwindigkeitsänderung allenfalls ändert.

**Bei der Gegenüberstellung von Effekten bei NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> ist folgendes zu beachten:**

- Die NO<sub>x</sub>-Immissionen bilden die Massnahmen und Entwicklungen bei den Stickstoffoxid-Emissionen ab.
  - Die NO<sub>2</sub>-Immissionen resultieren aus einem komplexen Prozess von emittiertem und in der Luft aus NO und Ozon gebildetem NO<sub>2</sub>.
  - Der Anteil NO<sub>2</sub> in den NO<sub>x</sub>-Emissionen ist je nach Fahrzeugkategorie verschieden.
  - Massnahmen bei einer Fahrzeugkategorie beeinflussen luftchemisch den Beitrag anderer Kategorien zur NO<sub>2</sub>-Immission.
  - Das NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Verhältnis in den Immissionen hängt von der absoluten Immissionshöhe in Relation zur Ozonkonzentration ab.
- ⇒ Die Reaktion der NO<sub>2</sub>-Immissionen auf Entwicklungen und Massnahmen hängt auch vom jeweiligen Kontext ab (Gesamtheit der vorhandenen Entwicklungen und Massnahmen).
- ⇒ Für die Charakterisierung der regionalen Stickstoffoxid-Situation ist NO<sub>x</sub> besser geeignet, wenn auch NO<sub>2</sub> wegen des Grenzwertes immer auch betrachtet werden muss.

### 8.3. Lufthygienische Effekte der einzelnen Szenarien

Die folgenden Grafiken zeigen für die einzelnen Szenarien die prozentualen Reduktionen der berechneten Immissionen und der CO<sub>2</sub>-Emissionen gegenüber den Grundszenarien G.2 (BAU/hE6) bzw. G.1 (BAU/HB) für die drei Standorte. Zunächst werden die Effekte am Standort Moleno gezeigt.

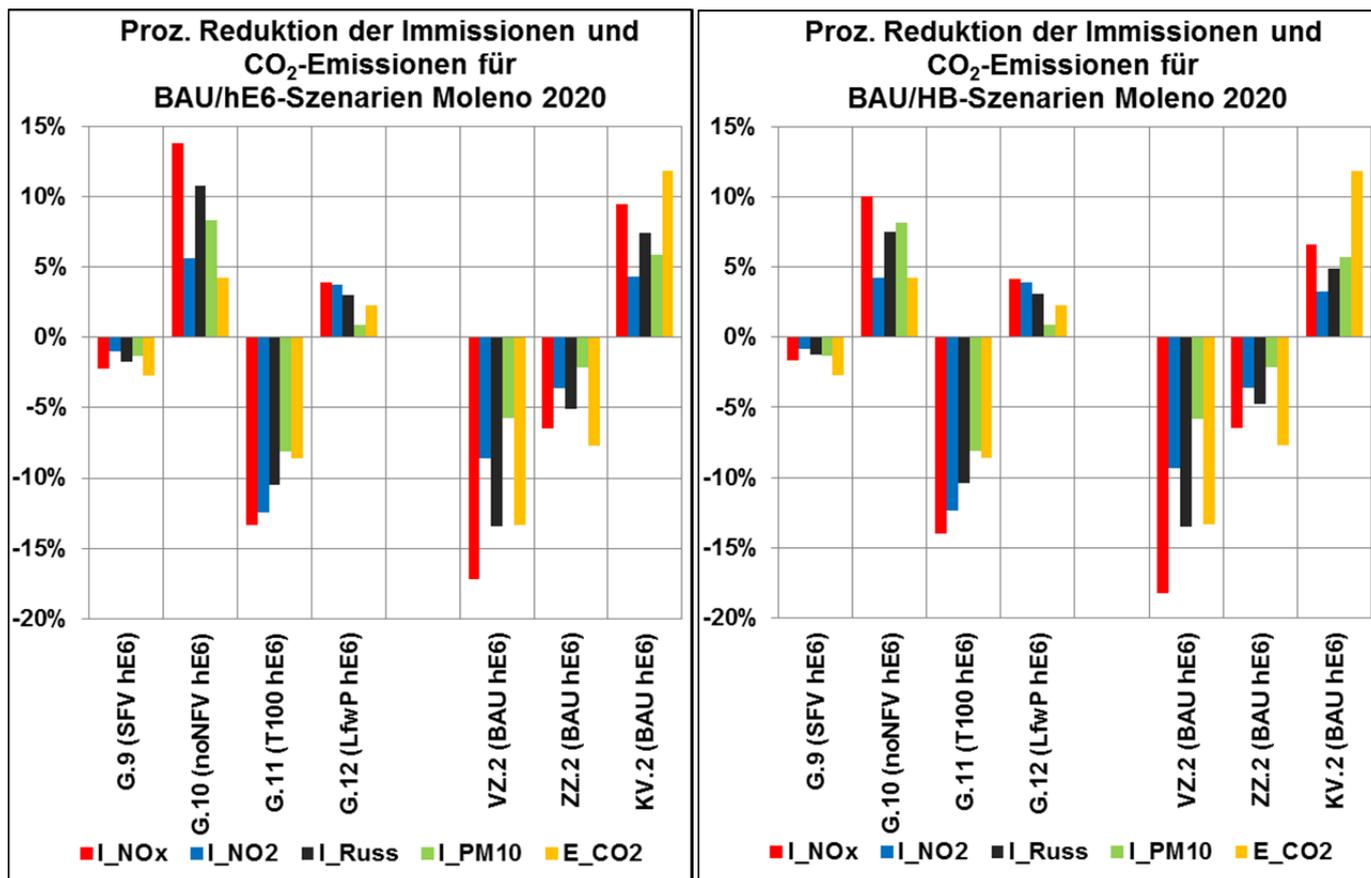


Abbildung 8.4: Prozentuale Effekte von Szenarien 2020 auf Immissionen und CO<sub>2</sub>-Emissionen, bezogen auf Grundszenarien, Moleno. Links: BAU/hE6-Flotte; rechts: BAU/HB-Flotte.

#### Lesebeispiele für Abbildung 8.4:

- Die Aufhebung des Nachtfahrverbots für den SGV würde die gesamten NO<sub>x</sub>-Immissionen bei Moleno im Vergleich zum Grundszenarium 2020 um 14% ansteigen lassen (Emissionsfaktoren gem. hE6).
- Ein permanentes Tempolimit von 100 km/h würde die gesamten NO<sub>2</sub>-Immissionen bei Moleno im Vergleich zum Grundszenarium 2020 um 12% reduzieren (Emissionsfaktoren gem. HB).
- Das Erreichen des Verlagerungsziels würde 2020 im Vergleich zur fortgeführten Verlagerungspolitik wie bisher die gesamten NO<sub>x</sub>-Immissionen um 18% reduzieren (Emissionsfaktoren gem. HB).

Die hauptsächlichen Reduktionsszenarien betreffen 'Verlagerungsziel' und 'Tempo100'. Hier werden NOx-Reduktionen von 13-18% erreicht. Der kleinere Effekt bei den NO<sub>2</sub>-Immissionen beim Szenarium 'Verlagerungsziel' ist durch den höheren Anteil des NO<sub>2</sub> in den Stickoxidemissionen des Leichtverkehrs bedingt (s. dazu Anmerkungen auf S. 30).

Die Szenarien mit den grössten Zunahmen betreffen 'Aufhebung NFV' und 'Keine Verlagerung'. Hier werden NOx-Zunahmen von 10-14% erreicht (mit 'BAU/HB' etwas weniger). Dass bei 'noNFV' die CO<sub>2</sub>-Emissionsänderung im Verhältnis zur NOx-Immissionsänderung viel kleiner ausfällt als bei den übrigen Szenarien, liegt daran, dass ein Grossteil des Immissionseffektes des 'noNFV'-Szenariums durch die Verlagerung von Emissionen vom Tag in die atmosphärisch stabilere Nacht zustande kommt.

Das sektorale Fahrverbot für Teile der SNF bringt nur lufthygienische Verminderungen um die 2%. Ein deutlich stärkeres Wachstum des Aufkommens an Lieferwagen bringt ebenfalls einen relativ kleinen Anstieg der lufthygienischen Belastungen bis etwa 4%.

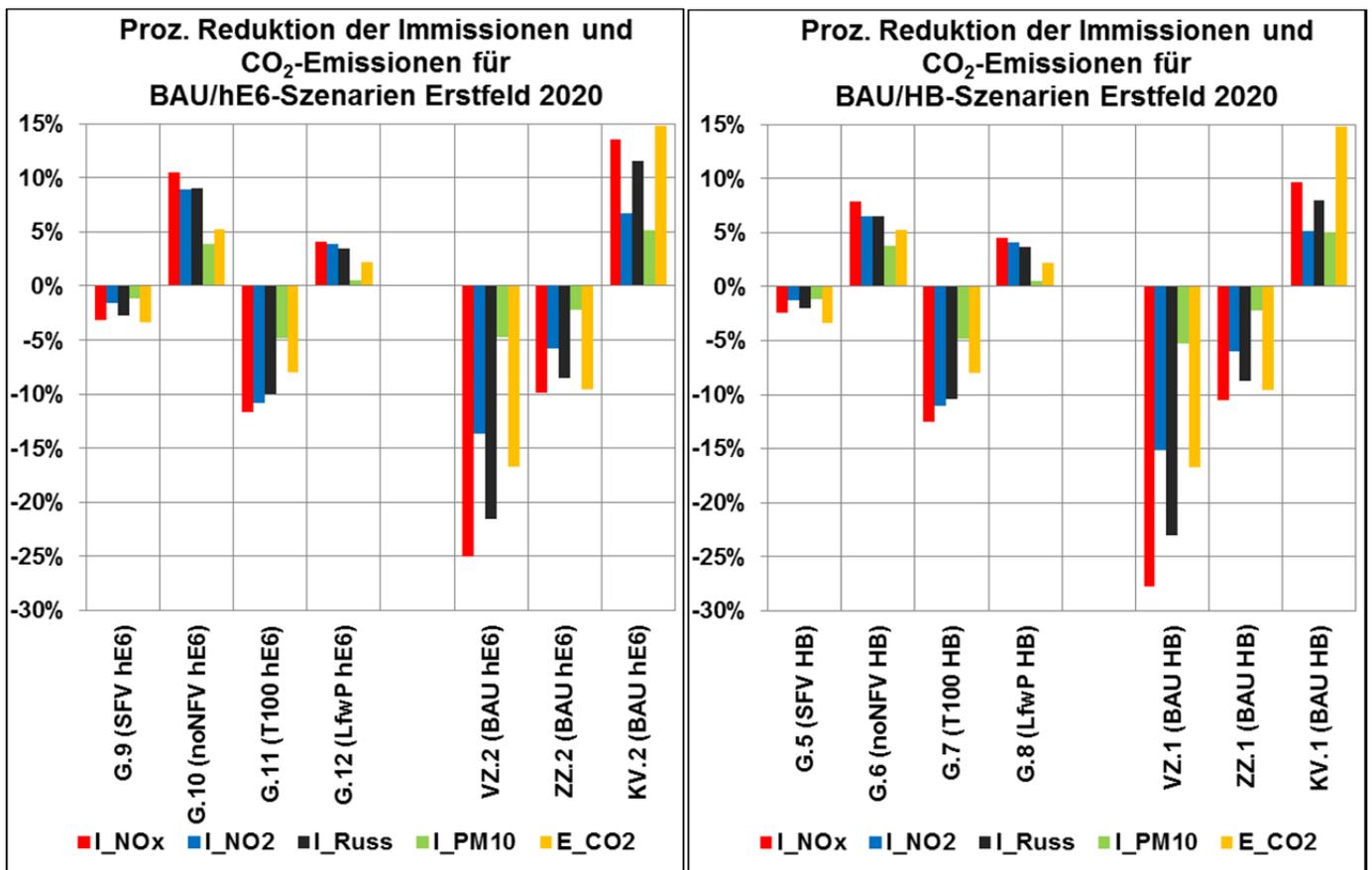


Abbildung 8.5: Prozentuale Effekte von Szenarien 2020 auf Immissionen und CO<sub>2</sub>-Emissionen, bezogen auf Grundszenarien, Erstfeld. Links: BAU/hE6-Flotte; rechts: BAU/HB-Flotte.

Erstfeld zeigt ein grundsätzlich ähnliches Bild wie Moleno.

Die Verlagerungsszenarien schlagen hier allerdings mehr zu Buche, weil der Transitverkehr bei Erstfeld einen grösseren Anteil am Gesamtverkehr ausmacht als bei Moleno.

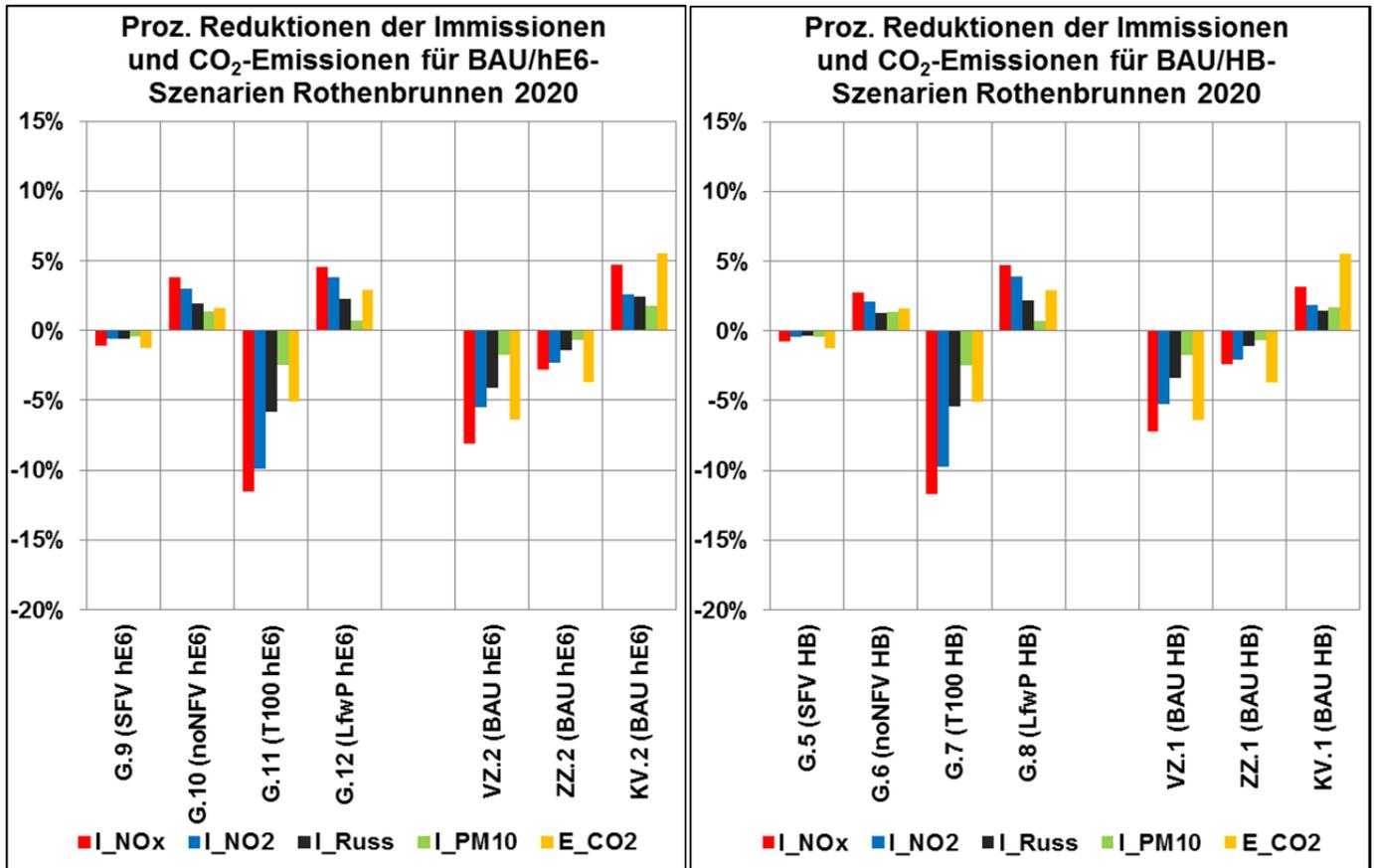


Abbildung 8.6: Prozentuale Effekte von Szenarien 2020 auf Immissionen und CO<sub>2</sub>-Emissionen, bezogen auf Grundszenarien, Rothenbrunnen. Links: BAU/hE6-Flotte; rechts: BAU/HB-Flotte.

Die relativen Effekte der Szenarien sind bei Rothenbrunnen deutlich geringer als bei Moleno und Erstfeld. Dies hat vor allem zwei Gründe.

- Die Verlagerungsszenarien beziehen sich auf den Transitverkehr; dieser macht bei Rothenbrunnen nur 61% des SGV aus (Moleno: 91%; Erstfeld: 97%). Und der SGV hat bei Rothenbrunnen einen kleineren Anteil an den gesamten Emissionen als am Gotthard.
- Das 'Tempo100'-Szenarium bedeutet bei Rothenbrunnen eine Geschwindigkeitsreduktion von 100 auf 85 km/h; diese Geschwindigkeitsreduktion führt zu einer geringeren Reduktion der EFA des Leichtverkehrs als von

120 auf 105 km/h wie am Gotthard, besonders beim CO<sub>2</sub> (s. dazu Abbildung 5.2). Allerdings umfasst der Leichtverkehr in Rothenbrunnen einen grösseren Anteil an den gesamten Emissionen, was den oben angeführten Sachverhalt teilweise wieder kompensiert.

Dass Rothenbrunnen eine geringere Immissionsbelastung als Moleno und Erstfeld aufweist, spielt für das Ausmass der relativen Effekte nur eine untergeordnete Rolle.

## 9. Fazit

- Die wirksamsten Massnahmen bei den SNF zur Immissionsreduktion sind die tatsächliche Umsetzung der postulierten Flottenerneuerung samt der ambitionierten Reduktion der Emissionsfaktoren bis 2020 und das Erreichen des Verlagerungsziels.
- Eine Geschwindigkeitsreduktion für den Leichtverkehr ('Tempo100') bringt einen ähnlichen lufthygienischen Effekt wie das Erreichen des Verlagerungsziels, im strassennahen Bereich beim NO<sub>2</sub> teilweise einen grösseren Effekt.
- Für Moleno und ähnlich belastete Standorte (MuttENZ, Camignolo, Härkingen ...) reicht die technologische Entwicklung zur Grenzwerteinhaltung bei NO<sub>2</sub> bis 2020 nicht aus. Dort braucht es zusätzliche Massnahmen.
- In der Urner Reusebene ist das Erreichen des Verlagerungsziels bei den SNF zur sicheren Einhaltung des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes bei den 'hE6'-Szenarien notwendig; bis es soweit ist, wäre Tempo100 für Pw und Lieferwagen eine wirksame Alternative. Bei den 'HB'-Szenarien reicht die technische Entwicklung zur Einhaltung des NO<sub>2</sub>-Grenzwertes bis 2020.
- Das sektorale Fahrverbot bringt relativ wenig Effekt; allenfalls ist es in die Massnahmen zur Erreichung des Verlagerungsziels einzubinden.
- Die tatsächliche Entwicklung der Emissionsfaktoren (einerseits die Modernisierung der Flotten, andererseits die Emissionsfaktoren je Euroklasse) ist ein sehr entscheidender Punkt in der lufthygienischen Entwicklung der nächsten 10 Jahre.
- Beim CO<sub>2</sub> ist ebenfalls mit Fahrtenreduktionen oder beim Leichtverkehr mit einer Temporeduktion eine bedeutende Reduktion zu erzielen, also letztlich mit einer Treibstoffverbrauchsreduktion. Das Erreichen des Verlagerungsziels brächte eine Reduktion der gesamten CO<sub>2</sub>-Emission der A2 bei Erstfeld um etwa 17%.

## 10. Literatur

- BAV (2012) Alpinfo 2011 - Alpenquerender Güterverkehr auf Strasse und Schiene.
- EMPA und PSI (2009) "PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART)", im Auftrag des ASTRA.
- EU-Kommission (2008) "EUROPEAN ENERGY AND TRANSPORT – TRENDS TO 2030 – UPDATE 2007", European Commission, Directorate-General for Energy and Transport (EU-27 ENERGY BASELINE SCENARIO TO 2030).
- Infras, Rapp Trans AG und Kurt Moll (2011) "Regulierung des Güterverkehrs; Auswirkungen auf die Transportwirtschaft", im Auftrag des BAV.
- Infras (2013) "UMWELTMONITORING FLANKIERENDE MASSNAHMEN (MFM-U), SZENARIEN FÜR 2020, Schlussbericht", Wüthrich, P. et al.
- Land Tirol (2007) Verordnung des Landeshauptmannes vom 17. Dezember 2007, LGBl. Nr. 92/2007.
- Oekoscience (2004) "Lufthygienische Auswirkungen einer Erweiterung des Nachtfahrverbotes auf der Unterinntalautobahn A12", Thudium, J., im Auftrag der Tiroler Landesregierung.
- Oekoscience (2005a) "Evaluation der lufthygienischen Auswirkungen der Erweiterung des Nachtfahrverbotes auf der Unterinntal-Autobahn im Winterhalbjahr 2004/05, Thudium, J., im Auftrag der Tiroler Landesregierung.
- Oekoscience (2005b) "EMPIRICAL MODELING OF AIR POLLUTION IN THE PROXIMITY OF ROADS", Thudium, J., 14th International Symposium on Transport and Air Pollution, Graz.
- Oekoscience (2011) "Air Pollution and Traffic in the Alpine Transit Corridors of Gotthard and Brenner, 2004 - 2010", Thudium, J. und Chélala, C., Studie im Rahmen des iMonitraf-Projektes.
- TU Graz (2010) "Fuel Consumption and Emissions of Modern Passenger Cars", Hausberger, S.
- TU Graz (2012) "Einfluss der Fahrgeschwindigkeit auf den Emissionsausstoß von LKW größer 7,5t auf Autobahnen", Rexeis, M., im Auftrag der Tiroler Landesregierung.

# 11. Glossar

Im Bericht und in den Abbildungen verwendete Abkürzungen und Begriffe:

A2	Autobahnstrecke von Basel bis Chiasso. Rund 75% der schweren Güterfahrzeuge im alpenquerenden Güterverkehr werden auf dieser Strecke abgewickelt.
A13	Autobahnstrecke von St. Margrethen bis nördlich von Bellinzona. Rund 15% der schweren Güterfahrzeuge im alpenquerenden Güterverkehr werden auf dieser Strecke abgewickelt.
Alle Euro-6/VI	Sämtliche Motorfahrzeuge von PW bis schwere Güterfahrzeuge sind mit modernster Motorentechnologie und Abgasnachbehandlung der Europäischen Emissionsstandards(6/VI) ausgerüstet (BAT: Best available Technology).
AQGV	SGF auf der A2 und A13, die die Alpen queren (Durchfahrt Gotthard bzw. San Bernardino-Tunnel)
BAT alle Fz Euro-6/VI	siehe Alle Euro-6/VI (BAT: Best available Technology).
BAT SGF Euro-VI	Alle SGF weisen den EuroVI-Emissionsstandard auf (BAT: Best available Technology).
CADC	Common Artemis Driving Cycle: Um Verbrauch und Schadstoffausstoß von Motorfahrzeugen realistischer zu bestimmen, wurde im Rahmen des EU-Projekts ARTEMIS (Assessment and Reliability of Transport Emission Models and Inventory Systems) der gleichnamige Fahrzyklus (CADC) entwickelt, der einen Stadtanteil, einen Landstraßenanteil und einen Autobahnanteil enthält.
Euro 0, I, II, III, IV, V, VI	Europäische Emissionsstandards für schwere Motorfahrzeuge >3.5t (SGF und Busse).
Euro 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6	Europäische Emissionsstandards für leichte Motorfahrzeuge <3.5t (PW, Lfw und Motorräder)
Grundscenario (G)	bezieht sich für Luft und Lärm auf die für das Jahr 2020 angenommenen Verkehrsmengen bzw. technologischen Entwicklung unter der Annahme, dass die bisherige Verlagerungspolitik und die begleitenden flankierenden Massnahmen wie bis anhin fortgeführt werden. Im Bereich Luft bedeutet dies für die SGF 1.457 Millionen alpenquerende Fahrten mit einer technologischen Euro-Klassen-Zusammensetzung von über 70% EuroVI, ca. 25% EuroV und knapp 5% Euro IV und III Fahrzeugen.
Halbe Effizienz ('hE6')	Annahme, dass die Reduktion der Luftschadstoffemissionen von Euro 5/V zu Euro 6/IV nur halb so gross ist wie nach HBEFA3.1 postuliert.
HBEFA3.1 ('HB3')	Handbuch Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs Version 3.1 für die wichtigsten Luftschadstoffe. HBEFA umfasst die Daten von fünf Ländern (D, A, CH, S und N).
IGW	Immissionsgrenzwert
Keine Verlagerung (KV)	Angenommene Verkehrsentwicklung im Jahr 2020 mit einer Begrenzung von 28t (keine Einführung der 40t-Limite), keine LSVa und flankierende Massnahmen im Schienenverkehr.
Lieferwagen	Motorfahrzeug <3.5t vornehmlich zur Güterbeförderung. Es gibt keine einheitlich verwendete Definition für Lieferwagen.
LW	Lastwagen, siehe auch SGF.

Nachtfahrverbot	Das Nachtfahrverbot gilt für alle Motorfahrzeuge mit einem zulässigen Gesamtgewicht von mehr als 3,5 t
NEDC	New European Driving Cycle (EU, 1996)
Nicht-AQGV	SGF auf der A2 und A13, die nicht die Alpen queren (keine Durchfahrt des Gotthard- bzw. San Bernardino-Tunnels).
NOx	Molekulare Summe von Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> ) und Stickstoffmonoxid (NO) in ppb.
NO <sub>2</sub>	siehe NOx. Für NO <sub>2</sub> gibt es einen Immissions-Grenzwert in der Luftreinhalte-Verordnung
PM10-Abgas	Der ausschliesslich durch unvollständige Treibstoff-Verbrennung in den Motoren anfallende Feinstaub. Bei Dieselmotoren ist es im Wesentlichen Russ. Es enthält feine und ultrafeine Partikel. Der Ausstoss von Abgas-PM10 kann technologisch durch Abgasgrenzwerte (siehe Euro-Normen) beeinflusst werden.
PM10-Abrieb	auf der Strasse der durch den mechanischen Abrieb des Motors, der Bremsen bzw. des Kontaktes Pneu und Strassenbelag anfallender Feinstaub. Er kann technologisch nur schwer beeinflusst werden.
PW	Personenwagen
PW Tempolimit 100	siehe Tempo 100
Realszenario	siehe Grundszenario
SFV	Sektorales Fahrverbot. Entspricht dem sektoralen Fahrverbot des Landes Tirol für bahnaffine Güter z.B. Fahrzeugtransporte, Massengüter wie Abfälle, Steine, Erze, Schrott.
SGF	siehe SNF.
SGF EuroVI	Alle SGF sind mit EuroVI-Technologie ausgerüstet.
SGV	Schwerer Güterverkehr: Verkehr mit schweren Nutzfahrzeugen.
SLZ	Sattel- und Lastenzüge.
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge >3.5t. Umfasst Sattelzugfahrzeuge mit Aufleger, Lastwagen mit Anhänger (Lastenzug) und Lastwagen ohne Anhänger oder Aufleger.
SoloLkw	Lastwagen ohne Anhänger.
Teil-Verlagerungszwang	siehe SFV.
Tempo 100	Tempolimit von 100km/h für den Gesamt-Verkehr. Dies betrifft implizit nicht die SGF, die faktisch mit etwa 90km/h bei den Messstationen MFM-U unterwegs sind.
Verlagerungsziel (VZ)	Szenario, bei dem nur noch 650'000 SGF pro Jahr die Alpen queren.
Zwischenziel (ZZ)	Gemäss dem Güterverkehrsverlagerungsgesetz verkehren sollen ab dem Jahr 2011 als Zwischenziel höchstens 1 Million SGF die Alpen queren.

## Anhang: Dokumentation der Szenarien-Ergebnisse

Bezeichnung	Bedeutung
SGV	Schwerer Güterverkehr = Lkw ohne Anhänger + Sattel- und Lastenzüge
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge = Lkw ohne Anhänger + Sattel- und Lastenzüge
HB	Emissionsfaktoren (EFA) nach HBEFA3.1
hE6	Für alle Fahrzeugkategorien: EFA Euro0-V/5 gemäss HBEFA3.1; EuroVI/6 weisen nur halbe Differenz zu entsprechendem EuroV/5 auf ('halbe Effizienz').
BAU	Flottenzusammensetzung SGV 2020 gemäss Infrac ('Business as usual'); Flotte üb. Fahrzeuge gemäss HBEFA3.1
BAT	Alle Fahrzeugkategorien nur EuroVI/6
SFV	Sektorales Fahrverbot für Teile des SGV.
noNFV	Aufhebung des Nachtfahrverbotes
Tempo100	Permanentes Tempo100 (Moleno; Erstfeld) bzw. Tempo80 (Rothenbrunnen) für Pw + Lfw
LfwP	Wachstum Anzahl Lieferwagen gemäss Primes-Szenarien der EU (25% von 2011 bis 2020)
PM	Partikelmasse (Auspuff + Aufwirbelung)
PMexh	Partikelmasse von Auspuff

Bei der Aufteilung der NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Immissionen nach Fahrzeugkategorie (Kap. 1.4, 2.4, 3.4 des Anhangs) wurden die folgenden Werte für den "Immissionshintergrund" gewählt. Hintergrund bezeichnet hier die nicht von der A2 bzw. A13 herührenden Immissionen.

	NO <sub>x</sub> [ppb]	NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]
<b>Moleno</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
<b>Erstfeld</b>	<b>5</b>	<b>8</b>
<b>Rothenbrunnen</b>	<b>5</b>	<b>7</b>

# 1. Dokumentation der Szenarien für Erstfeld

## 1.1. Emissionen

Tabelle A1.1: Emissionen für Szenarien Erstfeld 2020:

	Erstfeld	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
		E_NOx	E_NO <sub>2</sub>	E_PM	E_PM <sub>exh</sub>	E_CO <sub>2</sub>
		g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h
	<b>Real 2011</b>	<b>780</b>	<b>132</b>	<b>78</b>	<b>22.2</b>	<b>245</b>
Grundsze	G.1 (BAU/HB)	381	94	69	7.7	243
	G.2 (BAU/hE6)	499	118	70	8.5	243
	G.3 (BAT/HB)	160	40	63	1.9	232
	G.4 (BAT/hE6)	360	87	64	3.1	232
Massn. & Entwickl. BAU/HB	G.5 (SFV BAU/HB)	371	92	67	7.5	235
	G.6 (noNFV BAU/HB)	396	96	72	7.9	256
	G.7 (T100 BAU/HB)	317	76	57	6.3	223
	G.8 (LfwP BAU/HB)	402	101	70	8.1	248
SGV - Verlagerungsziel	VZ.1 (BAU/HB)	338	88	58	7.1	202
	VZ.2 (BAU/hE6)	421	109	58	7.5	202
	VZ.3 (BAT/HB)	148	37	53	1.7	191
	VZ.4 (BAT/hE6)	300	79	53	2.4	191
SGV-Verlagerung	ZZ.1 (BAU/HB)	356	90	63	7.3	220
	ZZ.2 (BAU/hE6)	454	113	63	7.9	220
	KV.1 (BAU/HB)	421	99	79	8.2	279
	KV.2 (BAU/hE6)	570	127	80	9.4	279
Massn. & Entwickl. BAU/hE6	G.9 (SFV BAU/hE6)	482	116	67	8.2	235
	G.10 (noNFV BAU/hE6)	524	121	73	8.8	256
	G.11 (T100 BAU/hE6)	425	97	58	7.1	223
	G.12 (LfwP BAU/hE6)	524	127	71	8.9	248

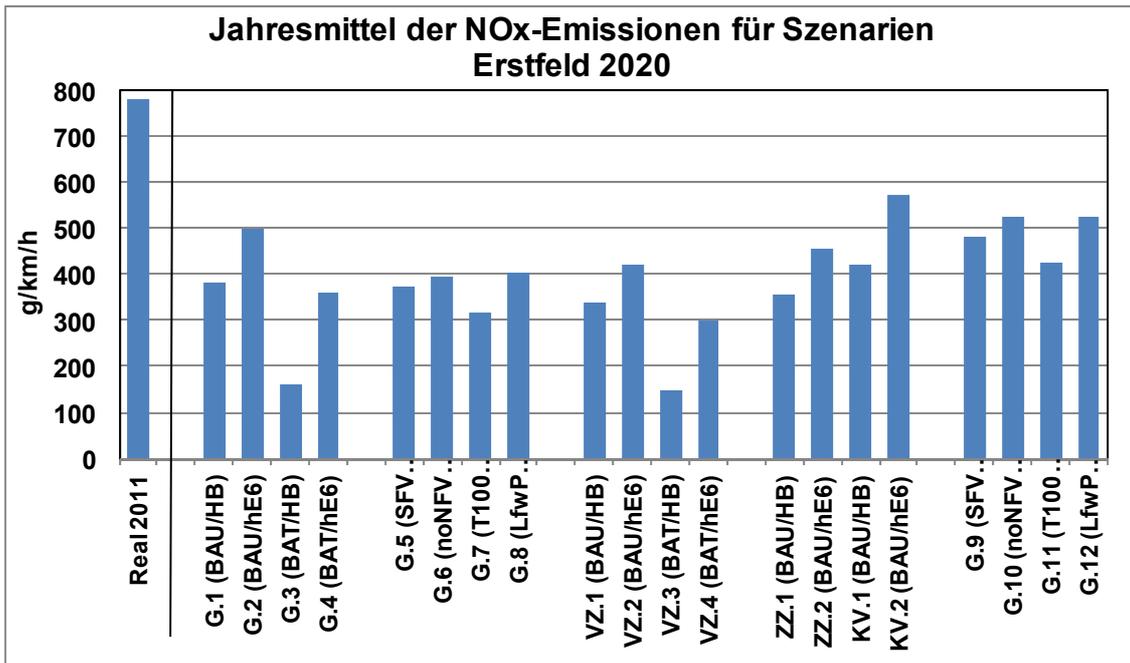


Abbildung A1.1: Jahresmittel der NOx-Emissionen für Szenarien Erstfeld 2020.

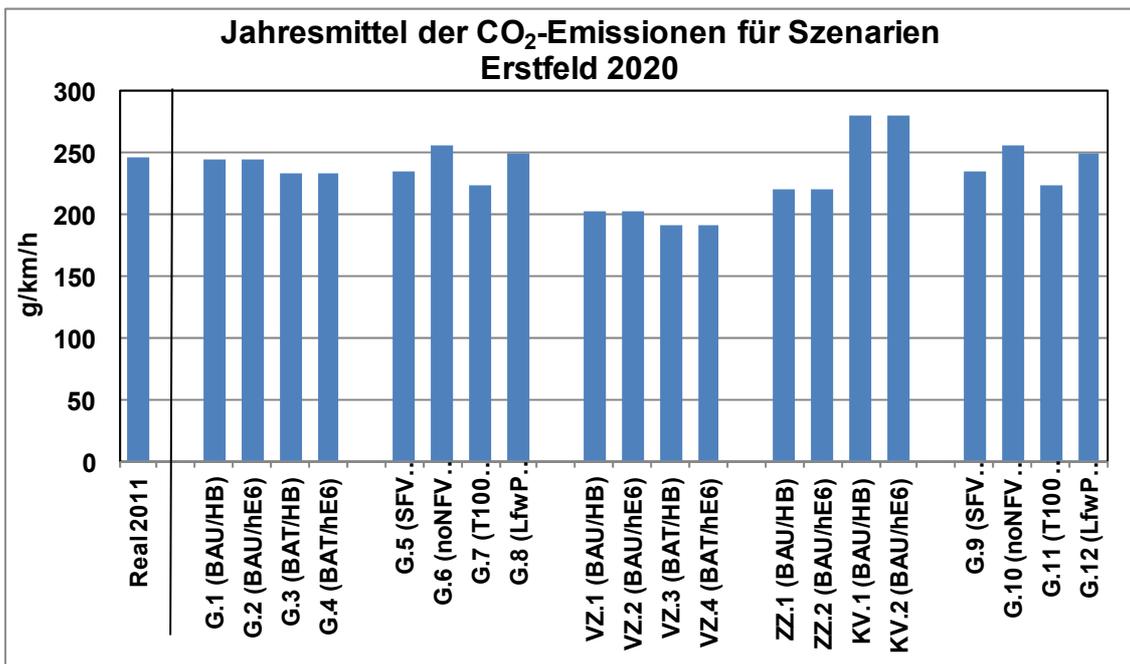


Abbildung A1.2: Jahresmittel der CO<sub>2</sub>-Emissionen für Szenarien Erstfeld 2020.

## 1.2. Immissionen

Tabelle A1.2: Immissionen für Szenarien Erstfeld 2020:

	Erstfeld	Mittel	Mittel	Mittel	Verk. prim.	Total
		I_NOx	I_NO <sub>2</sub>	I_Russ	I_PM10	I_PM10
		ppb	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
	<b>Real 2011</b>	<b>48.5</b>	<b>35.2</b>	<b>1.4</b>	<b>8.0</b>	<b>23.8</b>
Grundsze	G.1 (BAU/HB)	25.6	25.0	0.7	7.1	22.9
	G.2 (BAU/hE6)	32.3	29.3	0.9	7.2	23.0
	G.3 (BAT/HB)	13.5	15.7	0.4	6.5	22.3
	G.4 (BAT/hE6)	24.7	24.0	0.7	6.6	22.5
Massn. & Entwickl. BAU/HB	G.5 (SFV BAU/HB)	25.0	24.7	0.7	6.8	22.6
	G.6 (noNFV BAU/HB)	27.6	26.7	0.8	8.0	23.8
	G.7 (T100 BAU/HB)	22.4	22.3	0.7	6.0	21.8
	G.8 (LfwP BAU/HB)	26.7	26.1	0.8	7.2	23.0
SGV - Verlagerungsziel	VZ.1 (BAU/HB)	22.9	23.6	0.7	5.8	21.6
	VZ.2 (BAU/hE6)	27.5	27.0	0.8	5.9	21.7
	VZ.3 (BAT/HB)	12.8	15.1	0.4	5.3	21.1
	VZ.4 (BAT/hE6)	21.0	22.0	0.6	5.3	21.1
SGV-Verlagerung	ZZ.1 (BAU/HB)	24.1	24.2	0.7	6.4	22.2
	ZZ.2 (BAU/hE6)	29.5	28.0	0.9	6.4	22.2
	KV.1 (BAU/HB)	28.0	26.3	0.8	8.2	24.1
	KV.2 (BAU/hE6)	36.7	31.2	1.1	8.4	24.2
Massn. & Entwickl. BAU/hE6	G.9 (SFV BAU/hE6)	31.3	28.8	0.9	6.9	22.7
	G.10 (noNFV BAU/hE6)	35.7	31.9	1.0	8.1	23.9
	G.11 (T100 BAU/hE6)	28.6	26.1	0.8	6.1	21.9
	G.12 (LfwP BAU/hE6)	33.6	30.4	1.0	7.3	23.1

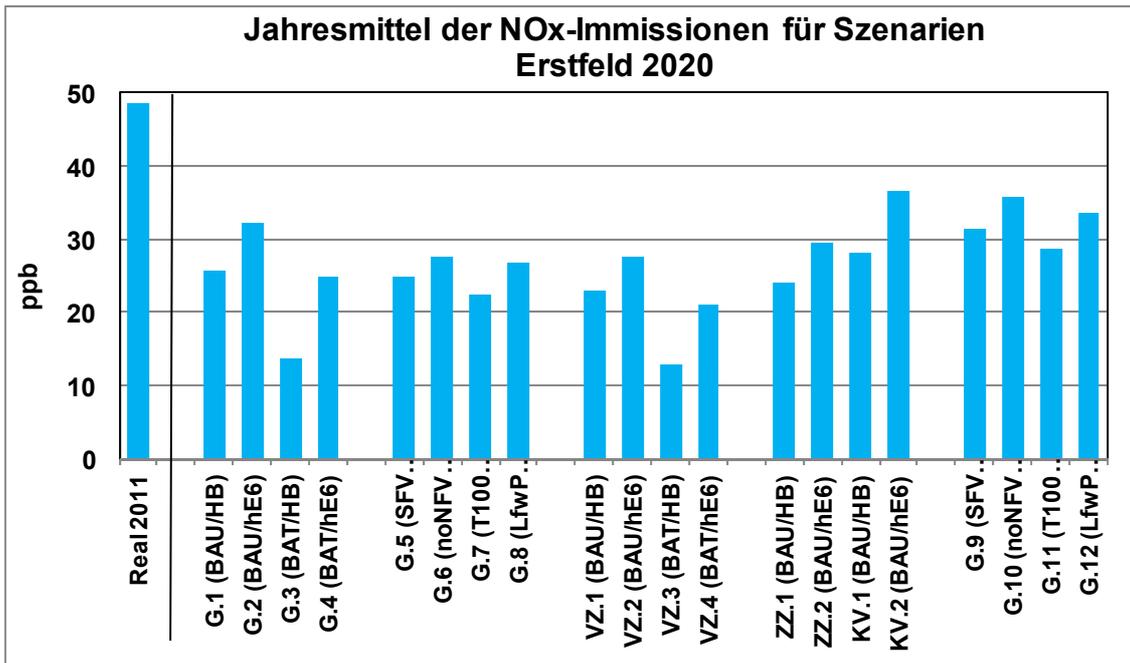


Abbildung A1.3: Jahresmittel der NOx-Immissionen für Szenarien Erstfeld 2020.

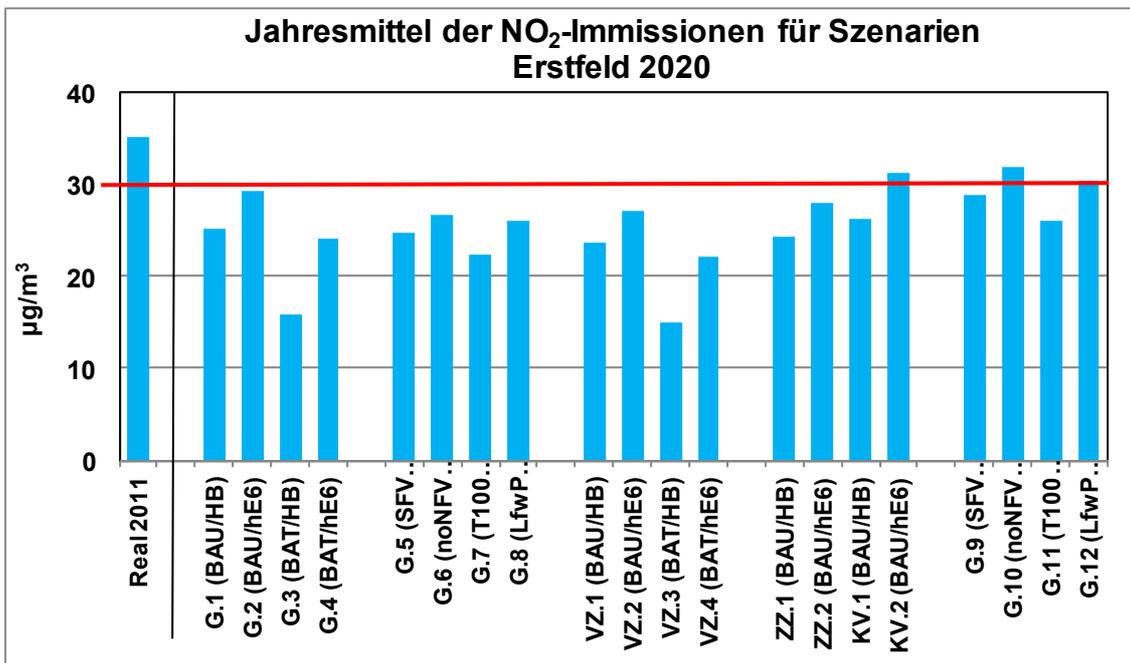


Abbildung A1.4: Jahresmittel der NO2-Immissionen für Szenarien Erstfeld 2020.

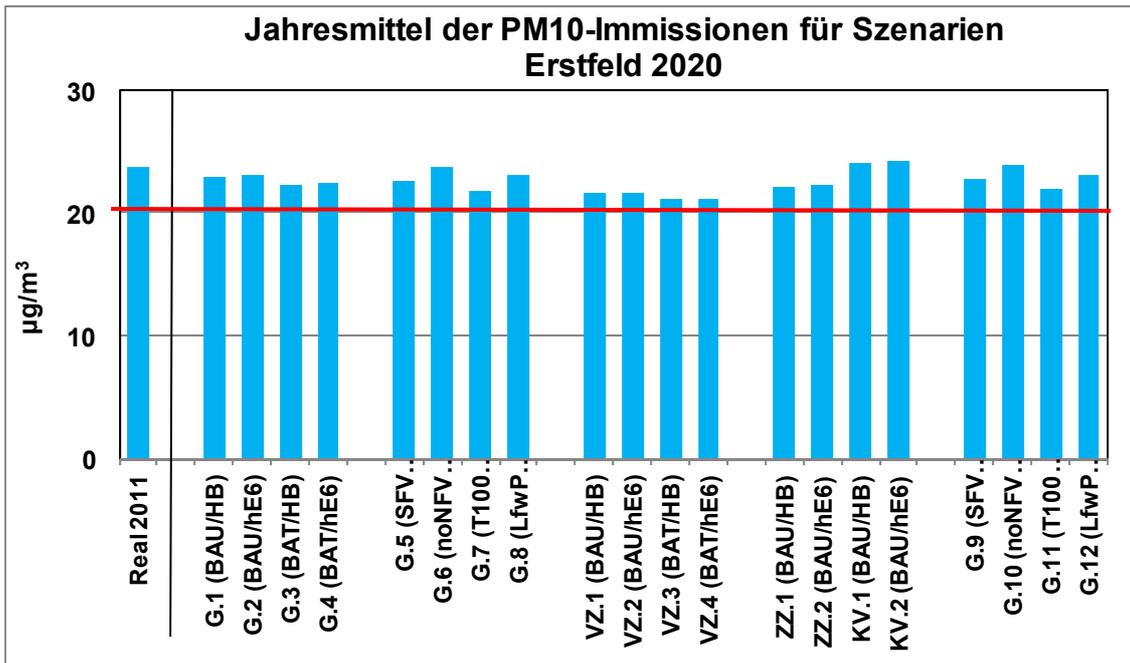


Abbildung A1.5: Jahresmittel der PM10-Immissionen für Szenarien Erstfeld 2020.

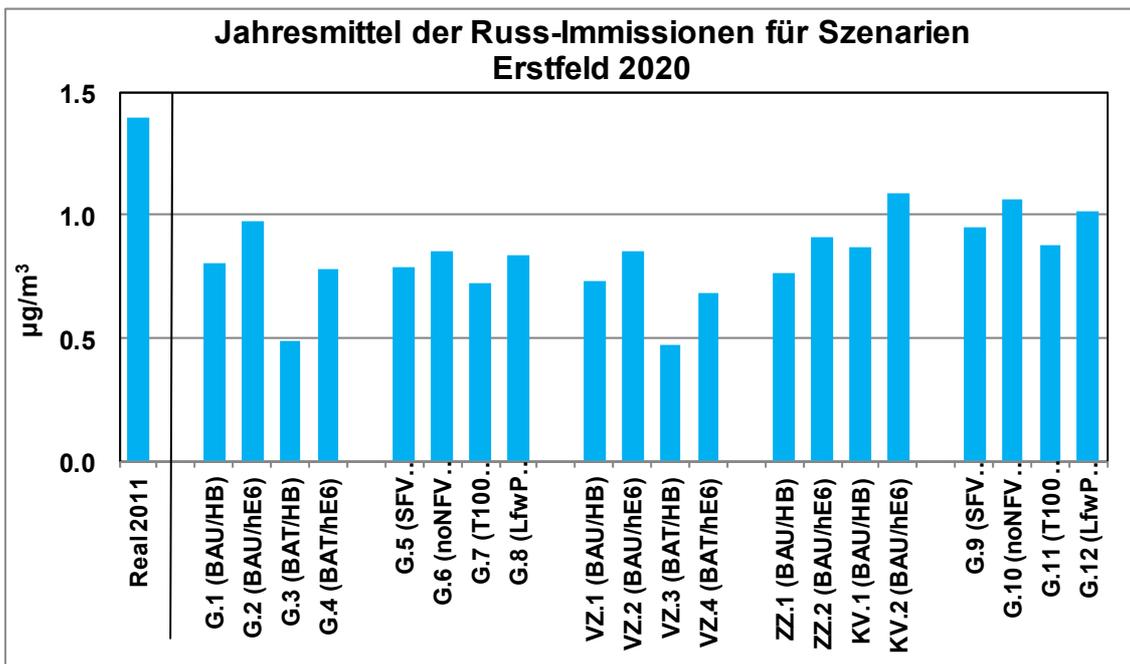


Abbildung A1.6: Jahresmittel der Russ-Immissionen für Szenarien Erstfeld 2020.

### 1.3. Differenzen zu Grundscenarien

Die Differenzen zu den entsprechenden Grundscenarien zeigen den Effekt von einzelnen Entwicklungen bzw. Massnahmen.

Differenz zu "Real 2011":

Tabelle A1.3: Differenzen der Emissionen der Grundscenarien für Erstfeld 2020 zu Real 2011:

Erstfeld					
Diff. zu Real 2011	E_NOx	E_NO <sub>2</sub>	E_PM	E_PMexh	E_CO <sub>2</sub>
	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h
Real 2011	0	0	0	0	0
G.1 (BAU HB)	-399	-38	-9	-14.5	-2
G.2 (BAU hE6)	-281	-13	-8	-13.7	-2
G.3 (BAT HB)	-619	-92	-14	-20.3	-13
G.4 (BAT hE6)	-420	-45	-13	-19.1	-13

Tabelle A1.4: Differenzen der Immissionen der Grundscenarien für Erstfeld 2020 zu Real 2011:

Erstfeld				Verk prim.	Total
Diff. zu Real 2011	I_NOx	I_NO <sub>2</sub>	I_Russ	I_PM10	I_PM10
	ppb	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
Real 2011	0	0	0	0	0
G.1 (BAU HB)	-22.9	-10.1	-0.6	-0.9	-0.9
G.2 (BAU hE6)	-16.2	-5.9	-0.4	-0.8	-0.8
G.3 (BAT HB)	-35.0	-19.5	-0.9	-1.5	-1.5
G.4 (BAT hE6)	-23.8	-11.2	-0.6	-1.3	-1.3

### Differenz zu G.1 (BAU HB):

Tabelle A1.5: Differenzen der Emissionen der "BAU/HB"-Szenarien für Erstfeld 2020 zu G.1:

Erstfeld					
Diff. zu G.1 (BAU HB)	E_NOx	E_NO <sub>2</sub>	E_PM	E_PM <sub>exh</sub>	E_CO <sub>2</sub>
	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h
<b>G.1 (BAU HB)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
G.5 (SFV HB)	-9.9	-1.4	-2.3	-0.1	-8.2
G.6 (noNFV HB)	14.9	2.0	3.4	0.2	12.7
G.7 (T100 HB)	-63.4	-17.9	-11.7	-1.4	-19.4
G.8 (LfwP HB)	21.4	7.0	1.2	0.5	5.2
VZ.1 (BAU HB)	-43.1	-6.2	-11.0	-0.6	-40.6
ZZ.1 (BAU HB)	-24.8	-3.6	-6.3	-0.3	-23.3
KV.1 (BAU HB)	40.1	5.7	9.8	0.6	35.9

Tabelle A1.6: Differenzen der Immissionen der "BAU/HB"-Szenarien für Erstfeld 2020 zu G.1:

Erstfeld				V prim.	Total
Diff. zu G.1 (BAU HB)	I_NOx	I_NO <sub>2</sub>	I_Russ	I_PM10	I_PM10
	ppb	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
<b>G.1 (BAU HB)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
G.5 (SFV HB)	-0.6	-0.3	0.0	-0.3	-0.3
G.6 (noNFV HB)	2.0	1.6	0.1	0.9	0.9
G.7 (T100 HB)	-3.2	-2.8	-0.1	-1.1	-1.1
G.8 (LfwP HB)	1.1	1.0	0.0	0.1	0.1
VZ.1 (BAU HB)	-2.7	-1.4	-0.1	-1.3	-1.3
ZZ.1 (BAU HB)	-1.5	-0.8	0.0	-0.7	-0.7
KV.1 (BAU HB)	2.5	1.3	0.1	1.1	1.1

### Differenz zu G.2 (BAU hE6):

Tabelle A1.7: Differenzen der Emissionen der "BAU/hE6"-Szenarien für Erstfeld 2020 zu G.2:

Erstfeld					
Diff. zu G.2 (BAU hE6)	E_NOx	E_NO <sub>2</sub>	E_PM	E_PM <sub>exh</sub>	E_CO <sub>2</sub>
	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h
<b>G.2 (BAU hE6)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
G.9 (SFV hE6)	-16.8	-2.0	-2.3	-0.2	-8.2
G.10 (noNFV hE6)	25.3	3.0	3.5	0.3	12.7
G.11 (T100 hE6)	-74.6	-21.9	-11.7	-1.4	-19.4
G.12 (LfwP hE6)	24.5	8.2	1.2	0.5	5.2
VZ.2 (BAU hE6)	-78.5	-9.6	-11.4	-1.0	-40.6
ZZ.2 (BAU hE6)	-45.2	-5.5	-6.5	-0.6	-23.3
KV.2 (BAU hE6)	70.9	8.6	10.1	0.9	35.9

Tabelle A1.8: Differenzen der Immissionen der "BAU/hE6"-Szenarien für Erstfeld 2020 zu G.2:

Erstfeld				V prim.	Total
Diff. zu G.2 (BAU hE6)	I_NOx	I_NO <sub>2</sub>	I_Russ	I_PM10	I_PM10
	ppb	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
<b>G.2 (BAU hE6)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
G.9 (SFV hE6)	-1.0	-0.5	0.0	-0.3	-0.3
G.10 (noNFV hE6)	3.4	2.6	0.1	0.9	0.9
G.11 (T100 hE6)	-3.8	-3.2	-0.1	-1.1	-1.1
G.12 (LfwP hE6)	1.3	1.1	0.0	0.1	0.1
VZ.2 (BAU hE6)	-4.8	-2.3	-0.1	-1.3	-1.3
ZZ.2 (BAU hE6)	-2.8	-1.3	-0.1	-0.8	-0.8
KV.2 (BAU hE6)	4.4	2.0	0.1	1.2	1.2

**Grafiken zur Differenz der NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Immissionen der Grundscenarien zu “Real 2011“:**

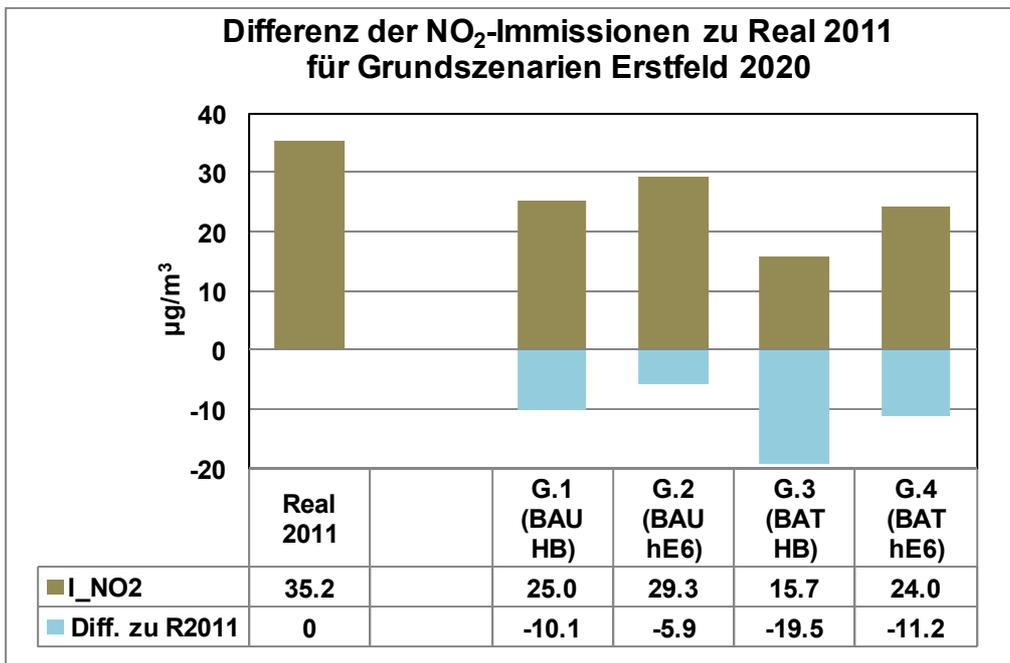
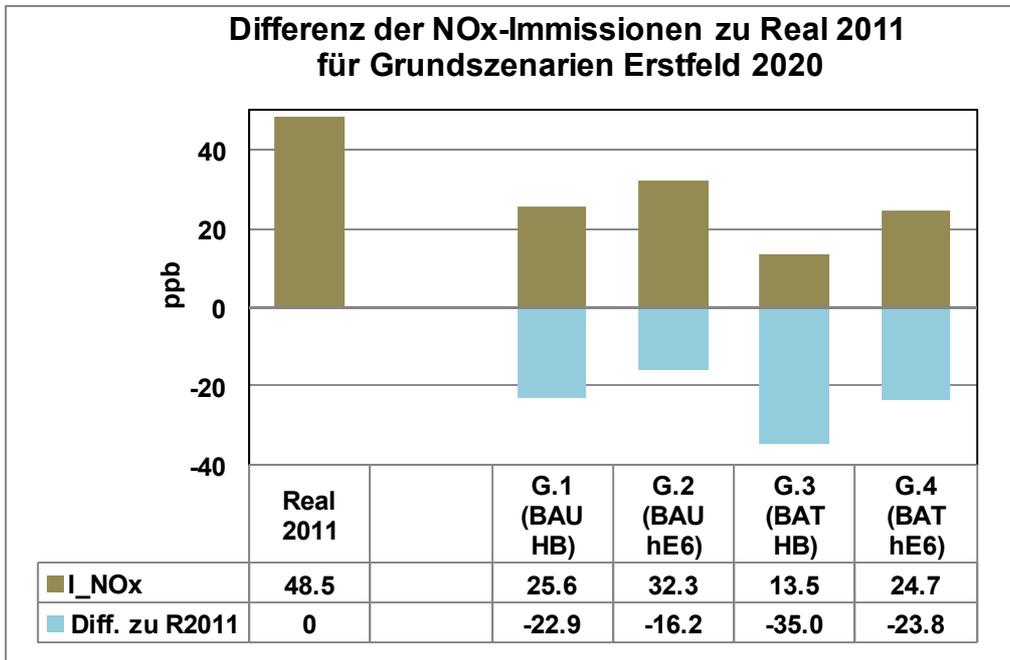


Abbildung A1.7: Differenz der NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Immissionen zu Real 2011 für Grundscenarien Erstfeld 2020.

**Grafiken zur NO<sub>2</sub>-Immissionsdifferenz von Szenarien (BAU HB & BAU hE6):**

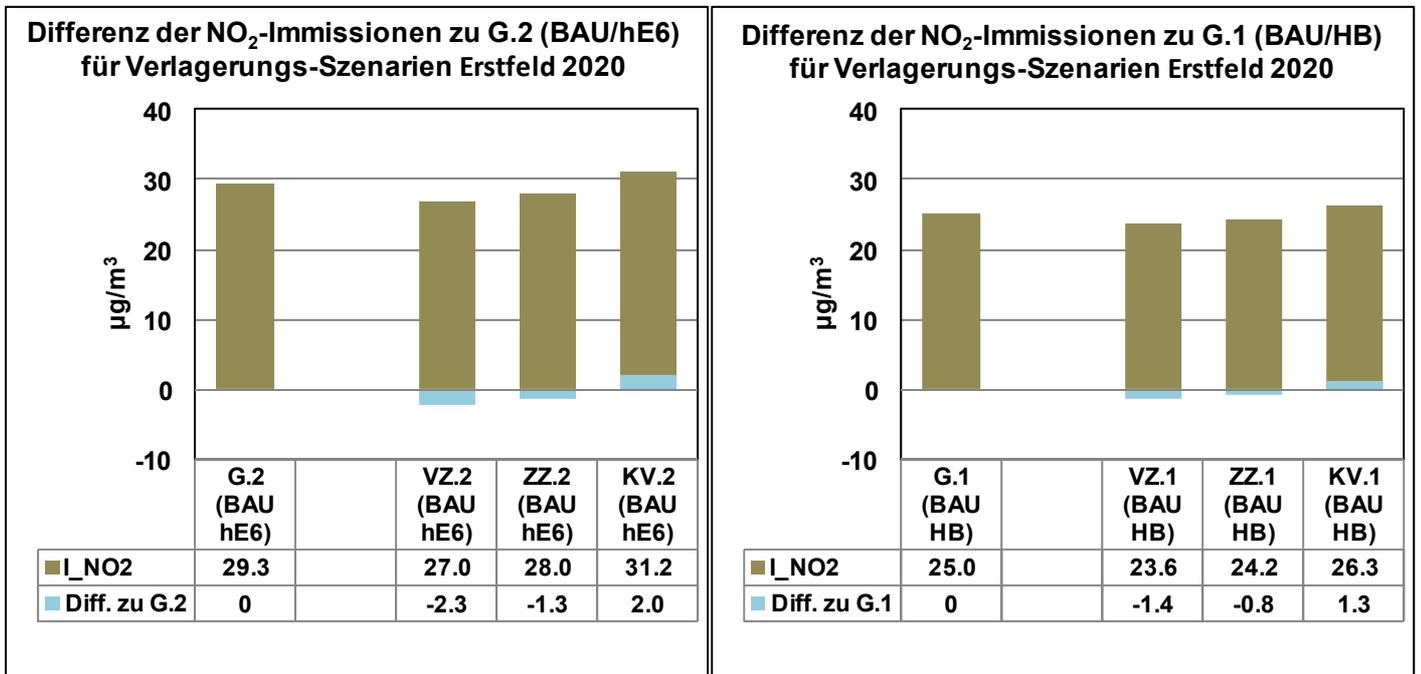


Abbildung A1.8: Differenz der NO<sub>2</sub>-Immissionen der Verlagerungsszenarien (BAU/hE6 und BAU/HB) zu G.2 für Erstfeld 2020.

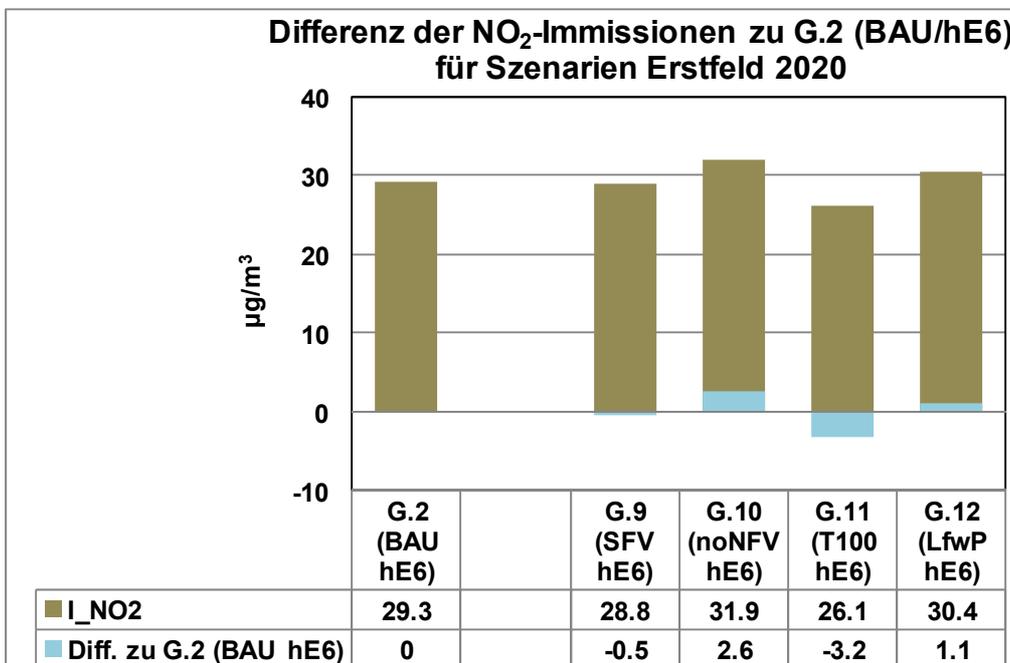


Abbildung A1.9: Differenz der NO<sub>2</sub>-Immissionen von Massnahmenszenarien (BAU hE6) zu G.2 für Erstfeld 2020.

## 1.4. Emissionen und Immissionen nach Fahrzeugkategorie

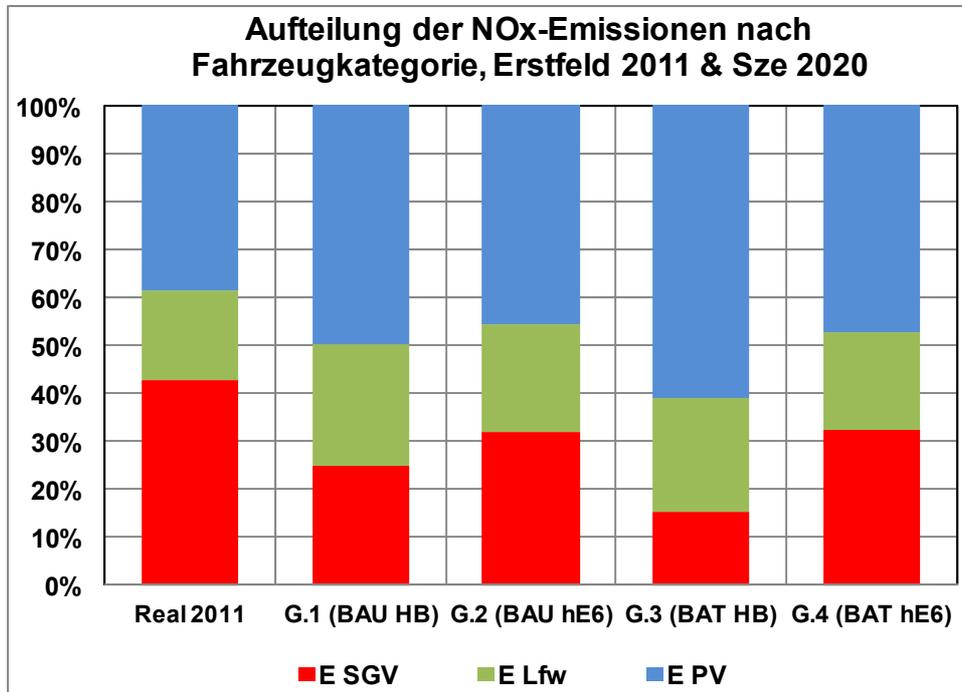


Abbildung A1.10: Aufteilung der NOx-Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Erstfeld 2011 und Grundszenarien 2020.

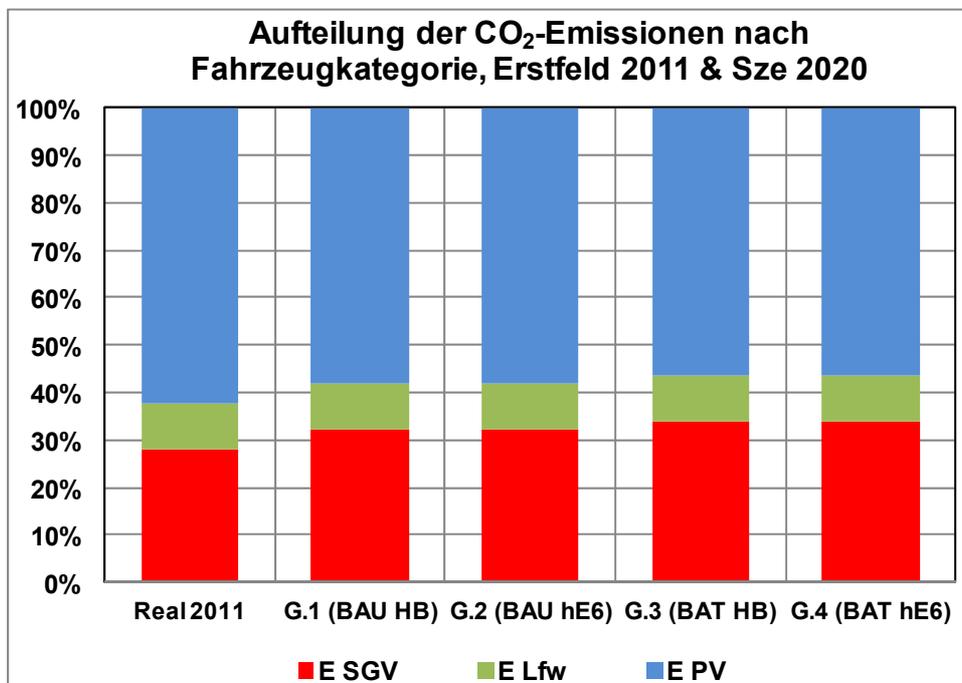


Abbildung A1.11: Aufteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Erstfeld 2011 und Grundszenarien 2020.

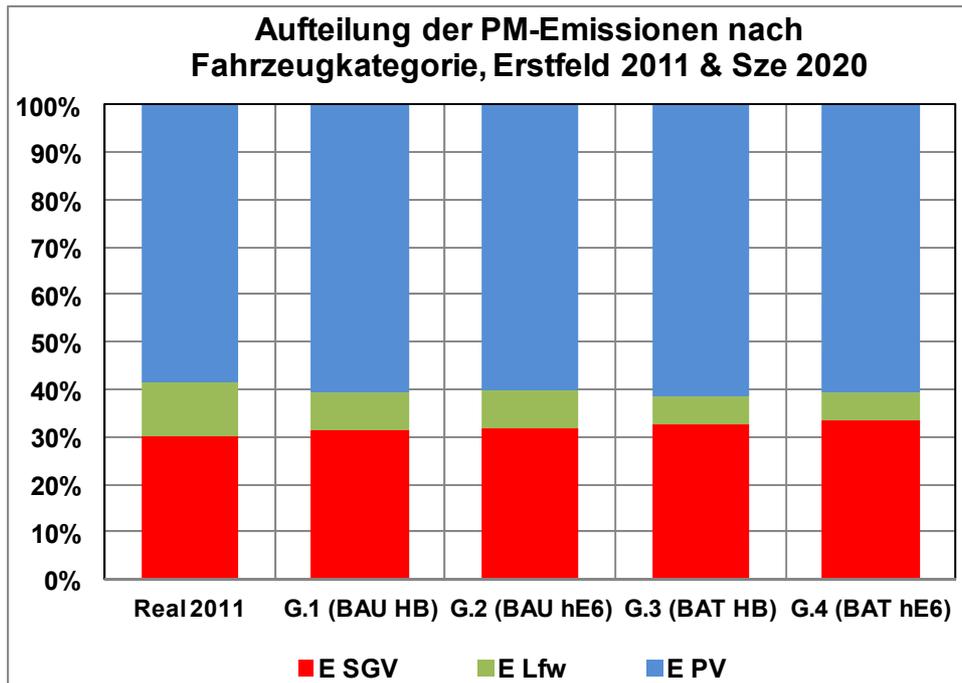


Abbildung A1.12: Aufteilung der PM-Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Erstfeld 2011 und Grundszenarien 2020.

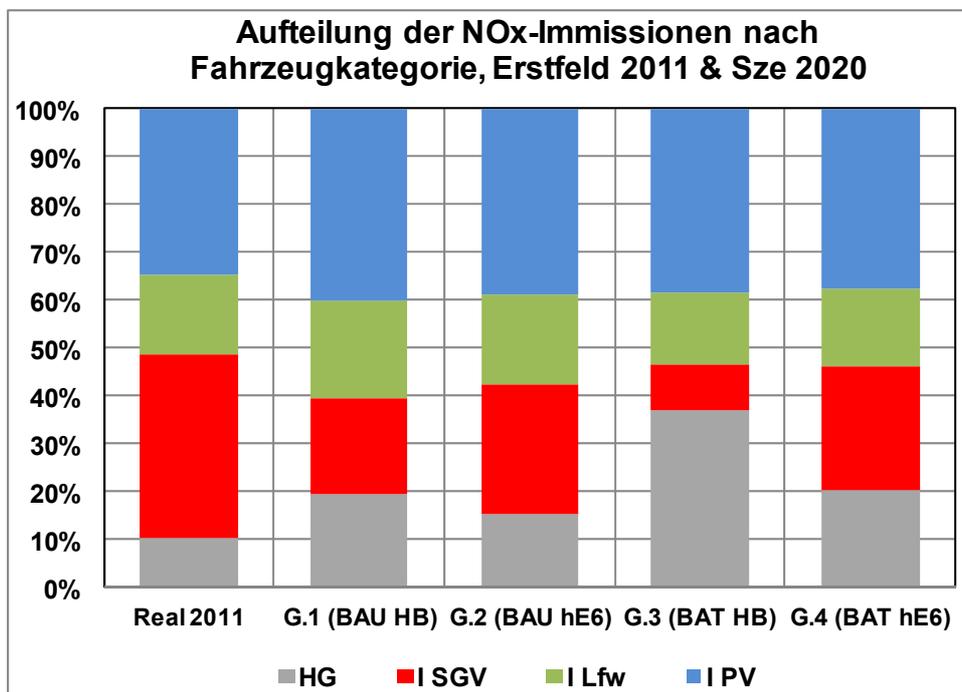


Abbildung A1.13: Aufteilung der NOx-Immissionen nach Fahrzeugkategorie, Erstfeld 2011 und Grundszenarien 2020.

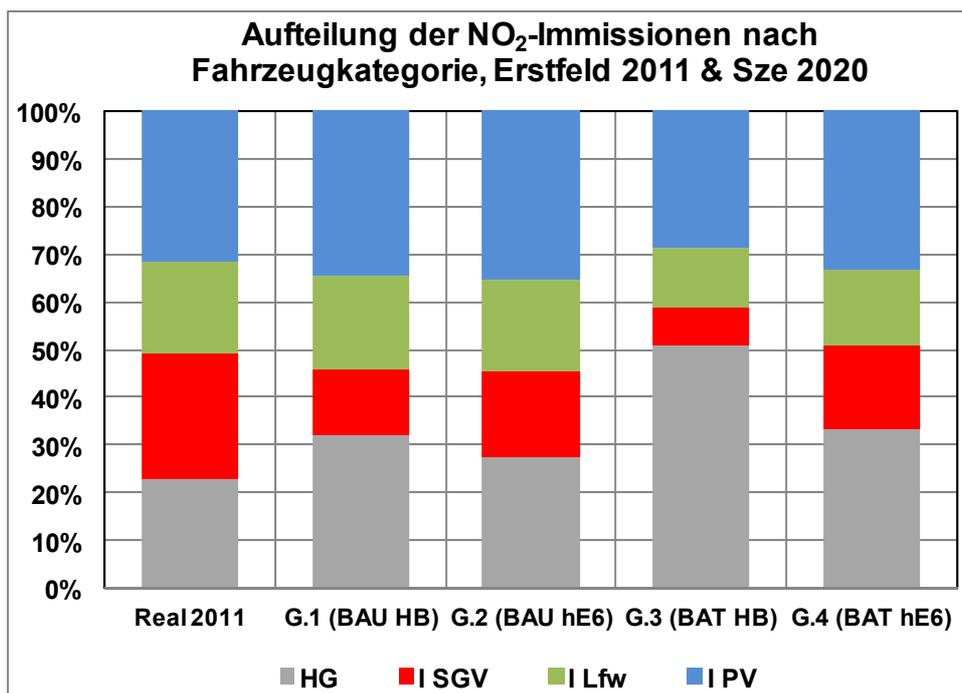


Abbildung A1.14: Aufteilung der NO<sub>2</sub>-Immissionen nach Fahrzeugkategorie, Erstfeld 2011 und Grundszenarien 2020.

## 2. Dokumentation der Szenarien für Moleno

### 2.1. Emissionen

Tabelle A2.1: Emissionen für Szenarien Moleno 2020:

	Moleno	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
		E_NOx	E_NO <sub>2</sub>	E_PM	E_PM <sub>exh</sub>	E_CO <sub>2</sub>
		g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h
	<b>Real 2011</b>	<b>978</b>	<b>182</b>	<b>96</b>	<b>29.6</b>	<b>305</b>
Grundsze	G.1 (BAU/HB)	516	135	85	10.7	304
	G.2 (BAU/hE6)	660	169	86	11.6	304
	G.3 (BAT/HB)	220	57	77	2.4	289
	G.4 (BAT/hE6)	473	122	78	3.7	289
Massn. & Entwickl. BAU/HB	G.5 (SFV BAU/HB)	506	134	83	10.6	295
	G.6 (noNFV BAU/HB)	531	138	89	10.9	316
	G.7 (T100 BAU/HB)	423	108	70	8.8	277
	G.8 (LfwP BAU/HB)	544	145	87	11.3	310
SGV - Verlagerungsziel	VZ.1 (BAU/HB)	474	129	74	10.1	263
	VZ.2 (BAU/hE6)	583	159	75	10.6	263
	VZ.3 (BAT/HB)	207	53	66	2.3	248
	VZ.4 (BAT/hE6)	413	114	67	3.0	248
SGV-Verlagerung	ZZ.1 (BAU/HB)	492	132	79	10.4	280
	ZZ.2 (BAU/hE6)	615	163	79	11.0	280
	KV.1 (BAU/HB)	556	141	95	11.3	340
	KV.2 (BAU/hE6)	730	177	96	12.5	340
Massn. & Entwickl. BAU/hE6	G.9 (SFV BAU/hE6)	643	167	84	11.4	295
	G.10 (noNFV BAU/hE6)	686	172	90	11.9	316
	G.11 (T100 BAU/hE6)	551	135	71	9.7	277
	G.12 (LfwP BAU/hE6)	692	179	87	12.2	310

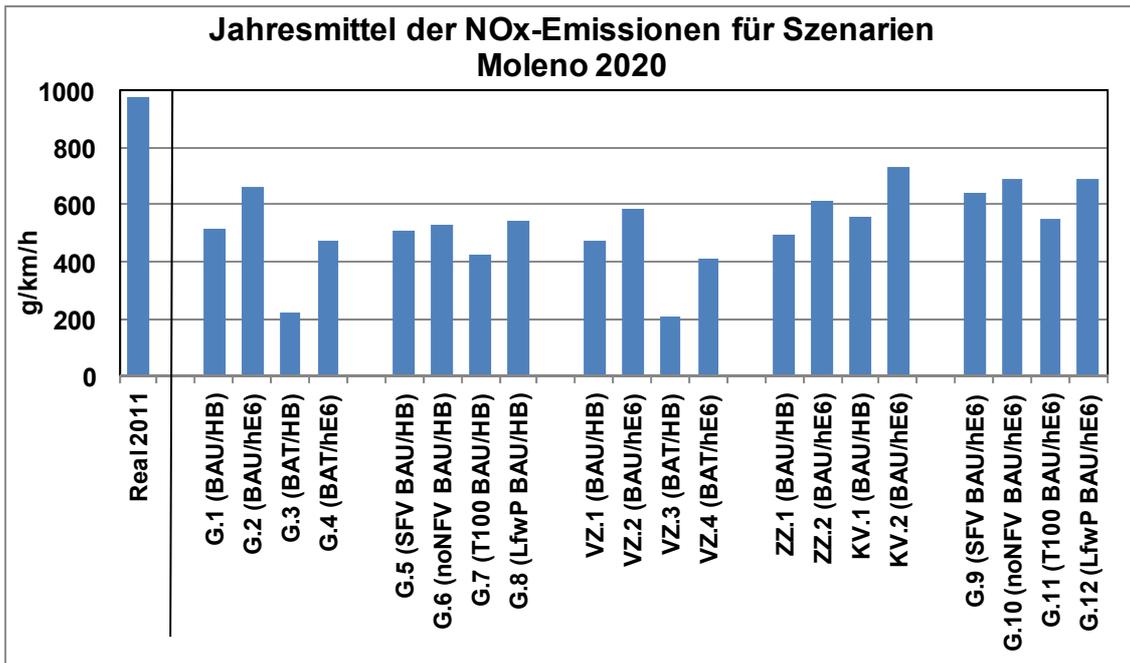


Abbildung A2.1: Jahresmittel der NOx-Emissionen für Szenarien Moleno 2020.

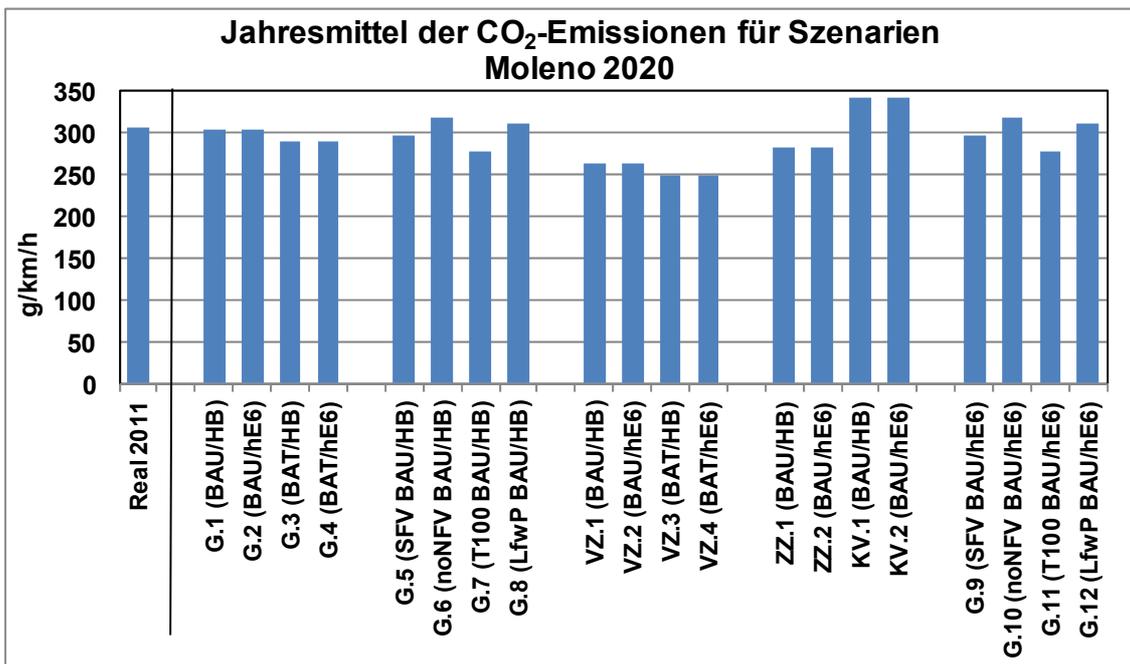


Abbildung A2.2: Jahresmittel der CO<sub>2</sub>-Emissionen für Szenarien Moleno 2020.

## 2.2. Immissionen

Tabelle A2.2: Immissionen für Szenarien Moleno 2020:

	<b>Moleno</b>	<b>Mittel</b>	<b>Mittel</b>	<b>Mittel</b>	<b>Verk. prim.</b>	<b>Total</b>
		<b>I_NOx</b>	<b>I_NO<sub>2</sub></b>	<b>I_Russ</b>	<b>I_PM10</b>	<b>I_PM10</b>
		<b>ppb</b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>	<b>µg/m<sup>3</sup></b>
	<b>Real 2011</b>	<b>78.2</b>	<b>50.1</b>	<b>3.0</b>	<b>12.9</b>	<b>25.7</b>
Grundsze	G.1 (BAU/HB)	45.0	38.4	1.9	11.4	24.2
	G.2 (BAU/hE6)	55.3	44.4	2.3	11.5	24.3
	G.3 (BAT/HB)	24.4	23.7	1.3	10.3	23.1
	G.4 (BAT/hE6)	42.3	36.1	1.9	10.5	23.3
Massn. & Entwickl. BAU/HB	G.5 (SFV BAU/HB)	44.3	38.1	1.9	11.1	23.9
	G.6 (noNFV BAU/HB)	49.6	40.1	2.1	13.3	26.2
	G.7 (T100 BAU/HB)	38.7	33.7	1.7	9.4	22.2
	G.8 (LfwP BAU/HB)	46.9	39.9	2.0	11.6	24.4
SGV - Verlagerungsziel	VZ.1 (BAU/HB)	41.9	37.0	1.8	9.8	22.6
	VZ.2 (BAU/hE6)	49.6	42.2	2.1	9.9	22.7
	VZ.3 (BAT/HB)	23.5	23.0	1.2	8.8	21.6
	VZ.4 (BAT/hE6)	37.9	34.2	1.7	8.9	21.7
SGV-Verlagerung	ZZ.1 (BAU/HB)	43.2	37.6	1.9	10.5	23.3
	ZZ.2 (BAU/hE6)	52.0	43.1	2.2	10.6	23.4
	KV.1 (BAU/HB)	48.0	39.7	2.0	12.8	25.6
	KV.2 (BAU/hE6)	60.6	46.3	2.4	12.9	25.7
Massn. & Entwickl. BAU/hE6	G.9 (SFV BAU/hE6)	54.1	43.9	2.2	11.2	24.0
	G.10 (noNFV BAU/hE6)	63.0	46.9	2.5	13.5	26.3
	G.11 (T100 BAU/hE6)	47.9	38.9	2.0	9.5	22.3
	G.12 (LfwP BAU/hE6)	57.5	46.1	2.3	11.7	24.5

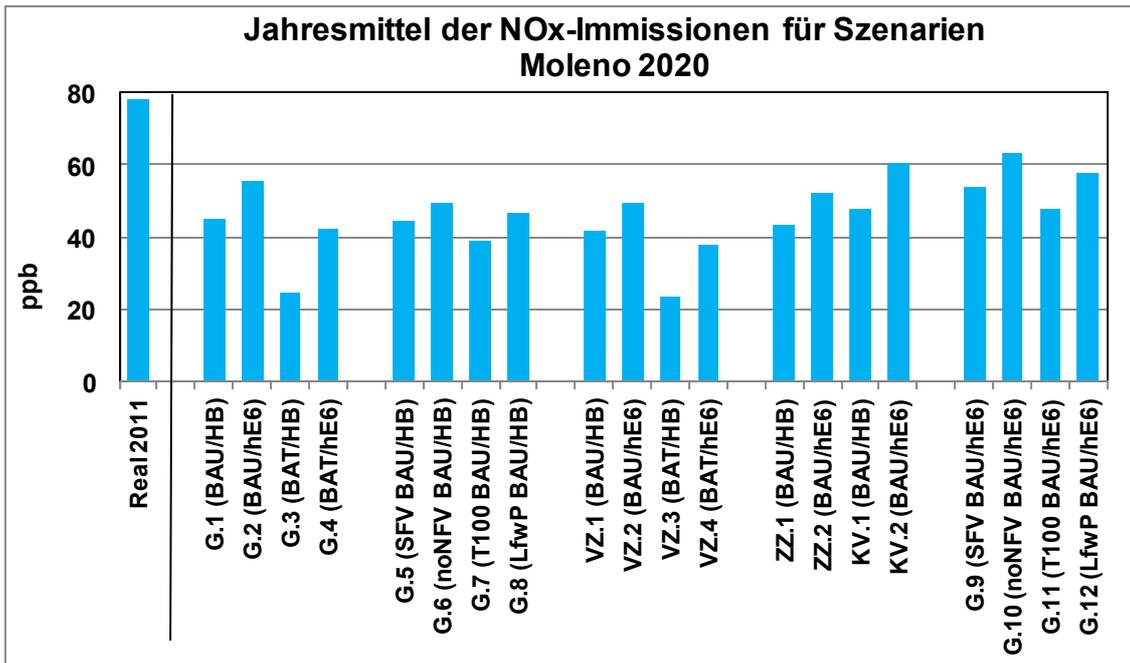


Abbildung A2.3: Jahresmittel der NO<sub>x</sub>-Immissionen für Szenarien Moleno 2020.

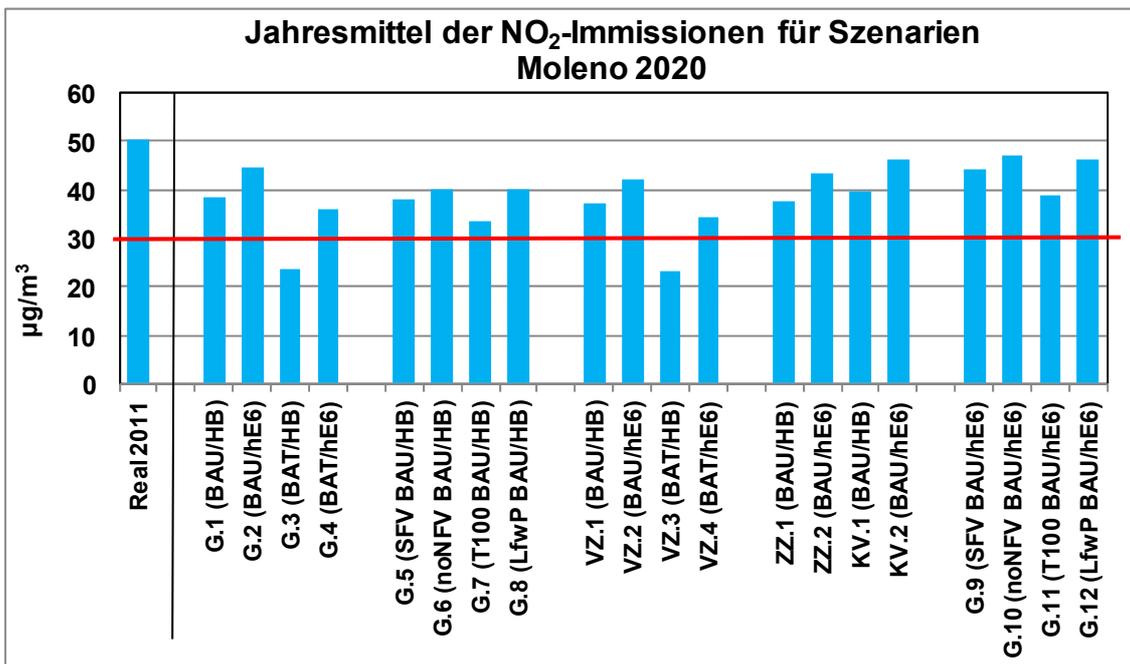


Abbildung A2.4: Jahresmittel der NO<sub>2</sub>-Immissionen für Szenarien Moleno 2020.

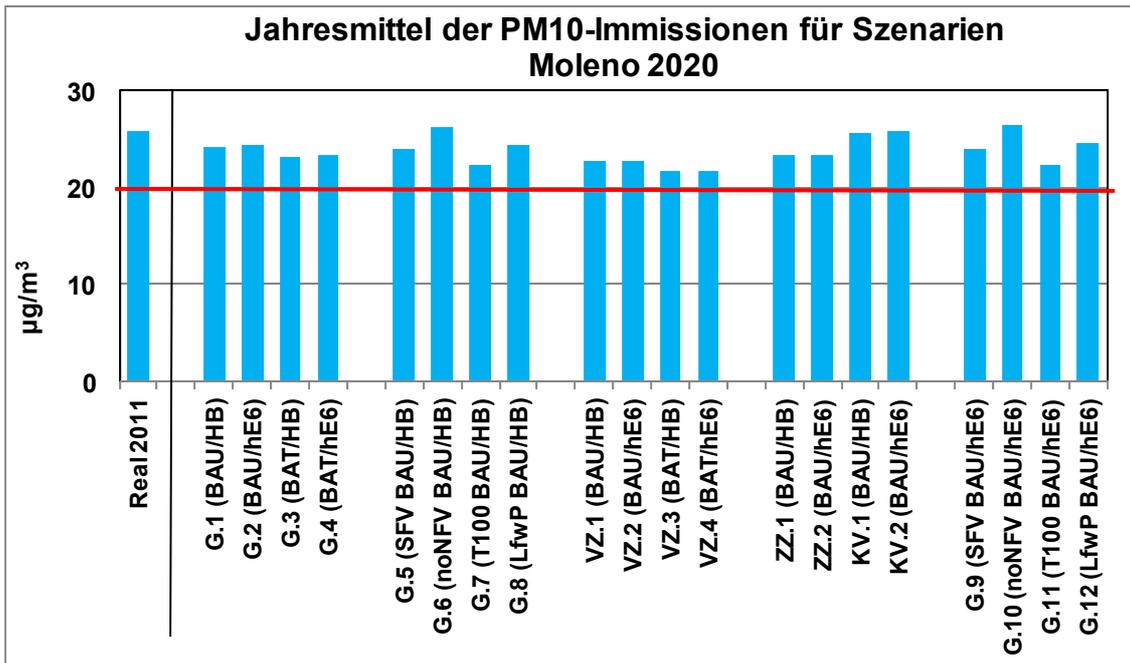


Abbildung A2.5: Jahresmittel der PM10-Immissionen für Szenarien Moleno 2020.

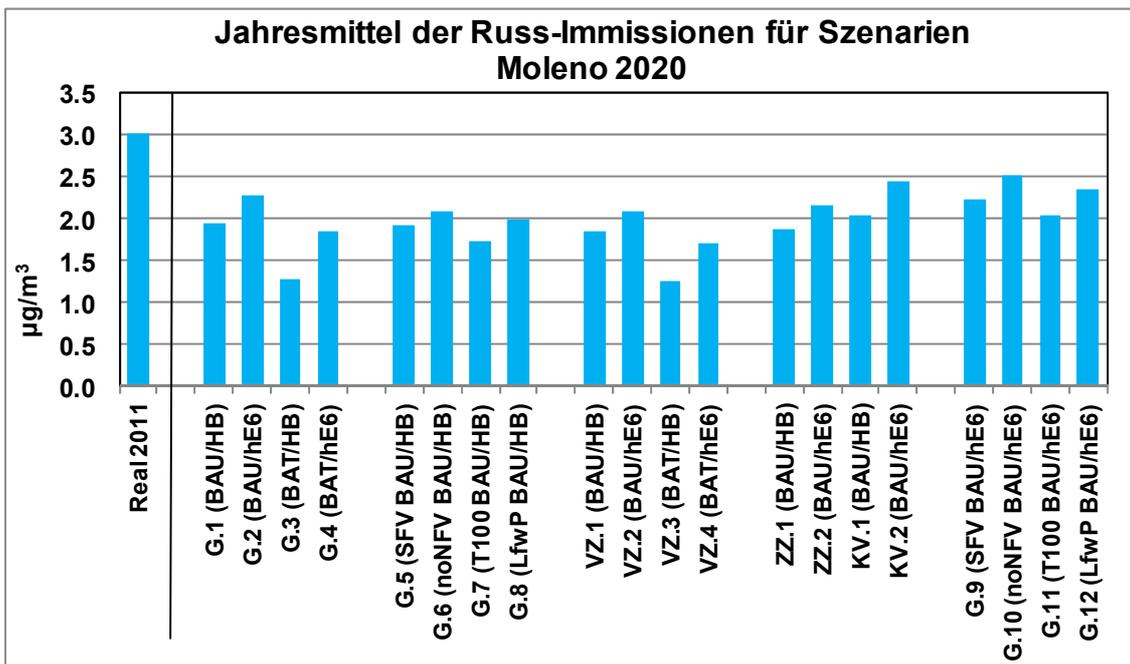


Abbildung A2.6: Jahresmittel der Russ-Immissionen für Szenarien Moleno 2020.

## 2.3. Differenzen zu Grundscenarien

Die Differenzen zu den entsprechenden Grundscenarien zeigen den Effekt von einzelnen Entwicklungen bzw. Massnahmen.

Differenz zu "Real 2011":

Tabelle A2.3: Differenzen der Emissionen der Grundscenarien für Moleno 2020 zu Real 2011:

Moleno					
Diff. zu Real 2011	E_NOx	E_NO <sub>2</sub>	E_PM	E_PMexh	E_CO <sub>2</sub>
	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h
Real 2011	0	0	0	0	0
G.1 (BAU HB)	-462	-47	-11	-18.9	-1
G.2 (BAU hE6)	-318	-14	-10	-18.1	-1
G.3 (BAT HB)	-758	-126	-20	-27.2	-16
G.4 (BAT hE6)	-505	-61	-18	-25.9	-16

Tabelle A2.4: Differenzen der Immissionen der Grundscenarien für Moleno 2020 zu Real 2011:

Moleno				V prim.	Total
Diff. zu Real 2011	I_NOx	I_NO <sub>2</sub>	I_Russ	I_PM10	I_PM10
	ppb	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
Real 2011	0	0	0	0	0
G.1 (BAU HB)	-33.2	-11.7	-0.9	-1.5	-1.5
G.2 (BAU hE6)	-22.9	-5.7	-0.6	-1.4	-1.4
G.3 (BAT HB)	-53.8	-26.4	-1.4	-2.6	-2.6
G.4 (BAT hE6)	-35.9	-14.1	-0.9	-2.4	-2.4

### Differenz zu G.1 (BAU HB):

Tabelle A2.5: Differenzen der Emissionen der "BAU/HB"-Szenarien für Moleno 2020 zu G.1:

Moleno					
Diff. zu G.1 (BAU HB)	E_NOx	E_NO <sub>2</sub>	E_PM	E_PM <sub>exh</sub>	E_CO <sub>2</sub>
	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h
<b>G.1 (BAU HB)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
G.5 (SFV HB)	-9.9	-1.3	-2.2	-0.1	-8.2
G.6 (noNFV HB)	15.4	2.1	3.5	0.2	12.7
G.7 (T100 HB)	-93.3	-27.2	-15.0	-1.9	-26.1
G.8 (LfwP HB)	27.7	9.1	1.6	0.6	6.8
VZ.1 (BAU HB)	-41.9	-6.1	-10.9	-0.6	-40.6
ZZ.1 (BAU HB)	-24.3	-3.5	-6.3	-0.3	-23.3
KV.1 (BAU HB)	39.7	5.6	9.7	0.6	35.9

Tabelle A2.6: Differenzen der Immissionen der "BAU/HB"-Szenarien für Moleno 2020 zu G.1:

Moleno				V prim.	Total
Diff. zu G.1 (BAU HB)	I_NOx	I_NO <sub>2</sub>	I_Russ	I_PM10	I_PM10
	ppb	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
<b>G.1 (BAU HB)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
G.5 (SFV HB)	-0.7	-0.3	0.0	-0.3	-0.3
G.6 (noNFV HB)	4.5	1.6	0.1	2.0	2.0
G.7 (T100 HB)	-6.3	-4.8	-0.2	-2.0	-2.0
G.8 (LfwP HB)	1.9	1.5	0.0	0.2	0.2
VZ.1 (BAU HB)	-3.1	-1.4	-0.1	-1.6	-1.6
ZZ.1 (BAU HB)	-1.8	-0.8	0.0	-0.9	-0.9
KV.1 (BAU HB)	3.0	1.3	0.1	1.4	1.4

### Differenz zu G.2 (BAU hE6):

Tabelle A2.7: Differenzen der Emissionen der "BAU/hE6"-Szenarien für Moleno 2020 zu G.2:

Moleno					
Diff. zu G.2 (BAU hE6)	E_NOx	E_NO <sub>2</sub>	E_PM	E_PM <sub>exh</sub>	E_CO <sub>2</sub>
	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h
<b>G.2 (BAU hE6)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
G.9 (SFV hE6)	-16.7	-2.0	-2.3	-0.2	-8.2
G.10 (noNFV hE6)	26.0	3.1	3.6	0.3	12.7
G.11 (T100 hE6)	-109.4	-33.1	-15.0	-1.9	-26.1
G.12 (LfwP hE6)	31.8	10.7	1.6	0.6	6.8
VZ.2 (BAU hE6)	-77.4	-9.5	-11.3	-1.0	-40.6
ZZ.2 (BAU hE6)	-44.7	-5.4	-6.5	-0.6	-23.3
KV.2 (BAU hE6)	70.4	8.5	10.1	0.9	35.9

Tabelle A2.8: Differenzen der Immissionen der "BAU/hE6"-Szenarien für Moleno 2020 zu G.2:

Moleno					
Diff. zu G.2 (BAU hE6)	I_NOx	I_NO <sub>2</sub>	I_Russ	V prim. I_PM10	Total I_PM10
	ppb	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
<b>G.2 (BAU hE6)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
G.9 (SFV hE6)	-1.2	-0.5	0.0	-0.3	-0.3
G.10 (noNFV hE6)	7.7	2.5	0.2	2.0	2.0
G.11 (T100 hE6)	-7.4	-5.5	-0.2	-2.0	-2.0
G.12 (LfwP hE6)	2.2	1.7	0.1	0.2	0.2
VZ.2 (BAU hE6)	-5.8	-2.2	-0.2	-1.6	-1.6
ZZ.2 (BAU hE6)	-3.3	-1.3	-0.1	-0.9	-0.9
KV.2 (BAU hE6)	5.2	1.9	0.1	1.4	1.4

**Grafiken zur Differenz der NOx- und NO<sub>2</sub>-Immissionen der Grundscenarien zu “Real 2011“:**

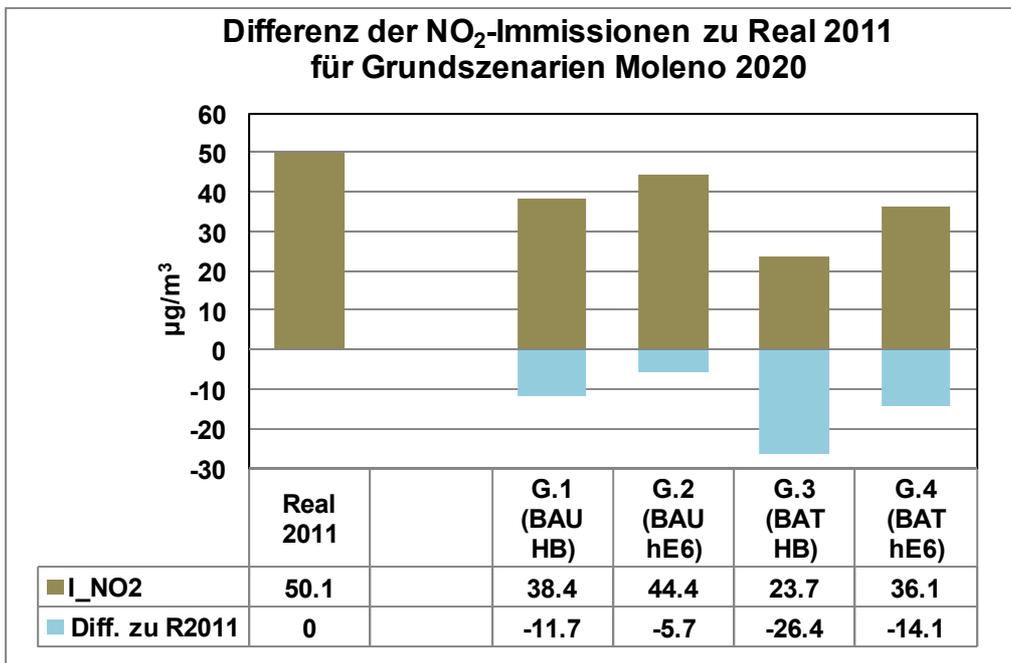
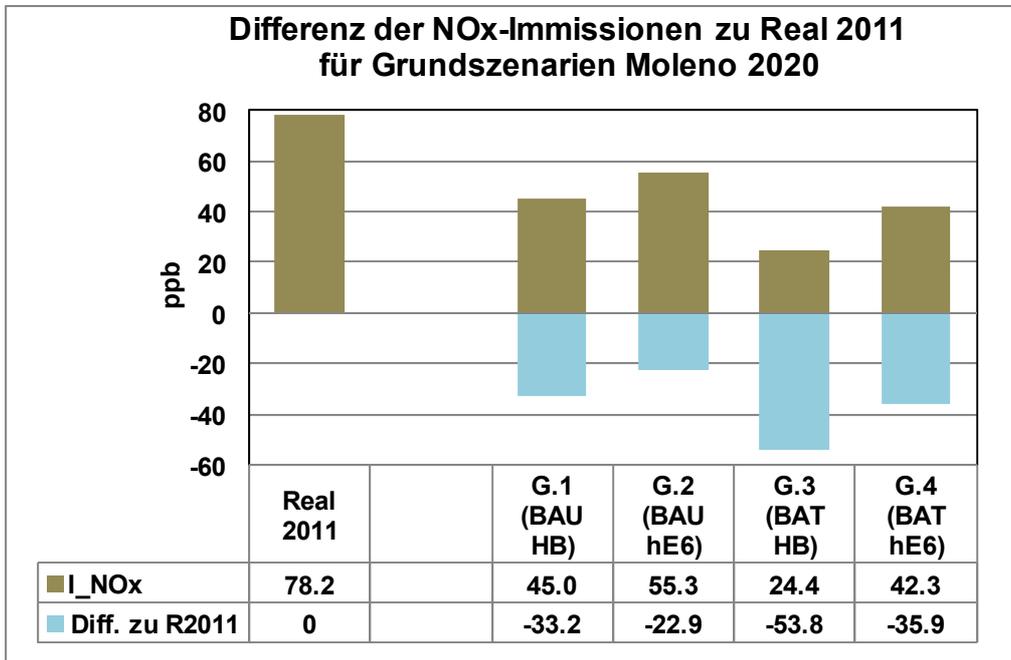


Abbildung A2.7: Differenz der NOx und NO<sub>2</sub>-Immissionen zu Real 2011 für Grundscenarien Moleno 2020.

**Grafiken zur NO<sub>2</sub>-Immissionsdifferenz von Szenarien (BAU HB & BAU hE6):**

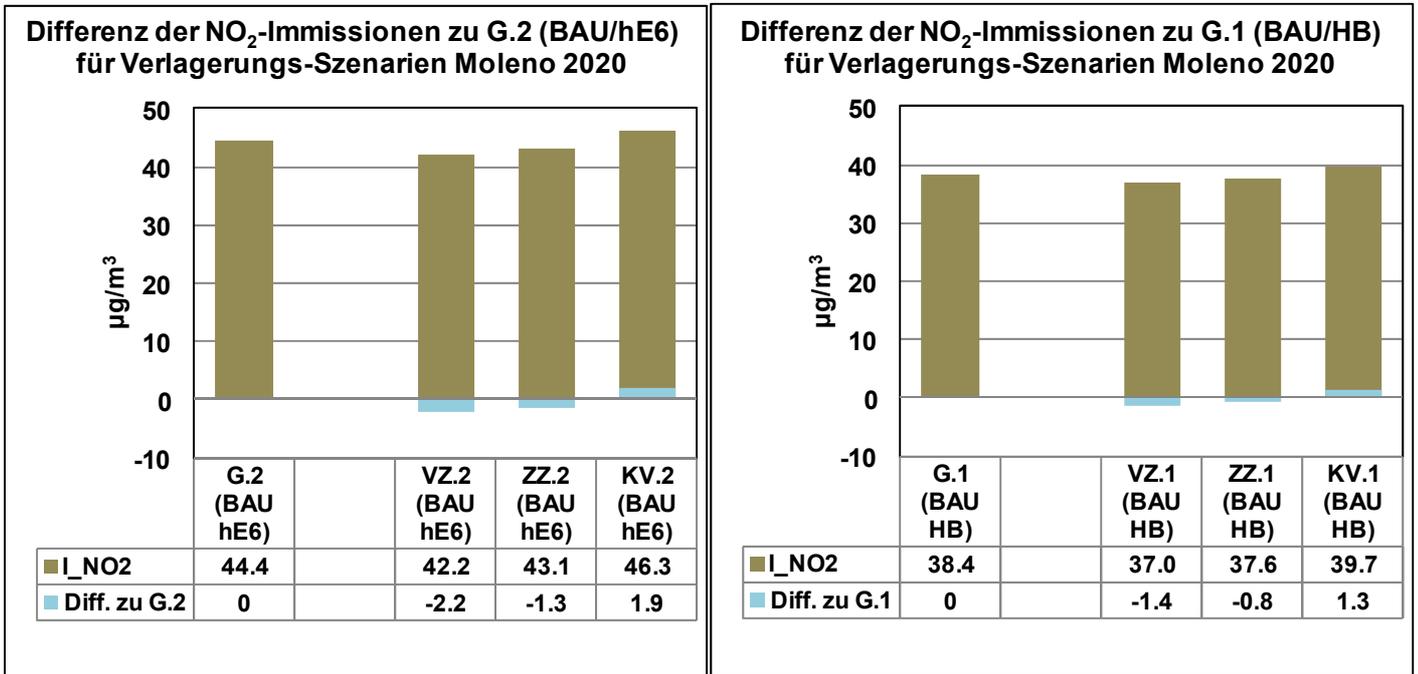


Abbildung A2.8: Differenz der NO<sub>2</sub>-Immissionen der Verlagerungsszenarien (BAU/hE6 und BAU/HB) zu G.2 für Moleno 2020.

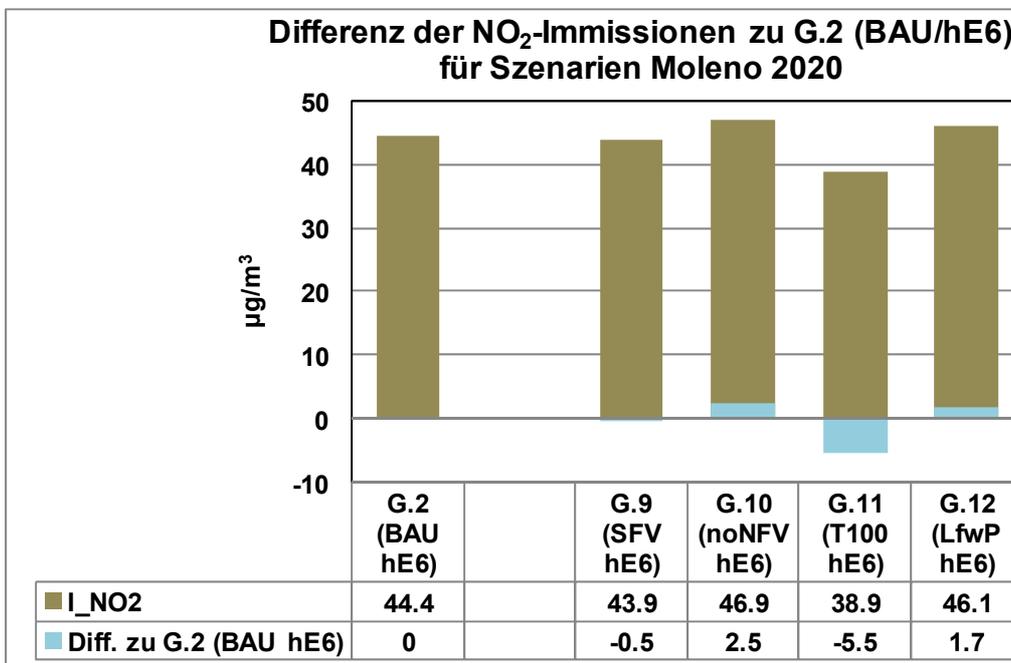


Abbildung A2.9: Differenz der NO<sub>2</sub>-Immissionen von Massnahmenszenarien (BAU hE6) zu G.2 für Moleno 2020.

## 2.4. Emissionen und Immissionen nach Fahrzeugkategorie

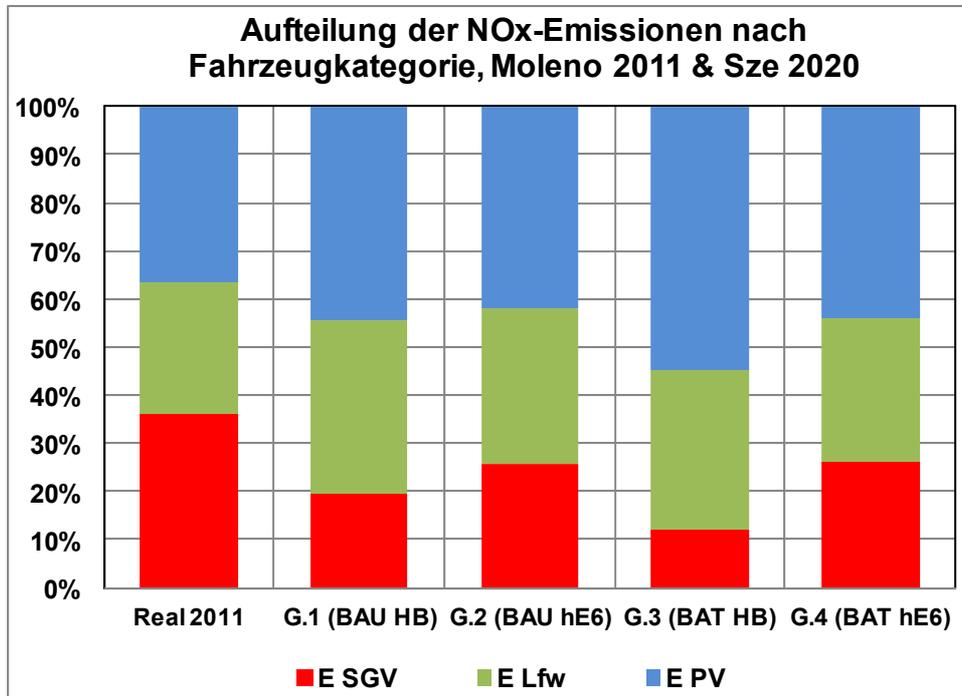


Abbildung A2.10: Aufteilung der NOx-Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Moleno 2011 und Grundszenarien 2020.

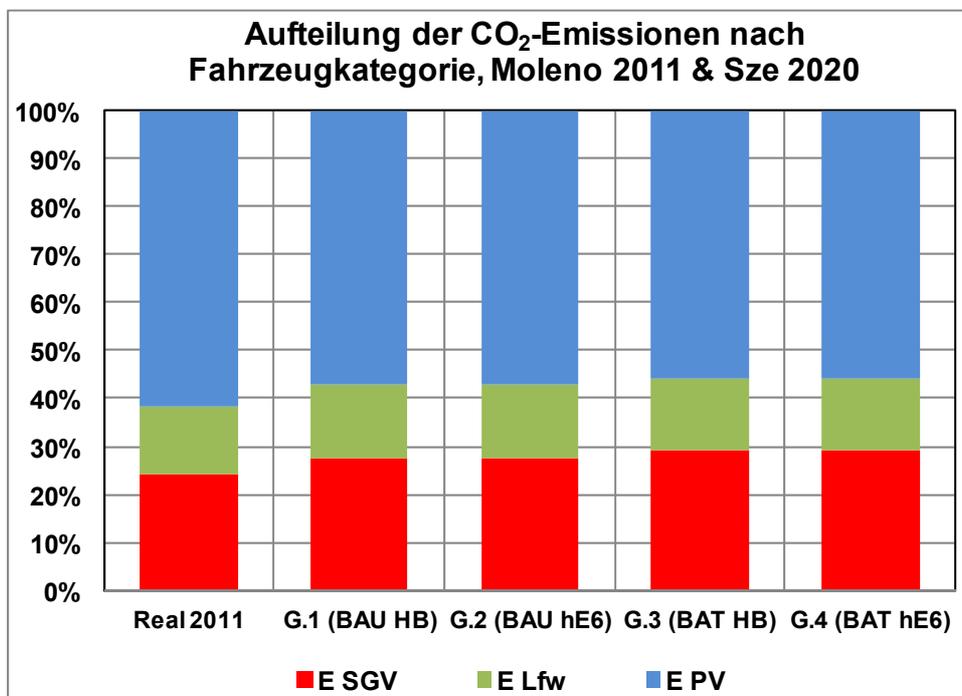


Abbildung A2.11: Aufteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Moleno 2011 und Grundszenarien 2020.

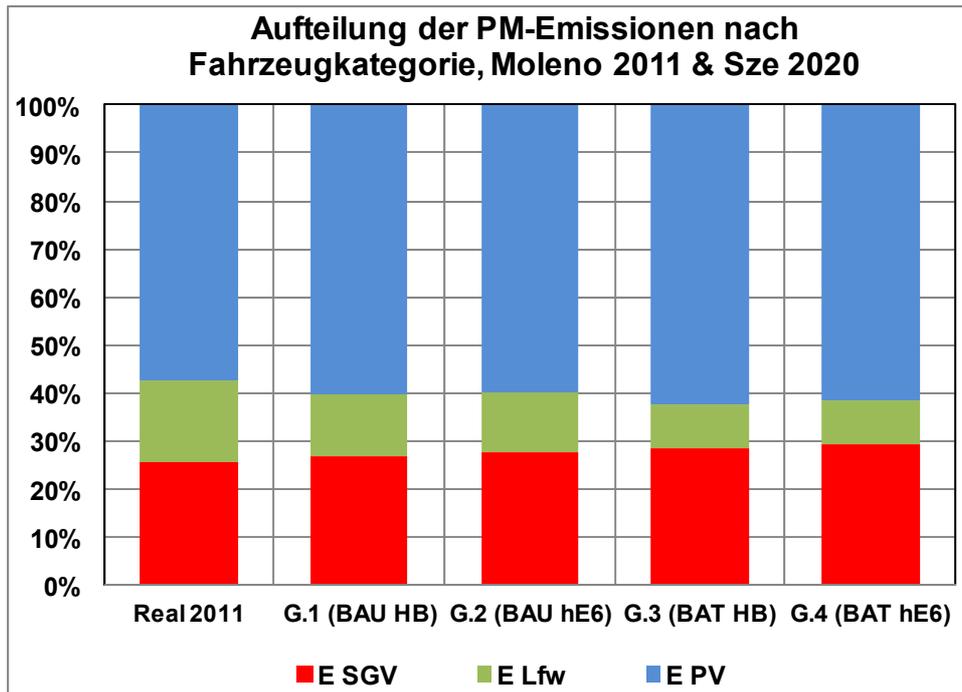


Abbildung A2.12: Aufteilung der PM-Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Moleno 2011 und Grundscenarien 2020.

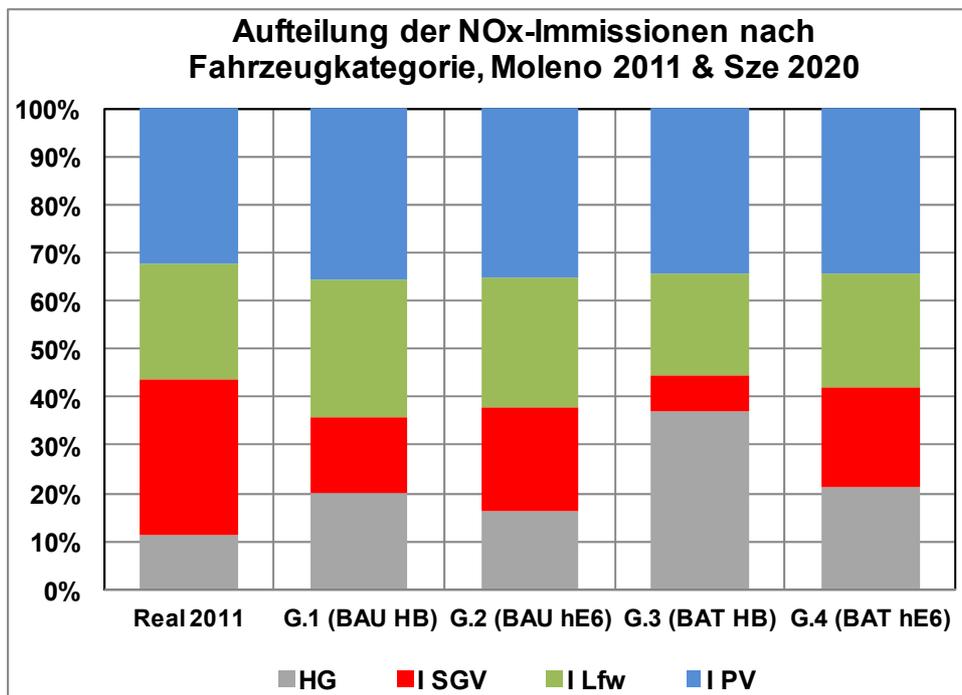


Abbildung A2.13: Aufteilung der NOx-Immissionen nach Fahrzeugkategorie, Moleno 2011 und Grundscenarien 2020.

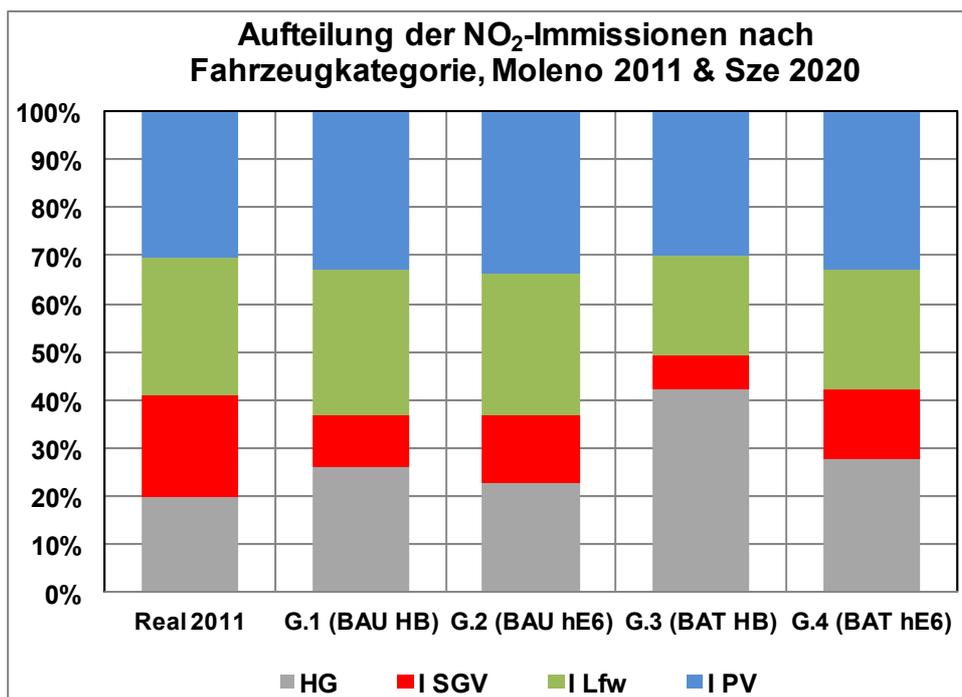


Abbildung A2.14: Aufteilung der NO<sub>2</sub>-Immissionen nach Fahrzeugkategorie, Moleno 2011 und Grundscenarien 2020.

## 3. Dokumentation der Szenarien für Rothenbrunnen

### 3.1. Emissionen

Tabelle A3.1: Emissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020:

	Rothenbrunnen	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel	Mittel
		E_NOx	E_NO <sub>2</sub>	E_PM	E_PMexh	E_CO <sub>2</sub>
		g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h
	<b>Real 2011</b>	<b>358</b>	<b>69</b>	<b>37</b>	<b>11.5</b>	<b>136</b>
Grundsze	G.1 (BAU/HB)	193	51	32	4.2	132
	G.2 (BAU/hE6)	243	64	32	4.5	132
	G.3 (BAT/HB)	85	22	29	1.0	124
	G.4 (BAT/hE6)	175	46	29	1.4	124
Massn. & Entwickl. BAU/HB	G.5 (SFV BAU/HB)	191	51	31	4.2	130
	G.6 (noNFV BAU/HB)	196	52	32	4.2	134
	G.7 (T100 BAU/HB)	161	42	29	3.7	125
	G.8 (LfwP BAU/HB)	206	56	33	4.5	136
SGV - Verlagerung s-ziel	VZ.1 (BAU/HB)	185	50	30	4.1	123
	VZ.2 (BAU/hE6)	227	62	30	4.3	123
	VZ.3 (BAT/HB)	82	21	26	0.9	116
	VZ.4 (BAT/hE6)	162	44	27	1.2	116
SGV-Verlagerung	ZZ.1 (BAU/HB)	188	51	31	4.1	127
	ZZ.2 (BAU/hE6)	234	63	31	4.3	127
	KV.1 (BAU/HB)	201	52	34	4.3	139
	KV.2 (BAU/hE6)	258	66	34	4.6	139
Massn. & Entwickl. BAU/hE6	G.9 (SFV BAU/hE6)	240	63	32	4.4	130
	G.10 (noNFV BAU/hE6)	248	64	33	4.5	134
	G.11 (T100 BAU/hE6)	206	52	29	4.0	125
	G.12 (LfwP BAU/hE6)	258	69	33	4.8	136

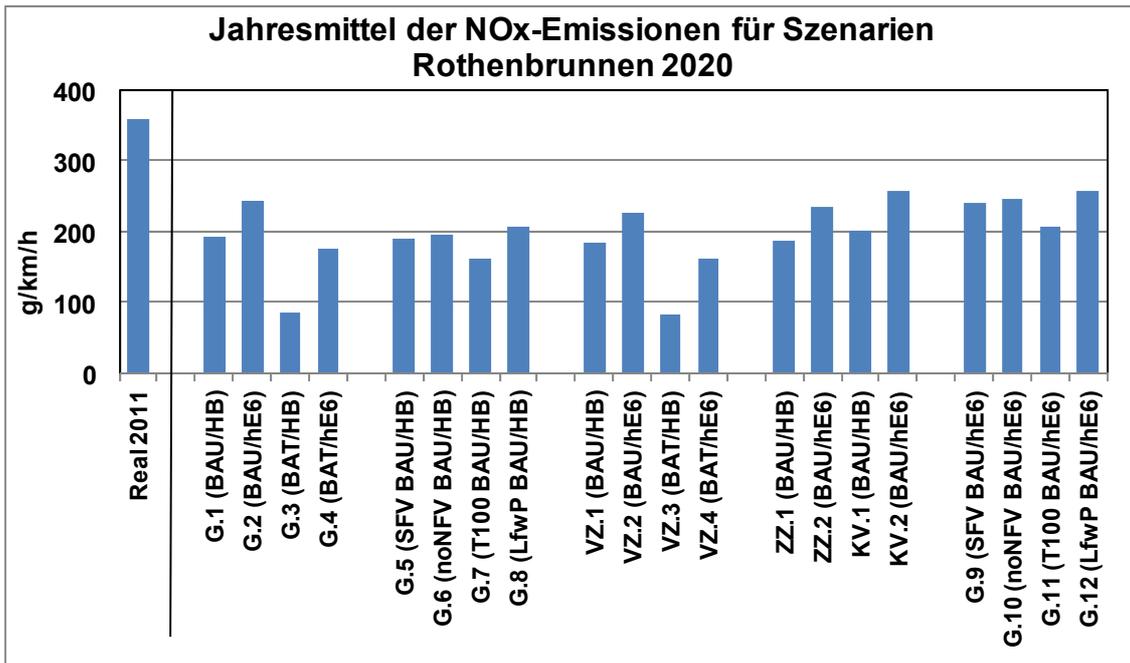


Abbildung A3.1: Jahresmittel der NOx-Emissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020.

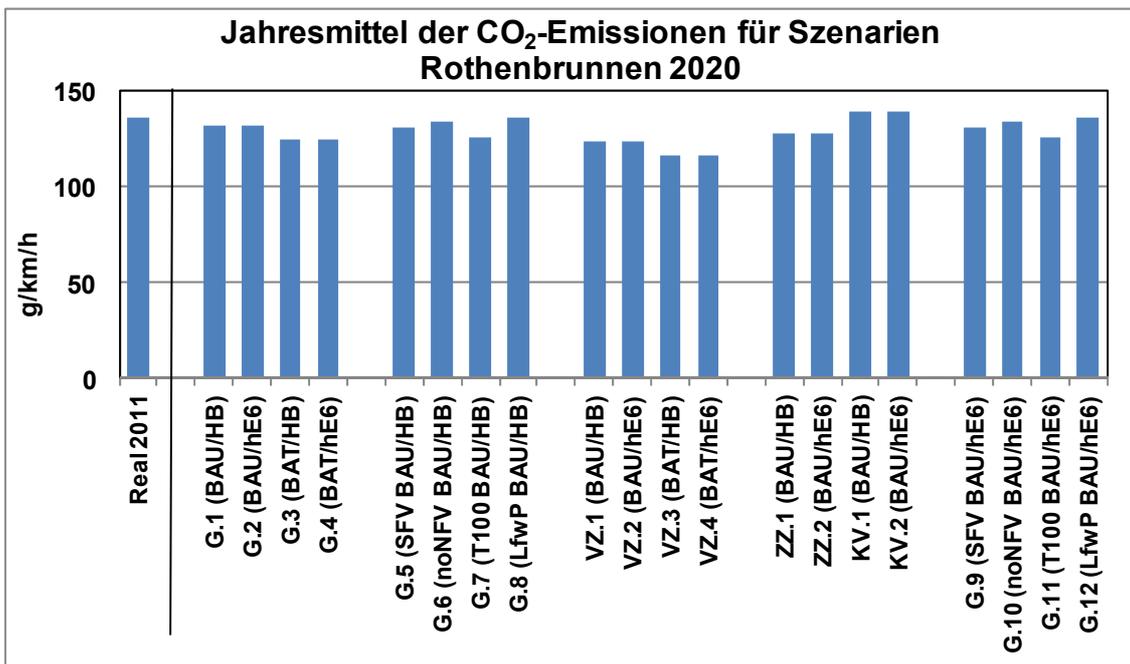


Abbildung A3.2: Jahresmittel der CO2-Emissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020.

## 3.2. Immissionen

Tabelle A3.2: Immissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020:

	Rothenbrunnen	Mittel	Mittel	Mittel	Verk. prim.	Total
		I_NOx	I_NO <sub>2</sub>	I_Russ	I_PM10	I_PM10
		ppb	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
	<b>Real 2011</b>	<b>26.9</b>	<b>25.5</b>	<b>1.2</b>	<b>4.3</b>	<b>14.6</b>
Grundsze	G.1 (BAU/HB)	16.6	19.2	0.9	3.7	14.0
	G.2 (BAU/hE6)	19.7	21.8	1.0	3.8	14.1
	G.3 (BAT/HB)	9.9	13.0	0.8	3.4	13.7
	G.4 (BAT/hE6)	15.5	18.2	0.9	3.4	13.7
Massn. & Entwickl. BAU/HB	G.5 (SFV BAU/HB)	16.4	19.1	0.9	3.7	14.0
	G.6 (noNFV BAU/HB)	17.0	19.6	0.9	3.9	14.2
	G.7 (T100 BAU/HB)	14.6	17.3	0.9	3.4	13.7
	G.8 (LfwP BAU/HB)	17.3	19.9	1.0	3.8	14.1
SGV - Verlagerung s-ziel	VZ.1 (BAU/HB)	16.0	18.8	0.9	3.5	13.8
	VZ.2 (BAU/hE6)	18.7	21.2	1.0	3.5	13.8
	VZ.3 (BAT/HB)	9.7	12.8	0.8	3.1	13.4
	VZ.4 (BAT/hE6)	14.7	17.6	0.9	3.1	13.4
SGV-Verlagerung	ZZ.1 (BAU/HB)	16.2	19.0	0.9	3.6	13.9
	ZZ.2 (BAU/hE6)	19.1	21.4	1.0	3.6	13.9
	KV.1 (BAU/HB)	17.1	19.6	0.9	4.0	14.3
	KV.2 (BAU/hE6)	20.6	22.4	1.0	4.0	14.3
Massn. & Entwickl. BAU/hE6	G.9 (SFV BAU/hE6)	19.5	21.7	1.0	3.7	14.0
	G.10 (noNFV BAU/hE6)	20.5	22.4	1.0	4.0	14.3
	G.11 (T100 BAU/hE6)	17.4	19.6	1.0	3.4	13.7
	G.12 (LfwP BAU/hE6)	20.6	22.6	1.0	3.9	14.2

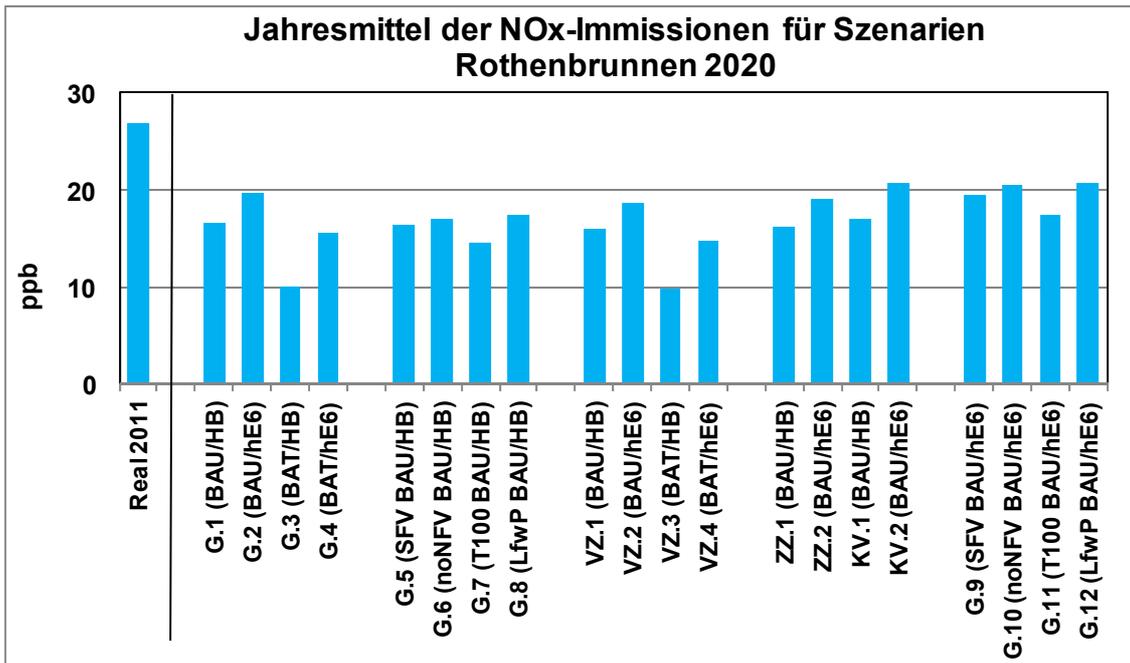


Abbildung A3.3: Jahresmittel der NO<sub>x</sub>-Immissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020.

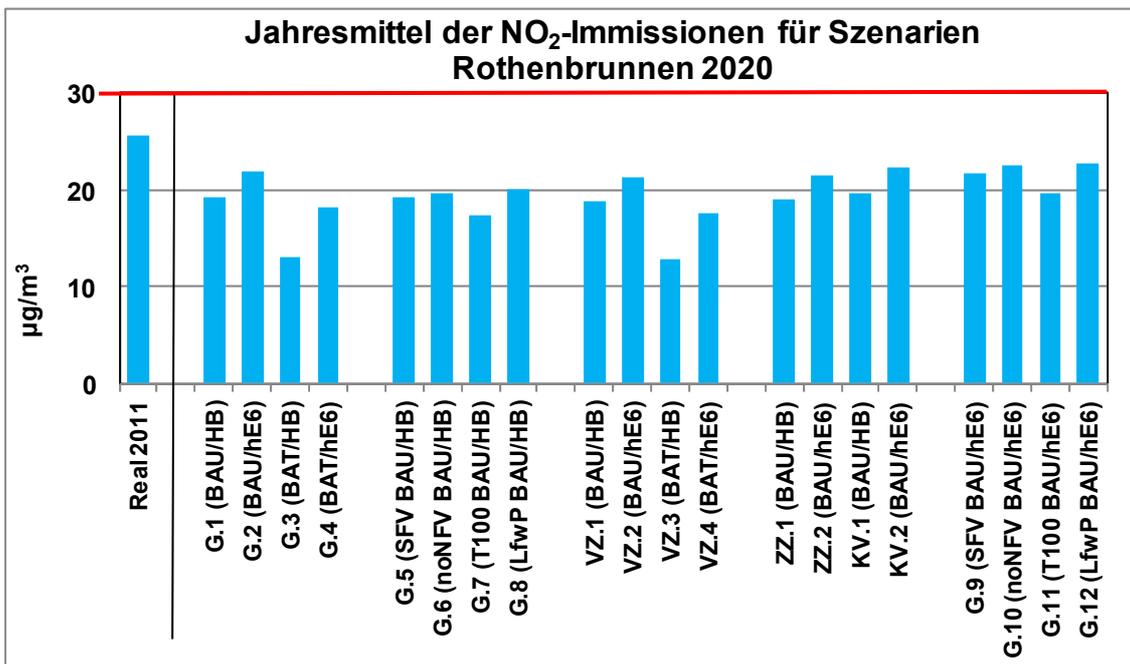


Abbildung A3.4: Jahresmittel der NO<sub>2</sub>-Immissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020.

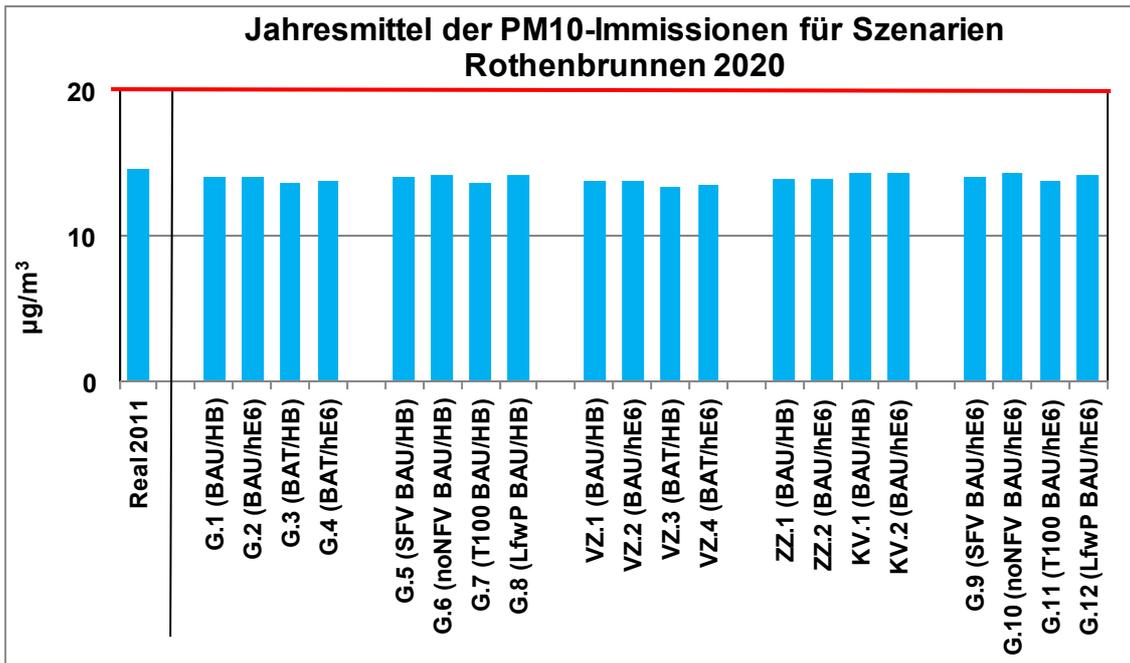


Abbildung A3.5: Jahresmittel der PM10-Immissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020.

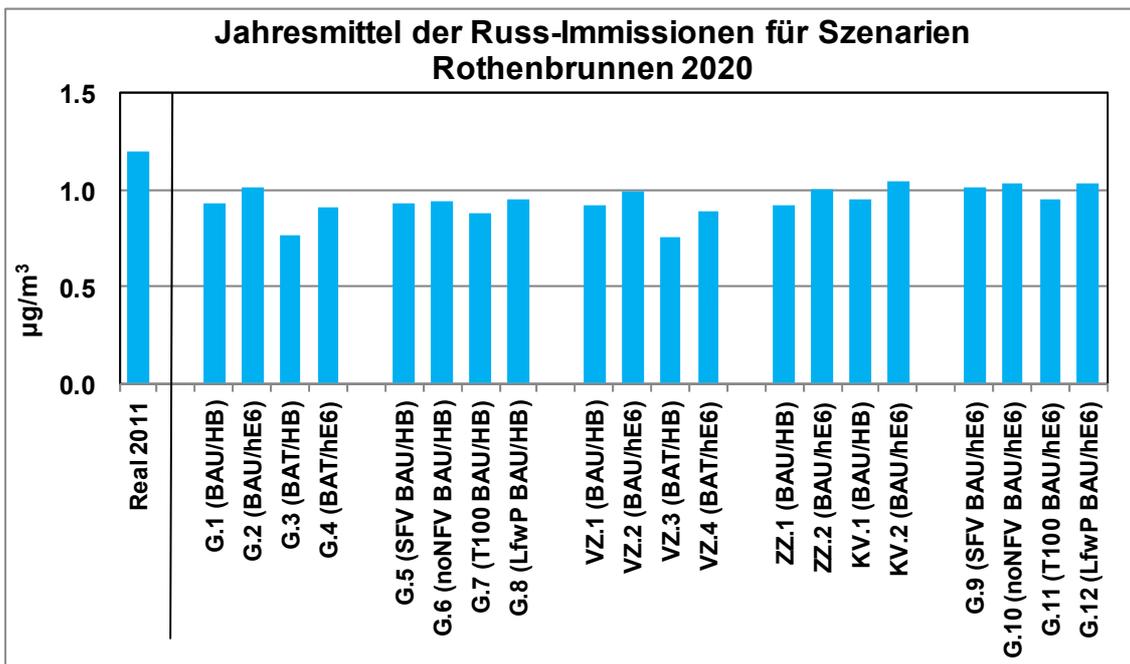


Abbildung A3.6: Jahresmittel der Russ-Immissionen für Szenarien Rothenbrunnen 2020.

### 3.3. Differenzen zu Grundscenarien

Die Differenzen zu den entsprechenden Grundscenarien zeigen den Effekt von einzelnen Entwicklungen bzw. Massnahmen.

Differenz zu "Real 2011":

Tabelle A3.3: Differenzen der Emissionen der Grundscenarien für Rothenbrunnen 2020 zu Real 2011:

Rothenbrunnen					
Diff. zu Real 2011	E_NOx	E_NO <sub>2</sub>	E_PM	E_PM <sub>exh</sub>	E_CO <sub>2</sub>
	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h
Real 2011	0	0	0	0	0
G.1 (BAU HB)	-165	-18	-5	-7.3	-4
G.2 (BAU hE6)	-115	-5	-5	-7.1	-4
G.3 (BAT HB)	-273	-47	-8	-10.6	-11
G.4 (BAT hE6)	-183	-23	-8	-10.1	-11

Tabelle A3.4: Differenzen der Immissionen der Grundscenarien für Rothenbrunnen 2020 zu Real 2011:

Rothenbrunnen					
Diff. zu Real 2011	I_NOx	I_NO <sub>2</sub>	I_Russ	V prim.	Total
	ppb	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
Real 2011	0	0	0	0	0
G.1 (BAU HB)	-10.3	-6.3	-0.3	-0.6	-0.6
G.2 (BAU hE6)	-7.2	-3.7	-0.2	-0.5	-0.5
G.3 (BAT HB)	-16.9	-12.5	-0.4	-0.9	-0.9
G.4 (BAT hE6)	-11.3	-7.3	-0.3	-0.9	-0.9

### Differenz zu G.1 (BAU HB):

Tabelle A3.5: Differenzen der Emissionen der "BAU/HB"-Szenarien für Rothenbrunnen 2020 zu G.1:

Rothenbrunnen					
Diff. zu G.1 (BAU HB)	E_NOx	E_NO <sub>2</sub>	E_PM	E_PM <sub>exh</sub>	E_CO <sub>2</sub>
	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h
<b>G.1 (BAU HB)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
G.5 (SFV HB)	-2.0	-0.3	-0.4	0.0	-1.6
G.6 (noNFV HB)	2.7	0.4	0.6	0.0	2.1
G.7 (T100 HB)	-32.1	-9.8	-3.0	-0.5	-6.7
G.8 (LfwP HB)	12.8	4.2	0.9	0.3	3.8
VZ.1 (BAU HB)	-8.1	-1.2	-2.3	-0.1	-8.5
ZZ.1 (BAU HB)	-4.9	-0.7	-1.3	-0.1	-4.9
KV.1 (BAU HB)	8.2	1.1	2.0	0.1	7.3

Tabelle A3.6: Differenzen der Immissionen der "BAU/HB"-Szenarien für Rothenbrunnen 2020 zu G.1:

Rothenbrunnen				V prim.	Total
Diff. zu G.1 (BAU HB)	I_NOx	I_NO <sub>2</sub>	I_Russ	I_PM10	I_PM10
	ppb	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
<b>G.1 (BAU HB)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
G.5 (SFV HB)	-0.1	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
G.6 (noNFV HB)	0.5	0.4	0.0	0.2	0.2
G.7 (T100 HB)	-1.9	-1.9	-0.1	-0.3	-0.3
G.8 (LfwP HB)	0.8	0.7	0.0	0.1	0.1
VZ.1 (BAU HB)	-0.5	-0.4	0.0	-0.3	-0.3
ZZ.1 (BAU HB)	-0.3	-0.2	0.0	-0.2	-0.2
KV.1 (BAU HB)	0.5	0.4	0.0	0.2	0.2

### Differenz zu G.2 (BAU hE6):

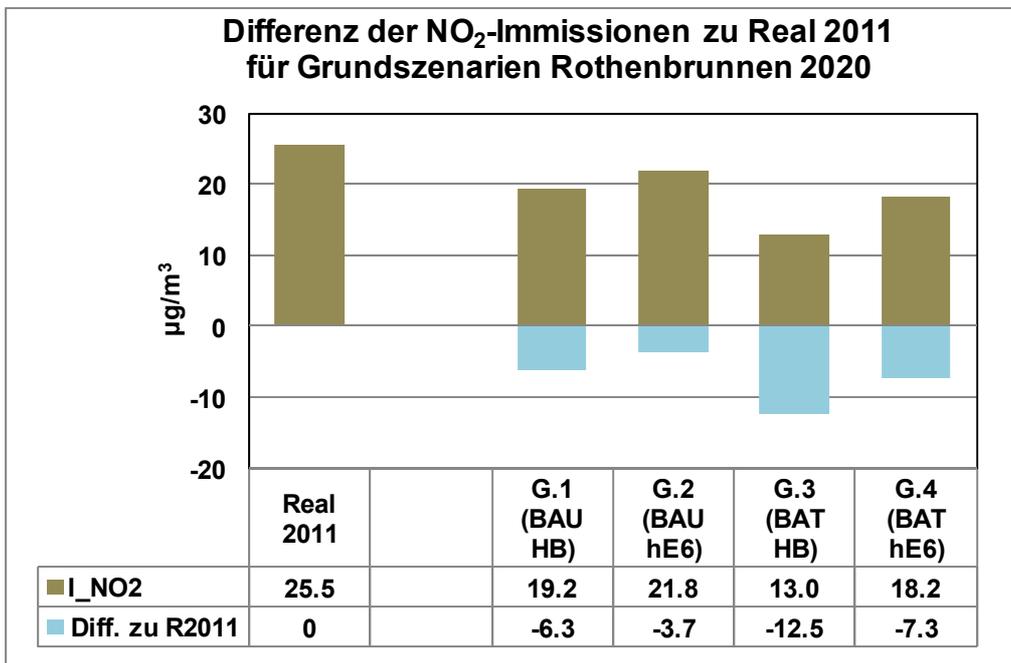
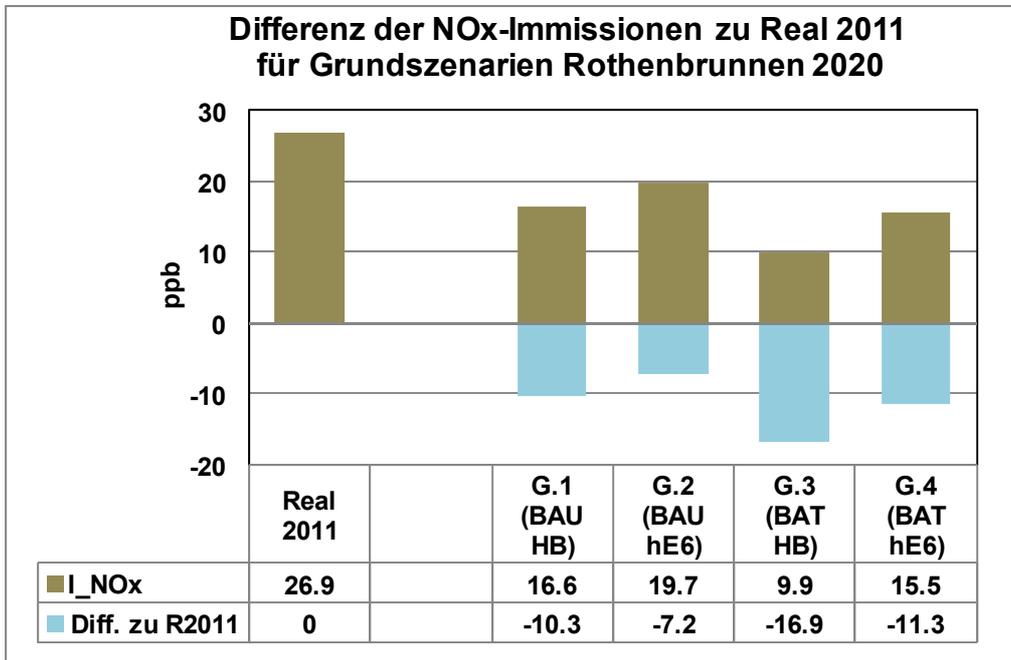
Tabelle A3.7: Differenzen der Emissionen der "BAU/hE6"-Szenarien für Rothenbrunnen 2020 zu G.2:

Rothenbrunnen					
Diff. zu G.2 (BAU hE6)	E_NOx	E_NO <sub>2</sub>	E_PM	E_PM <sub>exh</sub>	E_CO <sub>2</sub>
	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h	g/km/h
<b>G.2 (BAU hE6)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
G.9 (SFV hE6)	-3.4	-0.4	-0.5	0.0	-1.6
G.10 (noNFV hE6)	4.5	0.5	0.6	0.1	2.1
G.11 (T100 hE6)	-37.6	-11.9	-3.0	-0.5	-6.7
G.12 (LfwP hE6)	14.7	4.9	0.9	0.3	3.8
VZ.2 (BAU hE6)	-15.8	-1.9	-2.3	-0.2	-8.5
ZZ.2 (BAU hE6)	-9.2	-1.1	-1.3	-0.1	-4.9
KV.2 (BAU hE6)	14.4	1.7	2.0	0.2	7.3

Tabelle A3.8: Differenzen der Immissionen der "BAU/hE6"-Szenarien für Rothenbrunnen 2020 zu G.2:

Rothenbrunnen				V prim.	Total
Diff. zu G.2 (BAU hE6)	I_NOx	I_NO <sub>2</sub>	I_Russ	I_PM10	I_PM10
	ppb	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>
<b>G.2 (BAU hE6)</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
G.9 (SFV hE6)	-0.2	-0.1	0.0	-0.1	-0.1
G.10 (noNFV hE6)	0.7	0.6	0.0	0.2	0.2
G.11 (T100 hE6)	-2.3	-2.2	-0.1	-0.3	-0.3
G.12 (LfwP hE6)	0.9	0.8	0.0	0.1	0.1
VZ.2 (BAU hE6)	-1.0	-0.6	0.0	-0.3	-0.3
ZZ.2 (BAU hE6)	-0.6	-0.4	0.0	-0.2	-0.2
KV.2 (BAU hE6)	0.9	0.6	0.0	0.3	0.3

**Grafiken zur Differenz der NO<sub>x</sub>- und NO<sub>2</sub>-Immissionen der Grundszenarien zu “Real 2011“:**



**Abbildung A3.7: Differenz der NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub>-Immissionen zu Real 2011 für Grundszenarien Rothenbrunnen 2020.**

**Grafiken zur NO<sub>2</sub>-Immissionsdifferenz von Szenarien (BAU HB & BAU hE6):**

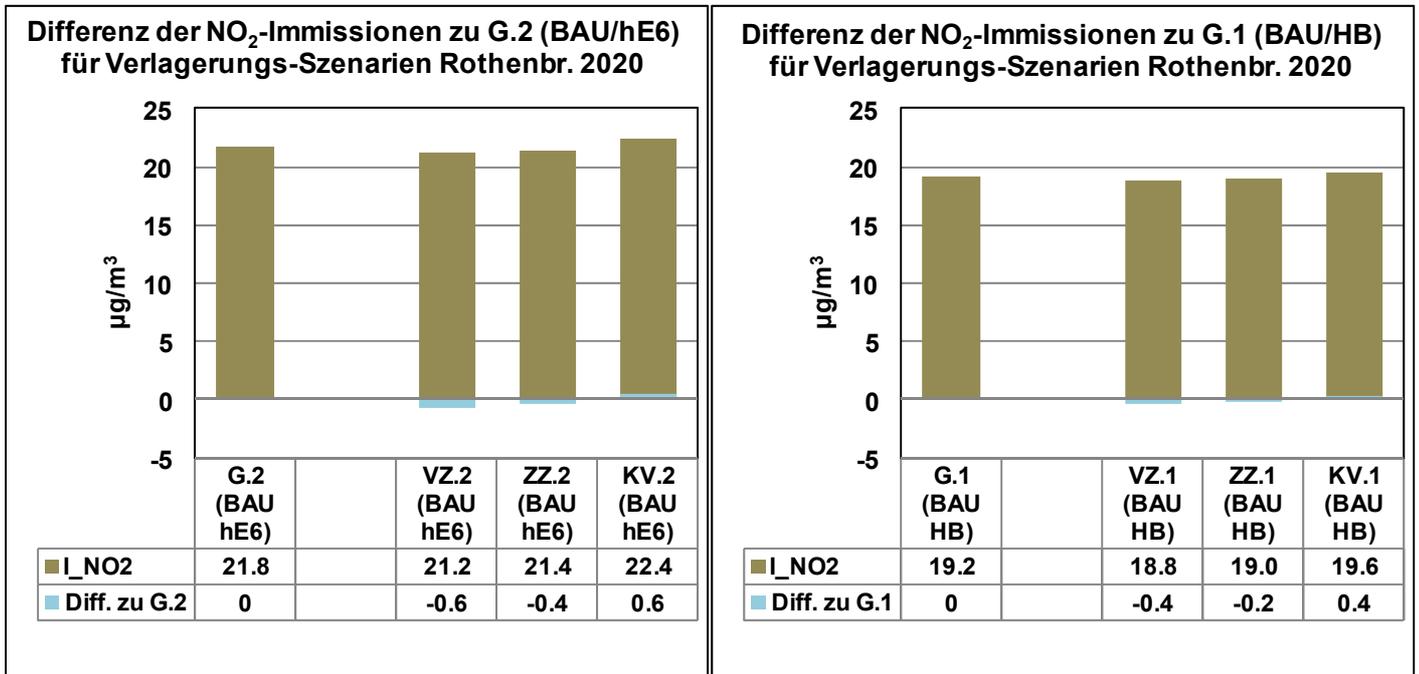


Abbildung A3.8: Differenz der NO<sub>2</sub>-Immissionen der Verlagerungsszenarien (BAU/hE6 und BAU/HB) zu G.2 für Rothenbrunn 2020.

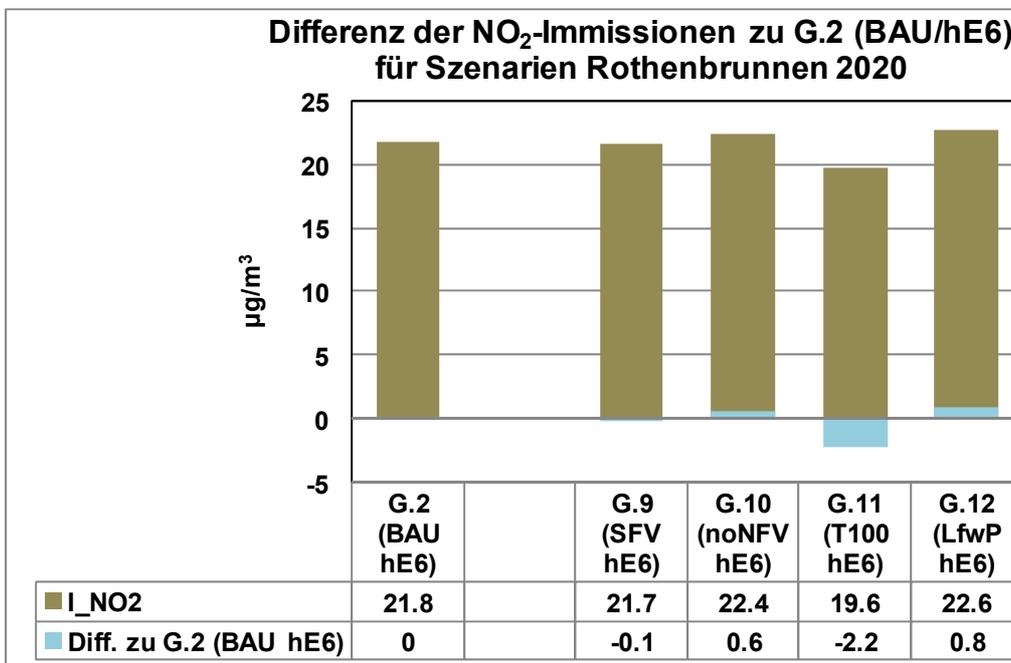


Abbildung A3.9: Differenz der NO<sub>2</sub>-Immissionen von Massnahmenszenarien (BAU hE6) zu G.2 für Rothenbrunn 2020.

### 3.4. Emissionen und Immissionen nach Fahrzeugkategorie

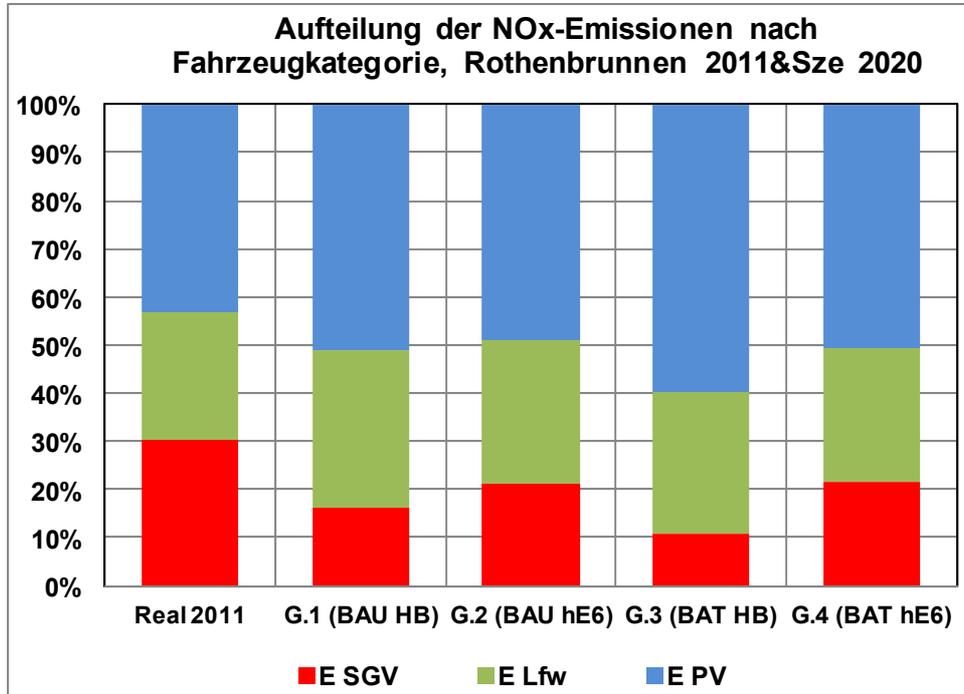


Abbildung A3.10: Aufteilung der NOx-Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Rothenbrunnen 2011 und Grundszenarien 2020.

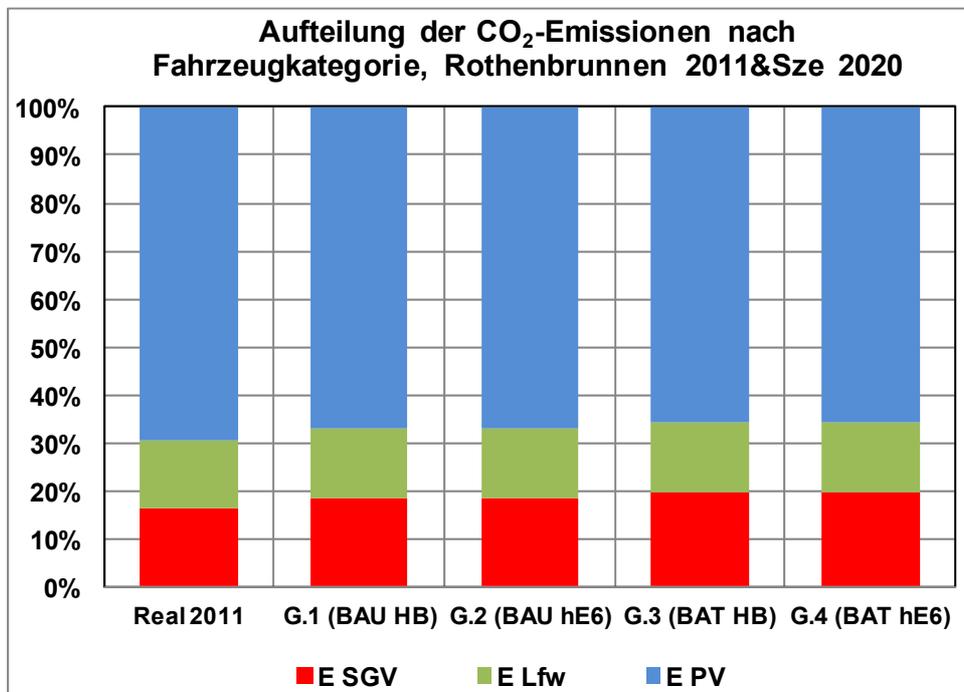


Abbildung A3.11: Aufteilung der CO<sub>2</sub>-Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Rothenbrunnen 2011 und Grundszenarien 2020.

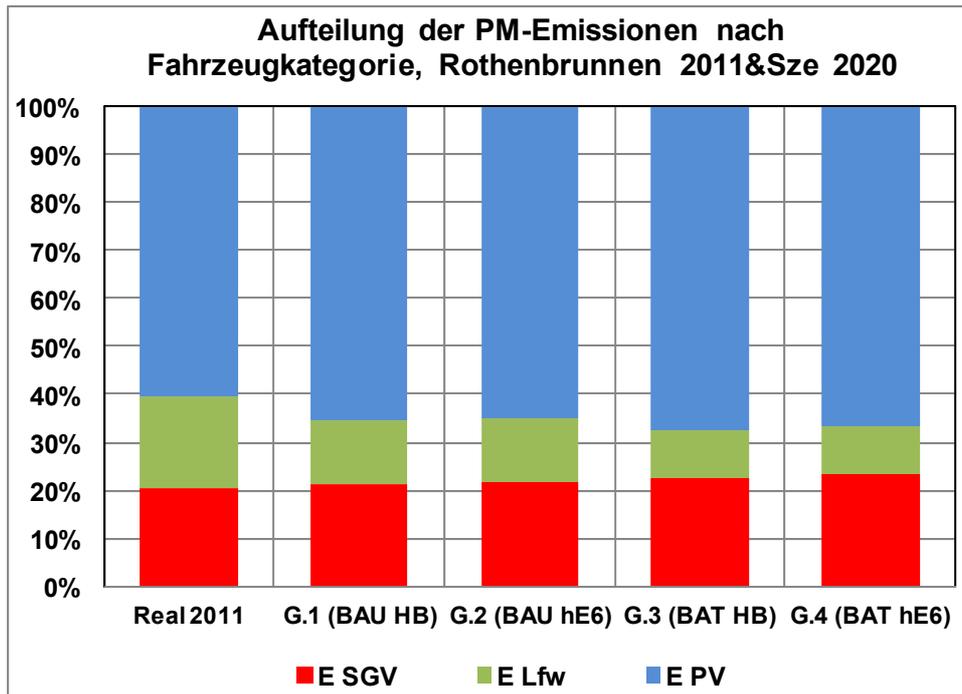


Abbildung A3.12: Aufteilung der PM-Emissionen nach Fahrzeugkategorie, Rothenbrunnen 2011 und Grundszenarien 2020.

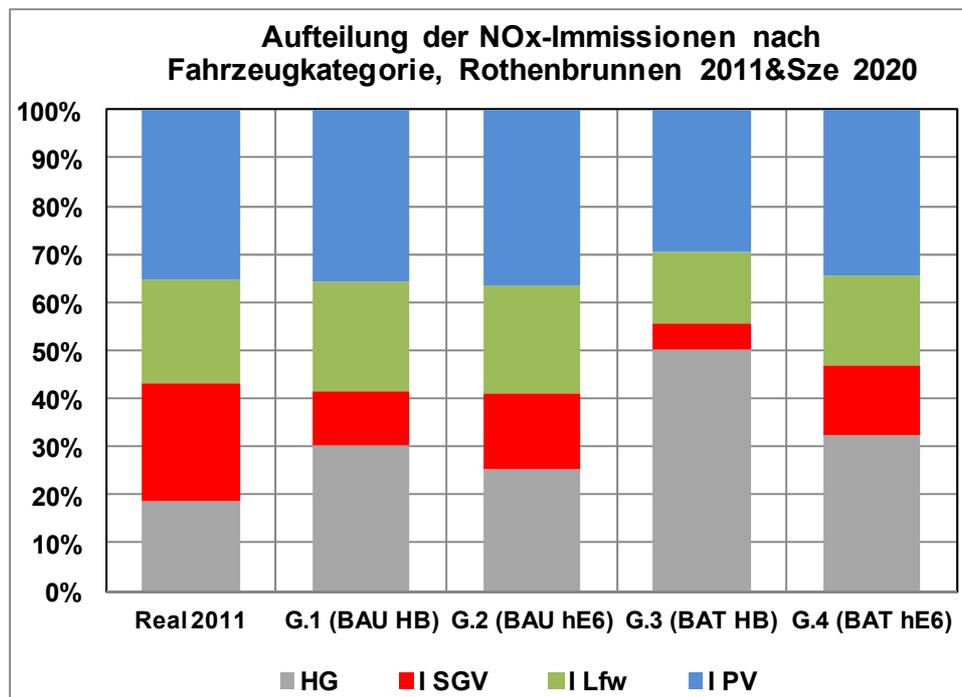


Abbildung A3.13: Aufteilung der NOx-Immissionen nach Fahrzeugkategorie, Rothenbrunnen 2011 und Grundszenarien 2020.

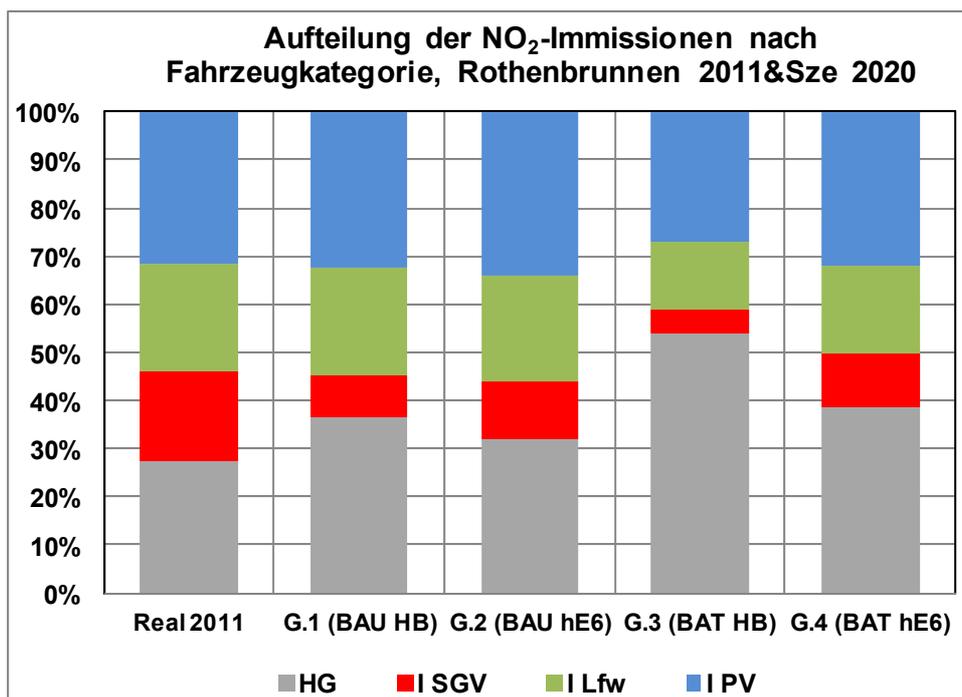


Abbildung A3.14: Aufteilung der NO<sub>2</sub>-Immissionen nach Fahrzeugkategorie, Rothenbrunnen 2011 und Grundszenarien 2020.