

Anteil der schweren Nutzfahrzeuge an Verkehr und Immissionen

Darstellung anhand von Wochengängen für die MfMU-Messstationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen 2003 – 2012

Im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU)

Dr. Jürg Thudium
Dr. Carine Chélala
28.06.2013 / 5715.30

Oekoscience AG

Postfach 452
CH - 7001 Chur

Telefon: +4181 250 3310
science@oekoscience.ch

Impressum

Auftraggeber: Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Ökonomie und Umweltbeobachtung, CH-3003 Bern

Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).

Auftragnehmer: Oekoscience AG

Autor/Autorin: Jürg Thudium, Carine Chélala

Hinweis: Diese Studie wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Konzept	1
2.1. Überblick	1
2.2. Verkehrszahlen	2
2.3. Immissionen	2
2.4. Emissionen	2
2.4.1. Emissionsfaktoren NO _x	2
2.4.2. Anteile direkt emittierten NO ₂ am gesamten emittierten NO _x	3
2.4.3. Emissionsverhältnisse zwischen schweren Nutzfahrzeugen und übrigen Fahrzeugen für Partikelanzahl und Russ	4
2.4.4. Immissionshintergrund	6
2.5. Erklärung der Berechnung der relativen Wochengänge	9
3. Relativer Wochengang der Immissionen und deren SNF-Anteil für 2012	10
4. Entwicklung des relativen SNF-Anteils an den Immissionen an Werktagen	13
5. Immissionsverlauf von 2003 bis 2012	15
6. NO₂/NO_x-Verhältnis von 2003 - 2012	18
7. Verkehr	20
8. Zusammenfassung	24
9. Anhang: SNF-Anteile an Immissionen, Verkehrsaufkommen	25
9.1. Immissionen Erstfeld 2012, Russ (EC) 2007-2012	26
9.2. Immissionen Moleno 2012, Russ (EC) 2007-2012	27
9.3. Immissionen Rothenbrunnen 2012, Russ (EC) 2007-2012	28
9.4. Verkehr bei Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen 2012	29

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Anteile des NO ₂ an der gesamten Stickstoffoxidemission (NO _x) je Fahrzeuggruppe.	3
Abbildung 2.2: Verhältnis von NO _x - und Russ-Jahresmittelwerten bei Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2007 - 2012.	8
Abbildung 3.1: Relative Wochengänge der Immissionen und deren SNF-Anteil 2012. 100% = Jahresmittel je Komponente. Beim Russ Mittelwerte 2007-2012.	12
Abbildung 4.1: Entwicklung des relativen Anteils der SNF an den Immissionen an Werktagen, 2004, 2008 und 2012. 100% = Jahresmittel je Komponente. Pnum: Partikelanzahl.	14
Abbildung 5.1: Verlauf der Immissionen NO _x , NO ₂ und Russ sowie der NO _x -Emissionen bei Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2003 – 2012.	17
Abbildung 6.1: NO ₂ /NO _x -Verhältnis (Volumenanteil) je Wochentag bei Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2003, 2006, 2009 und 2012.	19
Abbildung 7.1: Verlauf des Verkehrsaufkommens (DTV im Jahresmittel; links) und relativer Verlauf des Verkehrsaufkommens je Fahrzeugkategorie (rechts) auf der A2 bzw. A13 im Bereich der Messstationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2003 – 2012.	21
Abbildung 7.2: Entwicklung des Anteils der SNF am Gesamtverkehr auf der A2 bzw. A13 im Bereich der Messstationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2004 – 2012.	22
Abbildung 7.3: Mittlerer DTV der SNF bei Erstfeld und Moleno und gemäss ALPINFO im Gotthardtunnel, 2004 – 2012.	23

Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 2.1: Ergebnisse der linearen Regression zwischen gewichtetem Fahrzeugaufkommen und Immissionen je Wochentag für Reiden, Erstfeld und Moleno, 2004.</i>	5
Tabelle 2.2: Geschätzte NO _x -Hintergrundwerte für Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen:	7
Tabelle 2.3: Immissionshintergründe in Prozent des Halbjahresmittels:	8
Tabelle 5.1: Trends in den NO _x -Immissionen ($\Delta I_{NOx}/y$) und –Emissionen ($\Delta E_{NOx}/y$) über 2004-2012: Mittlere jährliche prozentuale Änderung; Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen.	15

1. Einleitung

Der Anteil der schweren Nutzfahrzeuge am Verkehr und an den Immissionen entlang der schweizerischen alpenquerenden Autobahnen A2 und A13 ist ein zentrales Thema des Projektes 'Monitoring flankierende Massnahmen – Umwelt' (MfMU). Diese Studie stellt einen Beitrag zu diesem Thema dar, der auf der Abhängigkeit des Verkehrs und der entsprechenden immissionsseitigen Grössen vom Wochentag basiert. An Sonn- und Feiertagen ist nämlich der Anteil der schweren Nutzfahrzeuge am Gesamtverkehr wesentlich geringer als werktags. Der Anteil der schweren Nutzfahrzeuge an verschiedenen Immissionen wird anhand von relativen Wochengängen aufgezeigt.

2. Konzept

2.1. Überblick

Der relative (prozentuale) Anteil der schweren Nutzfahrzeuge (SNF) an den Immissionen wird folgendermassen bestimmt: Von der Gesamtimmission einer bestimmten Komponente wird ein Hintergrund abgezogen, welcher nicht von der Autobahn stammt. Für die restliche Immission wird davon ausgegangen, dass die Aufteilung in SNF und übrige Fahrzeuge dem Verhältnis der entsprechenden Emissionen entspricht, mit einer Einschränkung beim NO_2 (s. später). Die Emissionen werden bei den Stickoxiden und der Partikelanzahl anhand der Verkehrszählungen in 7 Kategorien und der zugehörigen Emissionsfaktoren nach HBEFA3.1 bestimmt, beim Russ anhand einer MfMU-Studie aus dem Jahr 2006 (s. später). Die Darstellung erfolgt in relativen Wochengängen, wobei 100% jeweils dem Jahresmittel der entsprechenden Komponente entsprechen. Feiertage zählen zu den Sonntagen.

Im Folgenden werden die einzelnen Teile des Konzeptes spezifiziert.

2.2. Verkehrszahlen

Die Verkehrszahlen liegen als Stundenwerte für die Autobahnabschnitte im Bereich der Immissionsmessstationen vor. Die Unterteilung erfolgt in 7 Kategorien ('Swiss7'): Busse, Motorräder, Lieferwagen, PW, LKW, Lastenzüge, Sattelzüge. Die Zusammenfassung erfolgt hier in zwei Kategorien:

SNF: LKW, Lastenzüge und Sattelzüge.

Übrige Kategorien: Busse, Motorräder, Lieferwagen, PW.

DTV: Durchschnittlicher täglicher Verkehr.

2.3. Immissionen

Die Immissionswerte liegen im Rahmen des Projektes MfM-U als Halbstundenwerte für die Messstationen Moleno, Erstfeld und Rothenbrunnen vor. Folgende Komponenten wurden in dieser Studie untersucht: NO_x (Gesamtstickstoffoxide); NO₂ (Stickstoffdioxid); Russ (nur für 2007-2012: EC (elemental carbon) gemäss EUSAAR2); Pnum (Partikelkonzentration). Gemäss Angaben des Messnetzbetreibers können die Partikelkonzentrationen zwar durchaus für Relationen je Jahr verwendet werden (Wochengang; SNF-Anteil), nicht jedoch für die Entwicklung über die Jahre.

2.4. Emissionen

2.4.1. Emissionsfaktoren NO_x

Die Emissionsfaktoren für NO_x wurden anhand des Handbuchs HBEFA 3.1 (Februar 2010) je Jahr bestimmt, wobei die folgenden Fälle zugrunde gelegt wurden:
Moleno: Autobahn Tempo 120, ländlich, flüssiger Verkehr;
Rothenbrunnen: Autobahn Tempo 100, ländlich, flüssiger Verkehr;
Erstfeld: Autobahn Tempo 120, ländlich, flüssiger Verkehr; während Baustelle September 2005 - März 2007 gemäss Bericht: *"Einfluss der Geschwindigkeitsreduktion während der Bauphase auf der A2 bei Erstfeld auf die Immissionen"*, im Auftrag des Kantons Uri, Oekoscience, April 2008. Dabei wurden diese baustellenbezogenen Emissionsfaktoren anhand des HBEFA 3.1 nachträglich angepasst.

Zitat (aus oben angegebenem Bericht):

Die EFA der Pw, LNF und MR steigen zwischen 75 und 120 km/h stark an, bei den Bussen finden wir zwischen 70 und 100 km/h eine leichte Zunahme des EFA beim NOx und eine leichte Abnahme bei den Partikeln. Bei den SNF hingegen nehmen die EFA von NOx und von Partikeln mit zunehmender Geschwindigkeit zwischen 73 und 90 km/h deutlich ab (bei 73 km/h: Autobahn mit 'mittlerer Störung'). Auch die tiefen Geschwindigkeiten bei den leichten Fahrzeugen beziehen sich auf Autobahnbaustellen, doch in diesem Fall überwiegt offenbar die kleinere Emission infolge kleinerer Motorleistung.

Zitat Ende.

Die Euroklassenverteilungen der SNF, aus welchen deren Emissionsfaktoren bestimmt wurden, wurden den Güterverkehrserhebungen des BAV entnommen.

2.4.2. Anteile direkt emittierten NO₂ am gesamten emittierten NOx

Die Anteile direkt emittierten NO₂ am gesamten emittierten NOx haben in den letzten Jahren bei den Pw und den Lieferwagen stark zugenommen infolge der Modernisierung der Fahrzeugflotte (Katalysatoren und Partikelfilter bei hohen Euroklassen). Das HBEFA 3.1 liefert für alle Fahrzeugkategorien die Emissionsfaktoren sowohl für NOx als auch für NO₂. Daraus konnten die Anteile des NO₂ an der NOx-Emission für die beiden Fahrzeugklassen "SNF" und "Üb. Verkehr" für 2003-2009 ermittelt werden. Für die SNF sind sie für alle drei Standorte gleich; für den übrigen Verkehr sind sie etwas unterschiedlich, weil dieser an den drei Standorten etwas unterschiedlich zusammengesetzt ist.

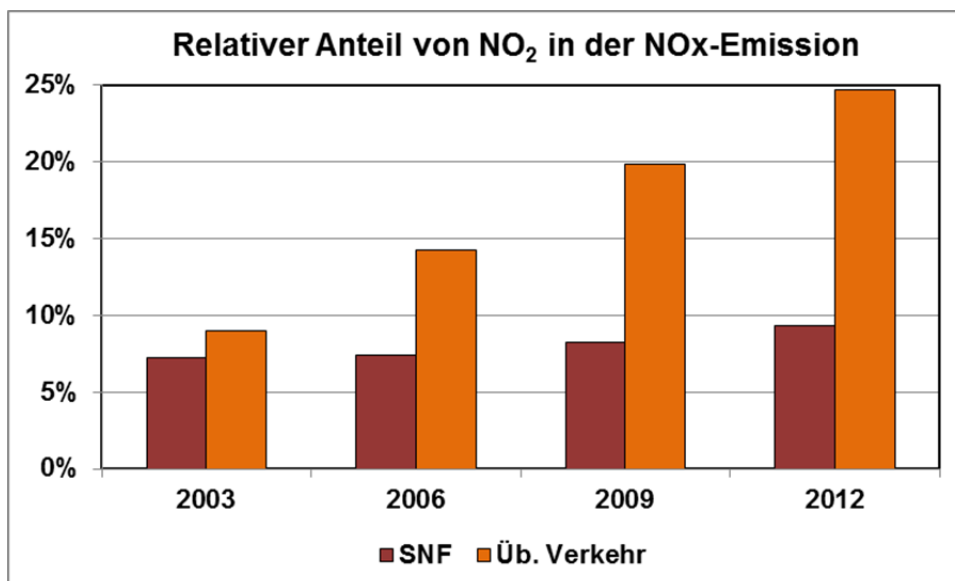


Abbildung 2.1: Anteile des NO₂ an der gesamten Stickstoffoxidemission (NOx) je Fahrzeuggruppe.

2.4.3. Emissionsverhältnisse zwischen schweren Nutzfahrzeugen und übrigen Fahrzeugen für Partikelanzahl und Russ

Das HBEFA 3.1 liefert auch Schätzungen der **Emissionsfaktoren für die Partikelanzahl**. Von 2007 bis 2012 haben sich demnach die Emissionsfaktoren für SNF, Busse und Lieferwagen auf etwa 70% reduziert, bei den Pw lediglich auf etwa 87%. Dies bedeutet, dass sich der relative Anteil der SNF an der gesamten Partikelemission verringert hat, und zwar – unter Verwendung der nach dem Verkehrsaufkommen gewichteten Emissionsfaktoren der Kategorien des 'übrigen Verkehrs' – von 6.7 auf 5.1 für Erstfeld, für die anderen beiden Stationen verhielt es sich sehr ähnlich. Unter Berücksichtigung der doch recht grossen Unsicherheit der Emissionsfaktoren für die Partikelanzahl wurde das **Verhältnis der Emissionsfaktoren für die Partikelanzahl zwischen einem SNF und einem Fahrzeug des übrigen Verkehrs zu 6.0 abgeschätzt**.

Die **Emissionsfaktoren für Russ** sind nicht gesichert bekannt. Die Verhältnisse der Emissionsfaktoren zwischen einem mittleren schweren (im Wesentlichen Lastwagen) und einem mittleren leichten Fahrzeug (im Wesentlichen Pw) konnten aber geschätzt werden; s. Bericht: *"Monitoring flankierende Massnahmen Umwelt (MfMU): Immissionsklimatische Untersuchungen an den Messstationen für 2004"*, im Auftrag des BAFU, Oekoscience, 2006:

Zitat (aus oben angegebenem Bericht):

An den MfMU-Stationen werden Stickoxide, PM10, Partikelanzahl, Russ und PAH (polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe) gemessen. Aber nur für die ersten beiden Komponenten liegen Emissionsfaktoren vor, und auch da besteht die Frage, ob die durchschnittlichen Faktoren auf die Verhältnisse an den Messstellen übertragen werden dürfen.

Die Anteile der verschiedenen Fahrzeugkategorien weisen einen starken Wochengang auf. Die schweren Güterfahrzeuge kommen an Sonn- und Feiertagen nur ganz wenig vor, währenddem die Personenwagen gerade dann ihr Maximum haben. Die Immissionen reagieren im Mittel über das Jahr mit einer deutlichen Wochentagsabhängigkeit auf dieses Quellverhalten, wenngleich die Immissionen des Einzeltages natürlich stark von den klimatischen Bedingungen abhängen.

Die Fahrzeuge müssen in zwei Gruppen mit je Gruppe und Komponente ähnlichen Emissionsfaktoren zusammengefasst werden, um aus den Immissionsverhältnissen an den Wochentagen auf die Emissionsverhältnisse zwischen diesen

beiden Gruppen schliessen zu können. Es sind dies der Schwerverkehr (Busse, LKW, LZ (Lastenzüge) und SZ (Sattelzüge)) und der Leichtverkehr (PW (Personenwagen), Lieferwagen und Motorräder).

Sehr gute Ergebnisse hat die lineare Regression zwischen gewichtetem Fahrzeugaufkommen und Immission je Wochentag erbracht; dabei wurde das Aufkommen des Schwerverkehrs mit einem Gewichtungsfaktor gegenüber dem Leichtverkehr versehen, der für eine optimale Korrelation variiert wurde. Es wurden die drei Messstationen Reiden, Erstfeld und Moleno einbezogen, und die Optimierung wurde so an gesetzt, dass der Gewichtungsfaktor je Komponente an allen drei Stationen gleich ist. Damit können lokalspezifische Phänomene eher vermieden werden. Um kein zu starkes Übergewicht an Werktagen zu haben, wurden die drei ähnlichen Werktage Dienstag, Mittwoch und Donnerstag zu einem Tag 'DiMiDo' zusammengefasst.

Die folgende Tabelle gibt einen Überblick über die Ergebnisse.

Tabelle 2.1: Ergebnisse der linearen Regression zwischen gewichtetem Fahrzeugaufkommen und Immissionen je Wochentag für Reiden, Erstfeld und Moleno, 2004.

	Em.-Verhältnis SV/LV		Korrelationskoeff. ¹⁾			Sockelimmission ²⁾			
	aus EFA	aus Wo-TaAbh	Reiden	Erstfeld	Moleno	Reiden	Erstfeld	Moleno	Mittel
NOx	11.5	12	0.98	0.98	0.98	13%	-10%	0%	1%
PM10	4.8	5.5	0.95	0.90	0.79	44%	13%	26%	28%
Partikelanz.		4.2	1.00	0.91	---	14%	28%	---	21%
Russ		6.5	0.94	0.94	0.87	28%	-22%	6%	4%
PAH		10	---	0.96	0.83	---	-6%	31%	12%

¹⁾: Korrelationskoeffizient zwischen Immission und Emission in LV-Einheiten je Wochentag.

²⁾: Sockelimmission in % des Jahresmittelwertes, welche statistisch nicht mit der Wochentags-Abhängigkeit erklärt werden kann.

Für NOx und PM10 (Partikelmasse) gibt es Emissionsfaktoren (offiziell gemäss Handbuch HBEFA 2.1 vom Februar 2004). Die Emissionsverhältnisse je Fahrzeug zwischen Schwer- und Leichtverkehr stimmen für beide Methoden ausserordentlich gut überein, einerseits aus den Emissionsfaktoren gemäss Handbuch bestimmt, andererseits aus der Wochentagsabhängigkeit der Immissionen ermittelt. Daraus darf geschlossen werden, dass die ermittelten Emissionsverhältnisse auch für Partikelanzahl, Russ und PAH recht gut die Realität wiedergeben. Danach emittiert ein schweres Fahrzeug ein ähnliches Vielfaches an PAH wie beim Stickoxid, und die Russemission ist im Verhältnis zum leichten Fahrzeug höher als die Emission an Partikelmasse.

Zitat Ende.

Somit wurde das **Verhältnis der Emissionsfaktoren für Russ zwischen einem SNF und einem Fahrzeug des übrigen Verkehrs zu 6.5 abgeschätzt**, sehr ähnlich wie bei der Partikelanzahl.

Für die Messreihen bis 2012 wurden nun nochmals feste Werte für das Verhältnis der Emissionsfaktoren für **Russ bzw. Partikelanzahl** zwischen einem SNF und einem Fahrzeug des übrigen Verkehrs postuliert; dadurch bleiben auch die berechneten Immissionsanteile der SNF für diese beiden Komponenten über die Jahre praktisch konstant. Bei einer späteren Fortführung dieser Untersuchung müssten diese Verhältnisse für die Partikelanzahl zeitabhängig aus dem HBEFA evaluiert werden. Für Russ müsste die oben zitierte Arbeit von 2004 wiederholt werden.

2.4.4. Immissionshintergrund

Der Immissionshintergrund repräsentiert die nicht von der Autobahn herrührenden Immissionen *am Ort der strassennahen Immissionsmessung* (und nicht etwa generell im betreffenden Talabschnitt). Er kann nicht direkt bestimmt werden, sondern nur auf Grund von Plausibilitätsüberlegungen geschätzt werden. Der Hintergrund beeinflusst das Immissionsverhältnis zwischen schweren Nutzfahrzeugen und übrigen Verkehr nicht.

Für alle drei untersuchten Stationen stammt der so definierte Hintergrund überwiegend von anderen Strassen, auch entfernten (→ "Import"), im Weiteren von Haushalt, Landwirtschaft, Gewerbe und Industrie. Auch der Hintergrund ist somit streng genommen an Werktagen etwas höher als am Wochenende, was aber hier vernachlässigt wird. Hingegen wird der Unterschied zwischen Sommer und Winter in den meteorologischen Bedingungen auch für den Hintergrund berücksichtigt.

Ausgangspunkt der Hintergrundabschätzung waren aktuelle Jahresmittel an Hintergrundmessstationen; z.B. 2011 Payerne & Tänikon 10 ppb, Lägern 7 ppb, Rigi-Seebodenalp 4 ppb. Im Weiteren sollte aufgrund der Lage im Talabschnitt der prozentuale Hintergrund bei Erstfeld nur leicht höher als bei Moleno sein, der absolute Hintergrund bei Rothenbrunnen etwas tiefer als bei Erstfeld. Die folgenden absoluten und relativen Hintergrundwerte für NO_x wurden geschätzt:

Tabelle 2.2: Geschätzte NO_x-Hintergrundwerte für Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen:

NO _x	Erstfeld	Moleno	Rothenbrunnen	
Hintergrund	5	7.5	4	ppb
Hintergrund Winter	6.2	10.1	5.4	ppb
Hintergrund Sommer	3.8	5.0	2.6	ppb
Hintergrund	12%	11%	15%	
Hintergrund Winter	12%	11%	15%	
Hintergrund Sommer	12%	11%	15%	

Es wird postuliert, dass der Immissionshintergrund in gleichem Masse von den meteorologischen Bedingungen betroffen ist wie die von der Autobahn stammenden Immissionen, was gleiche Hintergrund-Prozentsätze im Sommer und im Winter zur Folge hat.

Der Hintergrund an **NO₂** ist Teil des Hintergrundes an NO_x. Da es sich dabei um transportierte bzw. gealterte Immissionen handelt, ist ihr NO₂-Anteil höher als im von der Autobahn stammenden Teil. Im Winter ist ihr Anteil wegen des geringeren Ozonangebots in Bodennähe allgemein geringer als im Sommer, und bei Moleno ist er speziell tiefer, da dort auch insgesamt der NO₂-Anteil tiefer ist als an den andern Stationen infolge der häufigen atmosphärischen Stagnationen, insbesondere auch Inversionen. Die postulierten Werte sind in der nächsten Tabelle 2.3 angegeben.

Die **Partikelkonzentration (P_{num})** hängt relativ stark mit der NO_x-Immission zusammen. Da aber die ultrafeinen Partikel, welche die Gesamtpartikelkonzentration im Wesentlichen bestimmen, ziemlich rasch aus ihrem Grössenbereich herauswachsen, wurde der Hintergrund der Partikelkonzentration an den drei betrachteten Messstationen als **prozentual jeweils halb so hoch wie beim NO_x** angesetzt.

Hintergrund beim **Russ (EC)**: Für 2007 - 2012 liegen Russmessungen als elementarer Kohlenstoff (EC: elemental carbon) bestimmt nach der TOT-Methode (EUSAAR2-Protokoll) vor. Für die an der A2 bzw. A13 liegenden Stationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen ergibt sich im Mittel eine Proportionalität zwischen den Jahresmittelwerten von NO_x und Russ (EC), wobei die Entsprechungen von Jahr zu Jahr doch recht stark variieren.

Aufgrund dieser mittleren Proportionalität zwischen NO_x und Russ wird der **Hintergrund beim Russ prozentual gleich hoch angesetzt wie beim NO_x**.

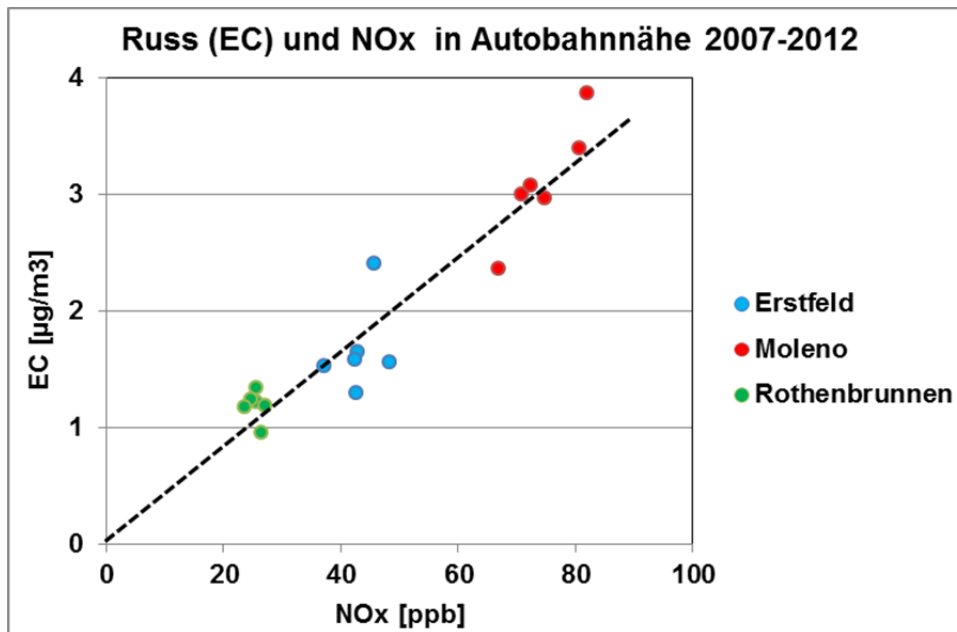


Abbildung 2.2: Verhältnis von NO_x- und Russ-Jahresmittelwerten bei Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2007 - 2012.

Insgesamt ergeben sich die folgenden Immissionshintergründe an den drei betrachteten MfMU-Messstationen je Jahreszeit und Komponente:

Tabelle 2.3: Immissionshintergründe in Prozent des Halbjahresmittels:

NO _x , Russ	Erstfeld	Moleno	Rothenbrunnen
Sommer	12%	11%	15%
Winter	12%	11%	15%
Pnum			
Sommer	6%	5.5%	7.5%
Winter	6%	5.5%	7.5%
NO₂	in % des NO_x-Hintergrundes:		
Sommer	90%	80%	90%
Winter	60%	30%	60%

2.5. Erklärung der Berechnung der relativen Wochengänge

Basis aller Berechnungen sind die relativen Wochengänge, welche im Anhang für jede Messstation je Komponente für 2012 gezeigt werden. Die Berechnung erfolgt getrennt für Sommer- und Winterhalbjahr und wird dann zum Gesamtjahresmittel zusammengefasst. Der Mittelwert einer Immission für einen bestimmten Wochentag dividiert durch das betreffende Jahresmittel ergibt die Höhe der Säule in den Grafiken im Anhang für diesen Wochentag (in %). Ein Teil dieser Säule entspricht dem prozentualen Hintergrund. Der Rest wird in SNF (schwere Nutzfahrzeuge) und übrige Fahrzeuge gemäss Emissionsanteilen für die betreffende Komponente aufgeteilt. Die Emissionsaufteilung erfolgt gemäss Fahrzeuganzahl, bei den SNF gewichtet mit dem Verhältnis der Emissionsfaktoren (s. Kap. 2.4.1 und 2.4.3). Somit erhält man für jeden Wochentag den Anteil der beiden Fahrzeugklassen in Prozent des Jahresmittels.

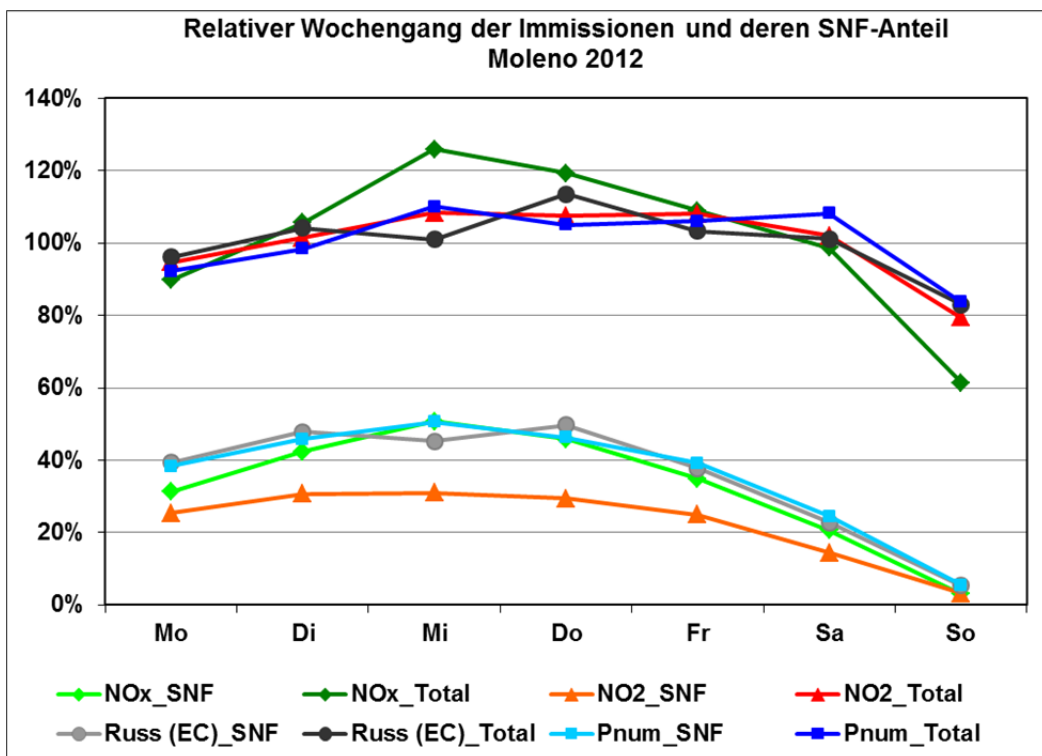
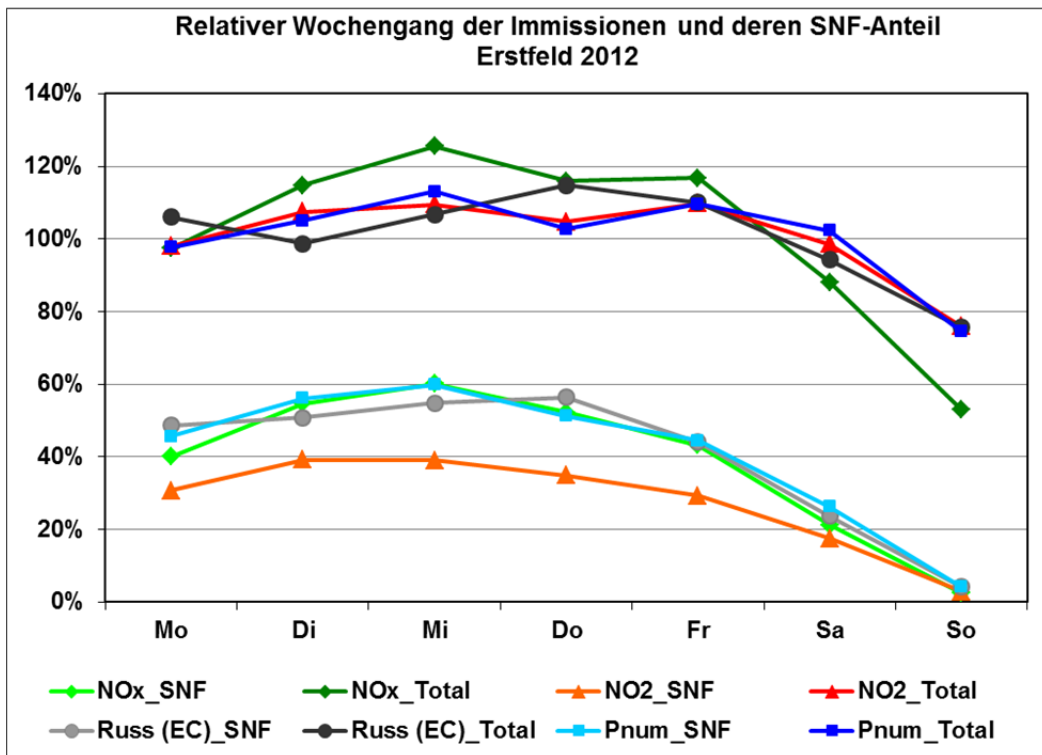
Beim NO_2 wird der Anteil, der nicht Hintergrund ist, aufgeteilt in Immission, welche aus der direkten NO_2 -Emission folgt (s. Kap. 2.4.2), und in solche, die in der Atmosphäre aus NO konvertiert worden ist. Erstere (aus direkter NO_2 -Emission) ist je Fahrzeugklasse gleich dem NO_x -Immissionsanteil multipliziert mit dem prozentualen Anteil des NO_2 in der NO_x -Emission dieser Klasse, letztere (aus NO) wird gemäss NO -Emissionen auf die beiden Fahrzeugklassen aufgeteilt.

3. **Relativer Wochengang der Immissionen und deren SNF-Anteil für 2012**

Die folgenden Grafiken zeigen die relativen Wochengänge der Immissionen (100% = Jahresmittel je Komponente) und der Anteile der schweren Nutzfahrzeuge (SNF) an diesen Immissionen für das Jahr 2012.

Die Werktage sind an allen drei Stationen deutlich mehr belastet als das Wochenende, weil dann nur relativ wenige SNF unterwegs sind. Der Anteil der SNF an den Immissionen ist beim NO_x höher als bei den übrigen Komponenten. Entsprechend den Anteilen der SNF am Gesamtverkehr ist ihr Immissionsanteil bei Erstfeld am höchsten und etwas höher als bei Moleno, bei Rothenbrunnen am niedrigsten. Zusammenfassend machen die SNF an der Gotthardachse werktags noch knapp die Hälfte der Luftverschmutzung an Stickoxiden, Russ und Ultrafeinpartikeln aus.

Die Russmessungen bestehen aus Stichproben, so dass die Abhängigkeit der mittleren Konzentration vom Wochentag zufällig ziemlich stark streut (auch die Russkonzentrationen hängen stark von der Witterung ab). Aus diesem Grunde wurde beim Russ der mittlere Wochengang von 2007-2012 gezeigt.



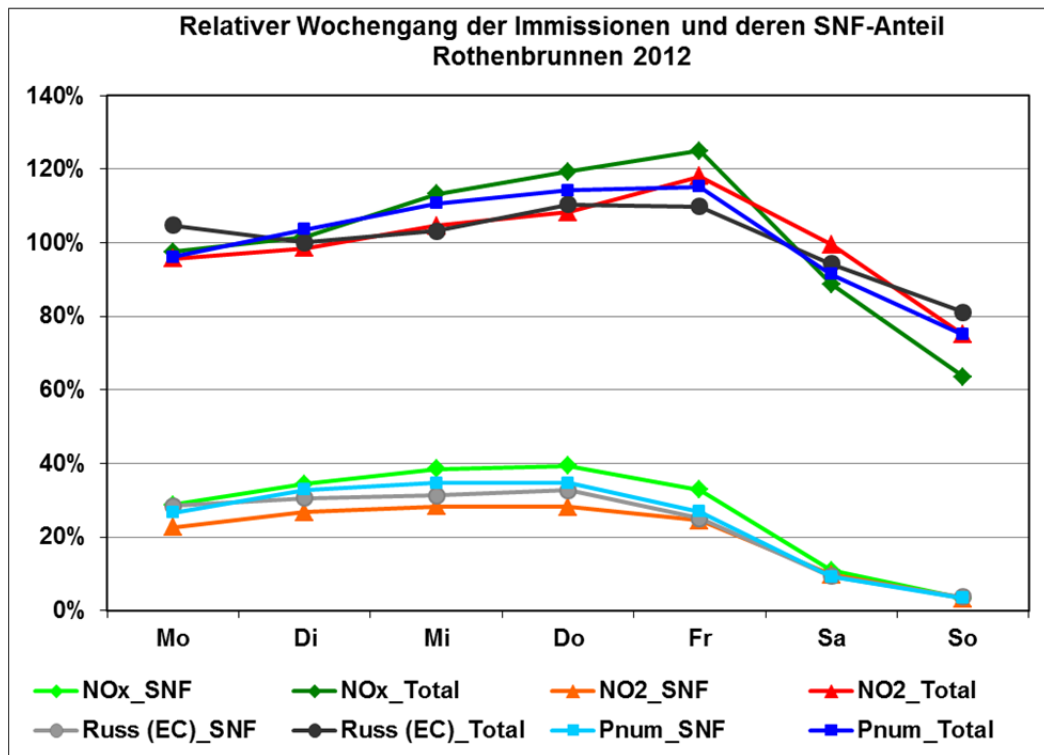
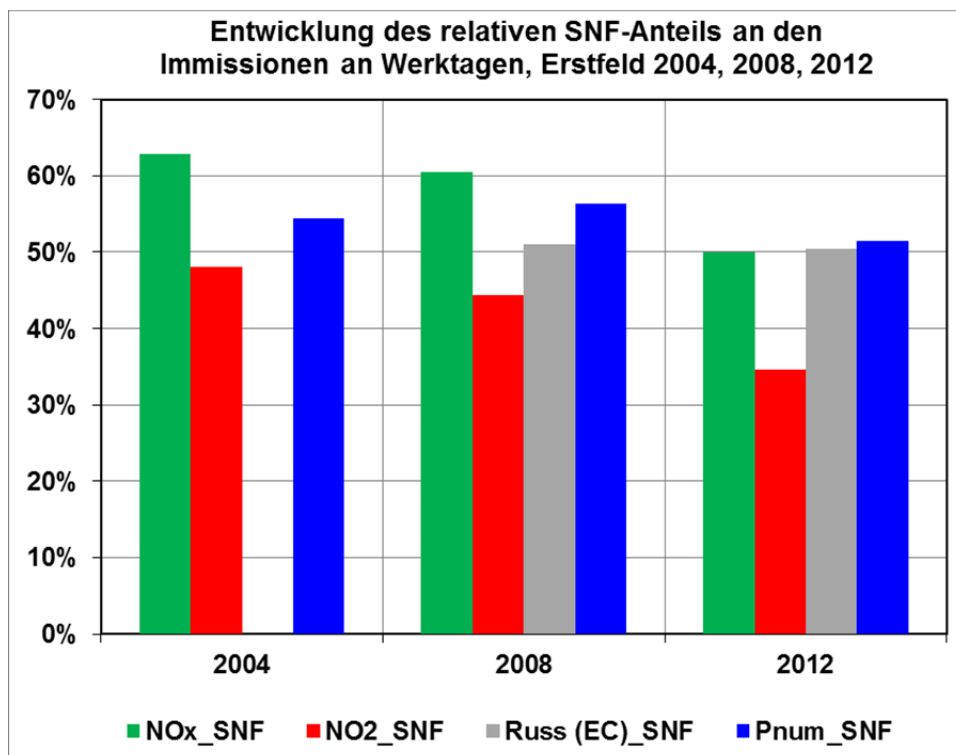


Abbildung 3.1: Relative Wochengänge der Immissionen und deren SNF-Anteil 2012. 100% = Jahresmittel je Komponente. Beim Russ Mittelwerte 2007-2012.

4. Entwicklung des relativen SNF-Anteils an den Immissionen an Werktagen

Die folgenden Grafiken zeigen die Entwicklung des relativen Anteils der SNF an den Immissionen an den drei MfMU-Stationen werktags von 2004-2012.

Die Anteile der SNF an den Stickstoffoxid-Immissionen sind von 2004 – 2012 zurückgegangen, besonders ausgeprägt von 2008 – 2012. Voraussetzung für diese Aussage ist eine korrekt postulierte Entwicklung der Emissionsfaktoren durch das HBEFA3.1. Danach hat die Flottenmodernisierung bei den SNF zu einer grösseren prozentualen Verringerung der Emissionsfaktoren geführt als bei den Pw. Im Vergleich zum NO_x-Anteil hat der NO₂-Anteil der SNF noch etwas mehr abgenommen infolge des höheren Anteils direkt emittierten NO₂ bei den Pw. Die relativen Anteile der SNF an Russ und Partikelanzahl haben sich über die Jahre kaum verändert. Die Partikelanzahl wird hauptsächlich durch die ultrafeinen Partikel bestimmt, welche auch den Russ enthalten.



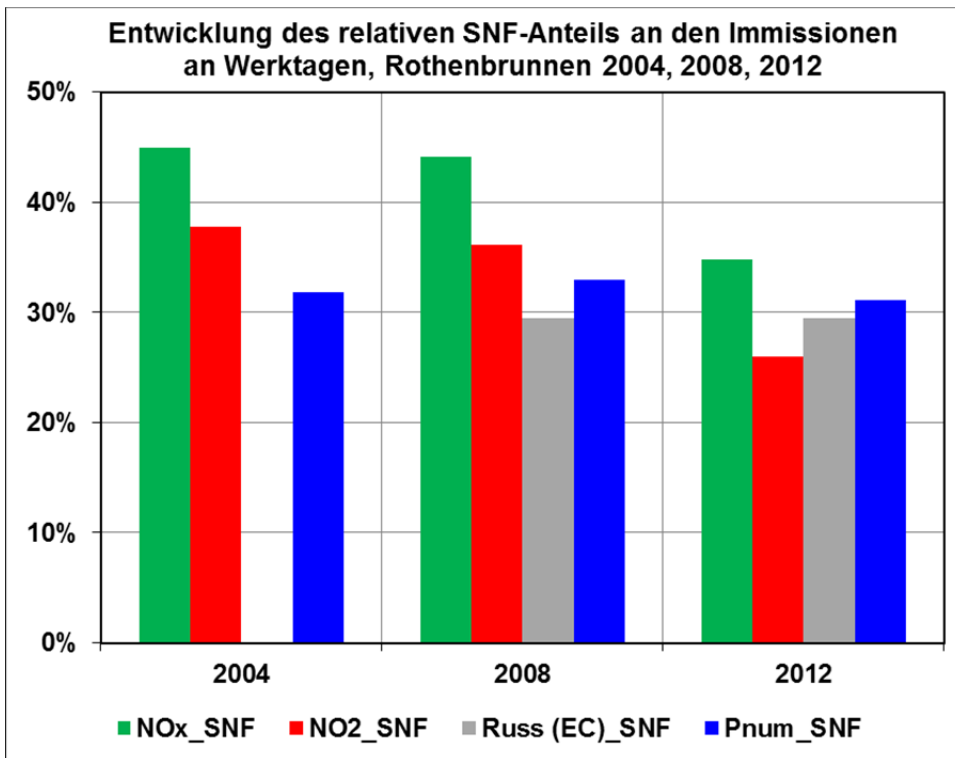
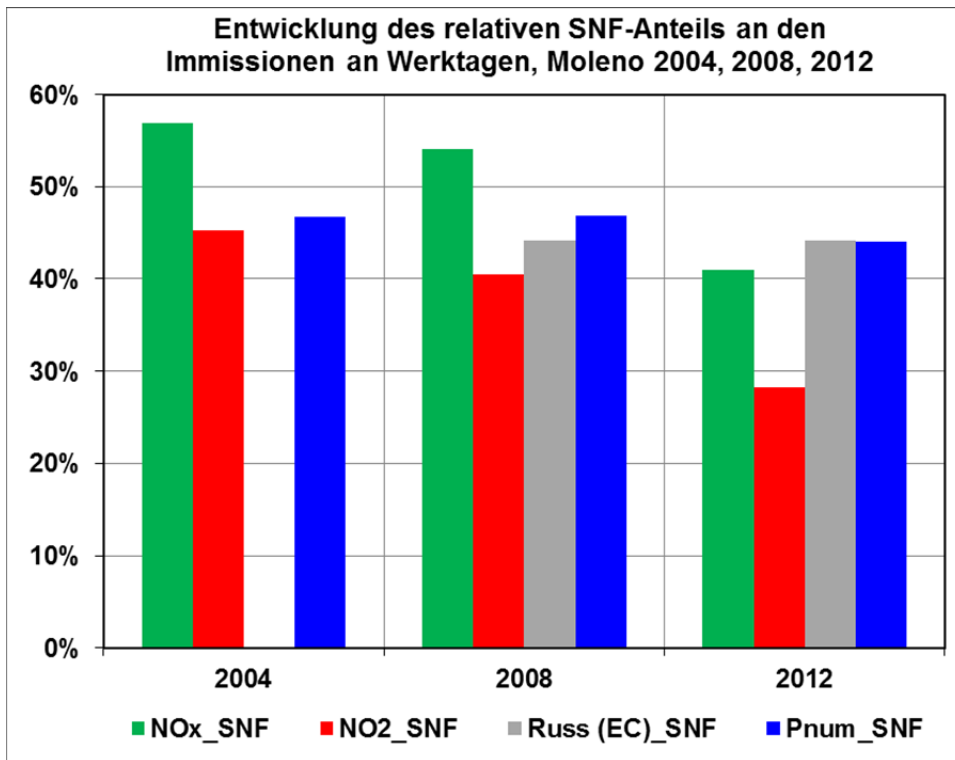


Abbildung 4.1: Entwicklung des relativen Anteils der SNF an den Immissionen an Werktagen, 2004, 2008 und 2012. 100% = Jahresmittel je Komponente. Pnum: Partikelanzahl.

5. Immissionsverlauf von 2003 bis 2012

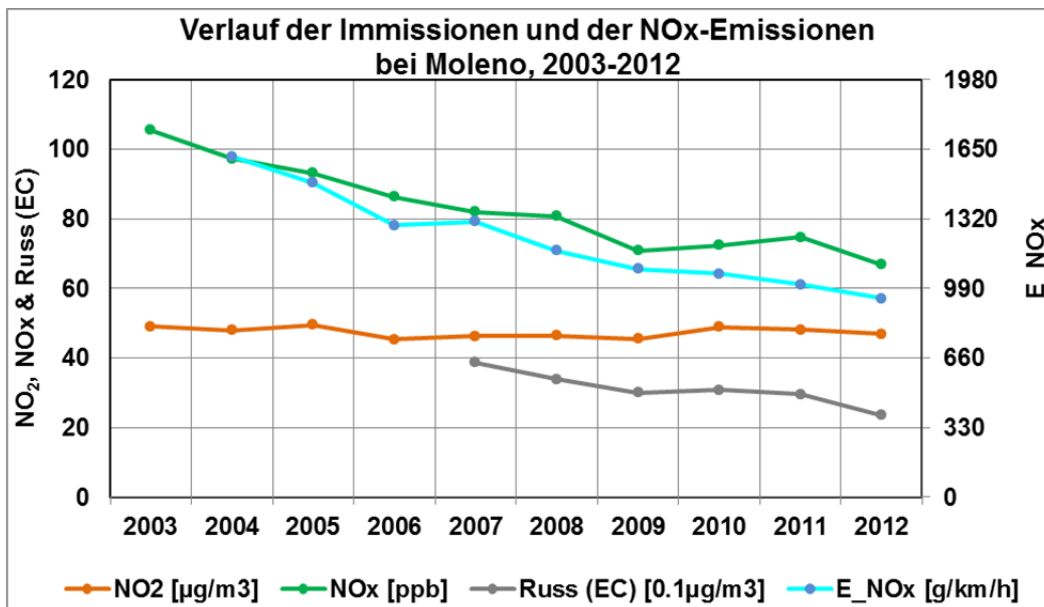
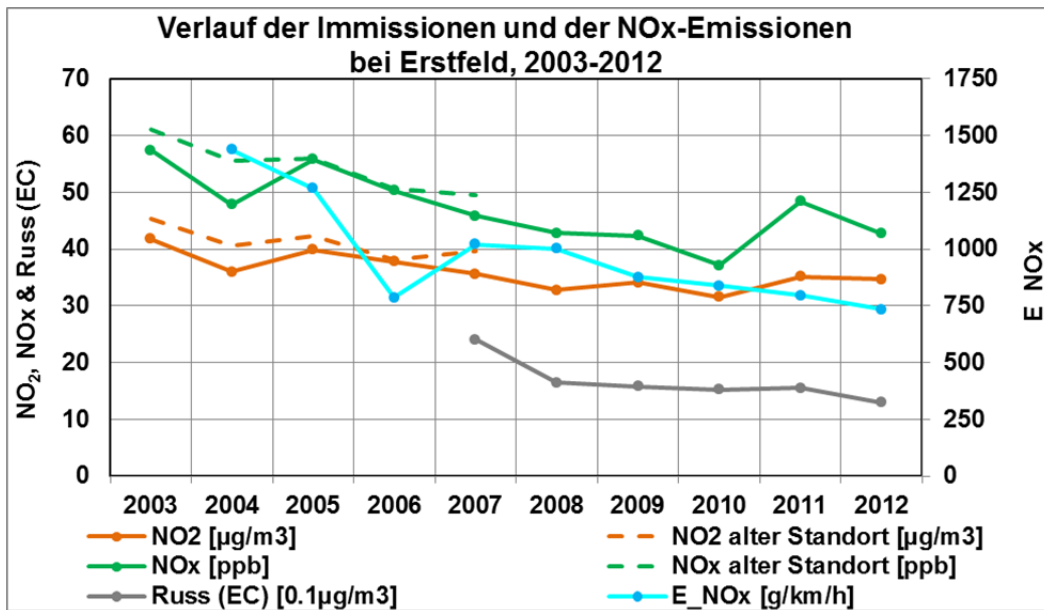
Die NO_x-Immissionen zeigen an allen drei Stationen einen deutlichen Rückgang, noch deutlicher ist der Rückgang allerdings bei den NO_x-Emissionen, welche aus den Verkehrszahlen und den Emissionsfaktoren nach HBEFA3.1 berechnet werden. Dies zeigt sich im Auseinanderklaffen der Immissions- und Emissionskurven für NO_x an allen drei Standorten (Abbildung 5.1); für 2004/05 wurden die Kurven grafisch aufeinander gelegt, sie müssten nahezu parallel verlaufen. Die Diskrepanz zeigt sich in der mittleren jährlichen prozentualen Abnahme von NO_x-Immission und –Emission:

Tabelle 5.1: Trends in den NO_x-Immissionen ($\Delta I_{NOx/y}$) und –Emissionen ($\Delta E_{NOx/y}$) über 2004-2012: Mittlere jährliche prozentuale Änderung; Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen.

	Erstfeld	Moleno	Rothenbrunnen
$\Delta I_{NOx/y}$	-3.0%	-4.9%	-1.6%
$\Delta E_{NOx/y}$	-7.3%	-6.6%	-5.5%

Diese Diskrepanz kann, wenn von korrekter Verkehrszählung ausgegangen wird, eigentlich nur mit einer zu optimistischen Schätzung der Reduktion der Emissionsfaktoren von NO_x durch die Flottenmodernisierung erklärt werden. Es kommt hinzu, dass während des betrachteten Zeitraums bei Erstfeld und Moleno, in geringerem Masse auch bei Rothebrunnen eine Verringerung der mittleren Inversionshäufigkeit festgestellt wurde ("Zur Entwicklung der Häufigkeit atmosphärischer Inversionen im Alpenraum 1997 – 2012", Oekoscience, im Auftrag der Kantone Uri und Graubünden sowie der Bundesländer Tirol und Vorarlberg, 2013). Dies könnte sich in einer witterungsbedingten Immissionsreduktion ausgewirkt haben, was bedeuten würde, dass ein Teil des Immissionstrends von Tabelle 5.1 daher rühren würde. In einem gemeinsamen Projekt des Kantons Uri und der Bundesländer Tirol und Salzburg wird dies 2013 von Oekoscience geprüft.

Zu Erstfeld ist die folgende Anmerkung zu machen: Im 2007 wurde der Messstandort ein Stück nach Norden verschoben; für die Jahre 2003-2007 wurden die Immissionen an der neuen Station aufgrund einer Parallelmessung durch inNet geschätzt. Dies bedeutet einen zusätzlichen Unsicherheitsfaktor. Die Werte der alten Station sind in der folgenden Grafik auch angegeben.



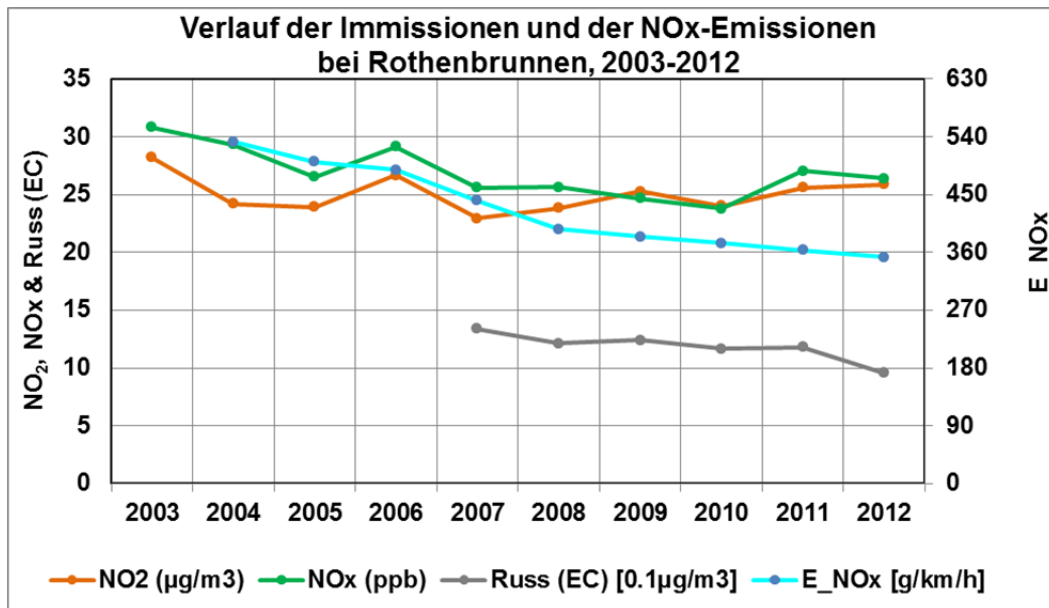


Abbildung 5.1: Verlauf der Immissionen NO_x, NO₂ und Russ sowie der NO_x-Emissionen bei Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2003 – 2012.

Beim NO₂ gibt es bei Erstfeld einen leichten Rückgang, bei Moleno und Rothenbrunnen praktisch Stagnation. Dies liegt am erhöhten Anteil von NO₂ in den NO_x-Emissionen. Die Russkonzentrationen (EC) zeigen jährliche Abnahmen von 5-10% seit 2007.

6. **NO₂/NO_x-Verhältnis von 2003 - 2012**

Der Volumenanteil des NO₂ im NO_x ('NO₂/NO_x-Verhältnis') ist grundsätzlich umso höher, je niedriger die NO_x-Konzentration ist. Das gilt für die Relation zwischen den drei Stationen als auch für die Unterschiede zwischen Werktagen und Wochenende. An allen drei Standorten hat das NO₂/NO_x-Verhältnis von 2003 bis 2012 deutlich zugenommen, was an diesen strassennahen Standorten vor allem auf den erhöhten Anteil direkt emittierten NO₂ bei den Pw, in den letzten Jahren aber auch bei den anderen Fahrzeugkategorien zurückzuführen ist.

Überraschend ist, dass bei Rothenbrunnen das NO₂/NO_x-Verhältnis von 2009 auf 2012 deutlich zurückgegangen ist, möglicherweise waren witterungsbedingte Effekte bedeutender als der zunehmende NO₂-Anteil in den Emissionen. Bei Erstfeld ist das NO₂/NO_x-Verhältnis von 2009 bis 2012 etwa konstant geblieben.

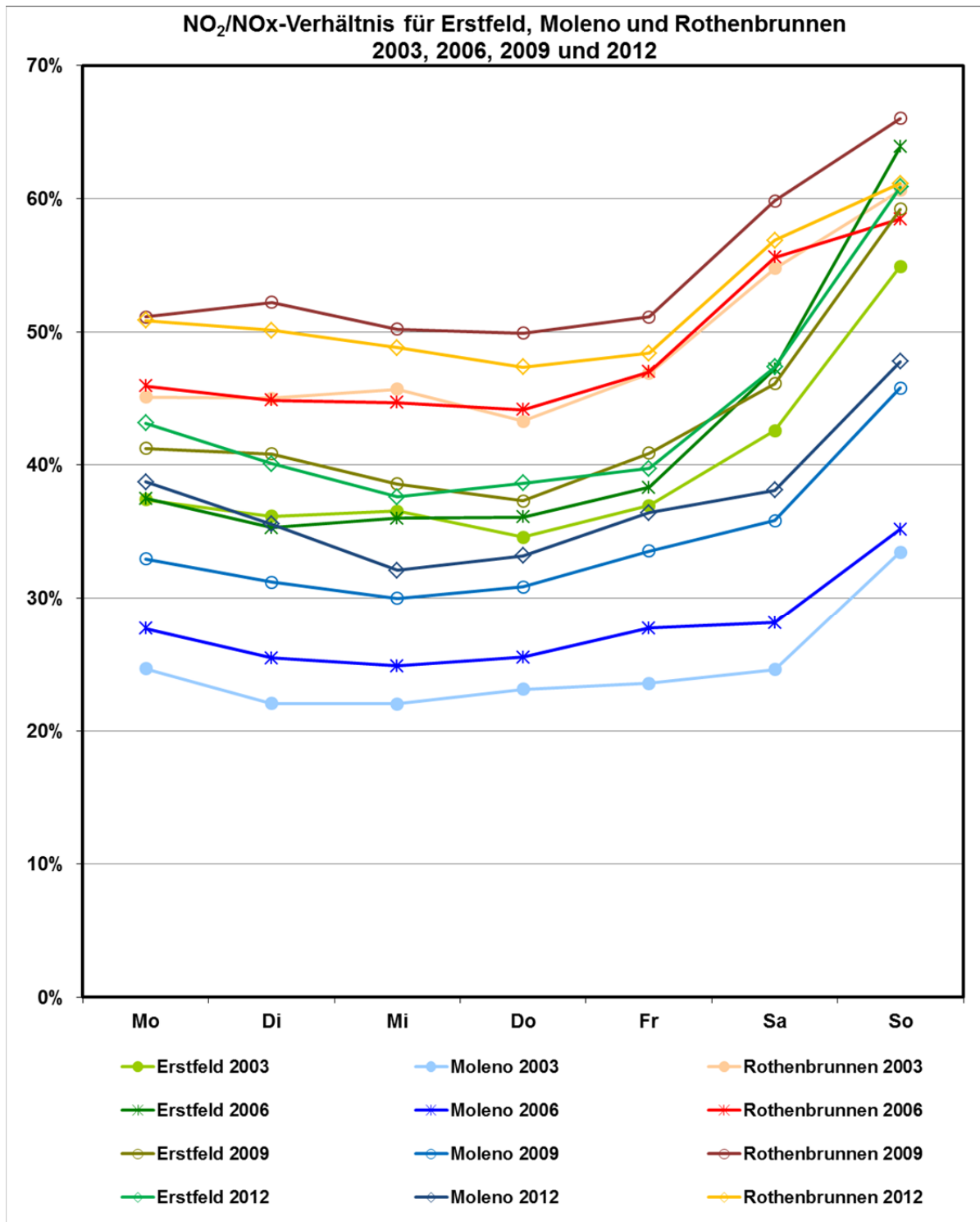


Abbildung 6.1: NO₂/NO_x-Verhältnis (Volumenanteil) je Wochentag bei Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2003, 2006, 2009 und 2012.

7. Verkehr

Der Gesamtverkehr wie auch der Personenverkehr sind auf der A2 bzw. A13 im Bereich der 3 Messstationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen von 2003 – 2012 leicht angestiegen. Die Anzahl der Lieferwagen bzw. der als Lieferwagen gezählten Fahrzeuge hat deutlich zugenommen. Der Verkehr an schweren Güterfahrzeugen hat bei Erstfeld leicht abgenommen, ist bei Moleno knapp konstant geblieben und hat bei Rothenbrunnen erkennbar zugenommen.

Im Jahr 2006 zeigt sich an der Gotthardachse, vor allem bei Erstfeld, eine Reduktion, die durch die etwa einmonatige Sperre im Juni bedingt ist. Die A13 bei Rothenbrunnen hat durch den Umwegverkehr aufs ganze Jahr gesehen nur eine unmerkliche Steigerung erfahren, die sich am ehesten bei den SNF zeigt.

An der Gotthardachse zeigt sich von 2008 auf 2009 ein Rückgang bei den SNF, welcher wohl auch durch die Wirtschaftskrise bedingt ist.

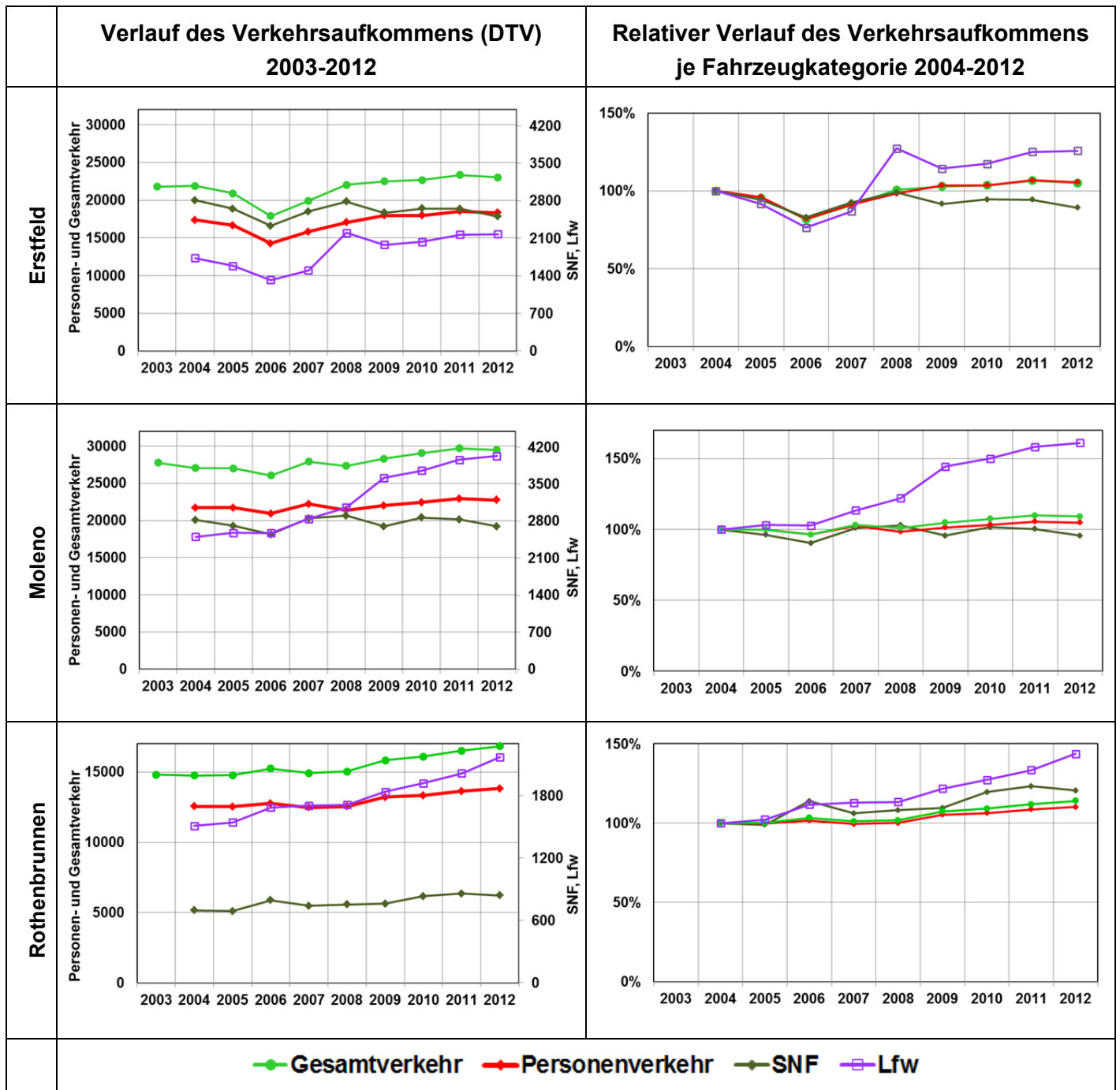


Abbildung 7.1: Verlauf des Verkehrsaufkommens (DTV im Jahresmittel; links) und relativer Verlauf des Verkehrsaufkommens je Fahrzeugkategorie (rechts) auf der A2 bzw. A13 im Bereich der Messstationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2003 – 2012.

Der relative Anteil der schweren Nutzfahrzeuge (SNF) am Gesamtverkehr auf der A2 bzw. A13 im Bereich der Messstationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen ist in den Jahren 2004 – 2008 praktisch konstant geblieben. Er betrug etwa 13% bei Erstfeld, 10% bei Moleno und 5% bei Rothenbrunnen. Von 2008 - 2012 hat er bei Erstfeld um etwa 2 Prozentpunkte abgenommen, bei Moleno um etwa 1 Prozentpunkt, am San Bernardino ist er gleich geblieben. Die Lieferwagen zählen nicht zu den SNF!

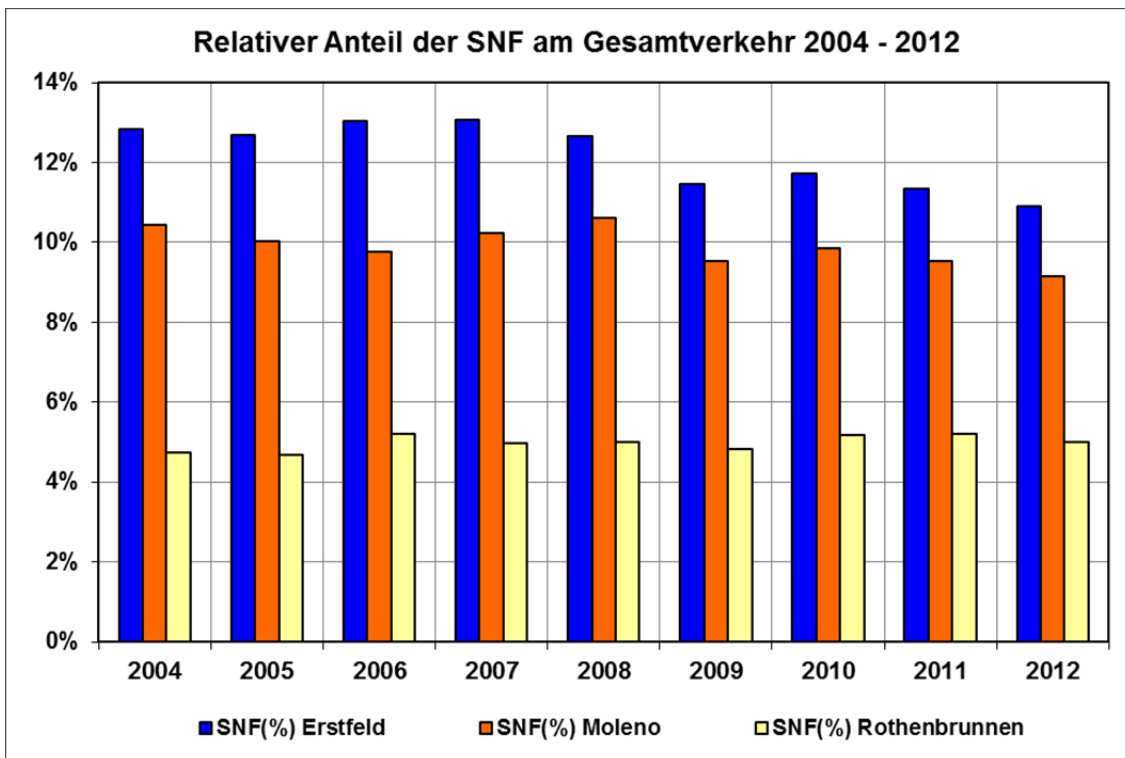


Abbildung 7.2: Entwicklung des Anteils der SNF am Gesamtverkehr auf der A2 bzw. A13 im Bereich der Messstationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2004 – 2012.

Der Verlauf des Aufkommens an SNF bei Erstfeld und Moleno und gemäss ALPINFO (Bundesamt für Verkehr) zeigt eine grosse Parallelität zwischen den drei Kurven. Nur bei Erstfeld von 2004 – 2007 gibt es gewisse Fluktuationen. Von daher sind die Verkehrszählungen sehr vertrauenswürdig.

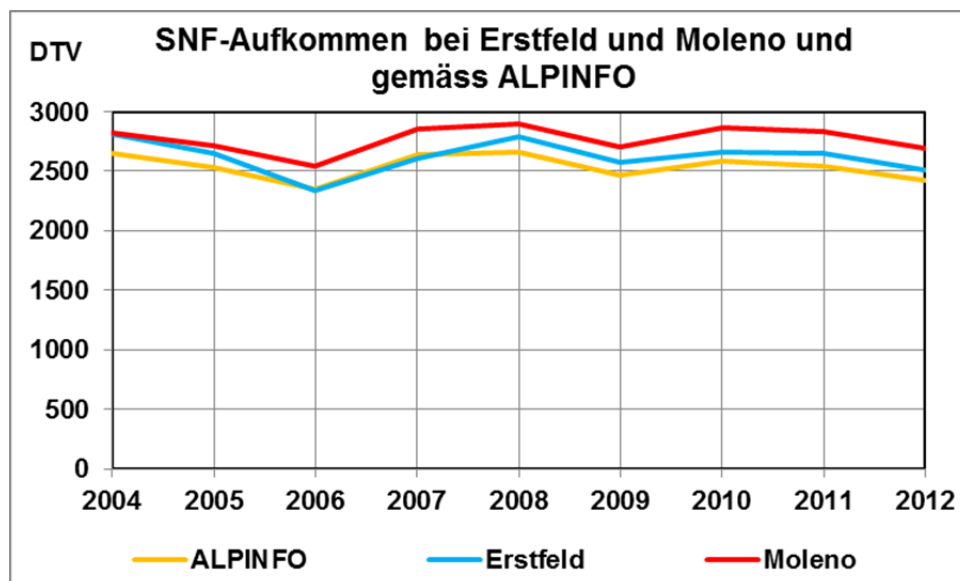


Abbildung 7.3: Mittlerer DTV der SNF bei Erstfeld und Moleno und gemäss ALPINFO im Gotthardtunnel, 2004 – 2012.

8. Zusammenfassung

- Verkehr** Der Gesamtverkehr wie auch der Personenverkehr sind auf der A2 bzw. A13 im Bereich der 3 Messstationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen von 2003 – 2012 leicht angestiegen. Die Anzahl der Lieferwagen bzw. der als Lieferwagen gezählten Fahrzeuge hat deutlich zugenommen. Der Verkehr an schweren Güterfahrzeugen hat bei Erstfeld leicht abgenommen, ist bei Moleno knapp konstant geblieben und hat bei Rothenbrunnen erkennbar zugenommen.
- Anteil SNF** Der relative Anteil der schweren Nutzfahrzeuge (SNF) am Gesamtverkehr auf der A2 bzw. A13 im Bereich der Messstationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen ist in den Jahren 2004 – 2008 praktisch konstant geblieben. Er betrug etwa 13% bei Erstfeld, 10% bei Moleno und 5% bei Rothenbrunnen. Von 2008 - 2012 hat er bei Erstfeld um etwa 2 Prozentpunkte abgenommen, bei Moleno um etwa 1 Prozentpunkt, am San Bernardino ist er gleich geblieben.
- Russ und Pnum** Die relativen Anteile der SNF an den Immissionen von Russ und Partikelanzahl betragen werktags in Erstfeld 50 - 60%, in Moleno 40 - 50% und in Rothenbrunnen gut 30% des jeweiligen Jahresmittels.
- NOx und NO₂** Insgesamt zeigen die NOx-Immissionen einen deutlichen Rückgang von 2003-2012, ebenso die Russ-Immissionen von 2007-2012. Die NO₂-Immissionen hingegen stagnieren praktisch. Die NOx-Anteile der SNF haben in den letzten Jahren beständig abgenommen und betragen 2012 werktags noch etwa 50% für Erstfeld, etwa 40% für Moleno und etwa 35% für Rothenbrunnen. Ihre NO₂-Anteile sind strassennah 8-15 Prozentpunkte tiefer. Zwischen dem Immissions- und Emissionsverlauf von 2004-2012 beim NOx gibt es eine Diskrepanz, welche eigentlich nur mit einer zu optimistischen Schätzung der Reduktion der Emissionsfaktoren von NOx durch die Flottenmodernisierung erklärt werden kann.
- Bedeutung SNF** An der Gotthardachse machen die SNF zusammengefasst noch knapp die Hälfte der Luftverschmutzung aus.
- NO₂/NOx** An allen drei Standorten hat das NO₂/NOx-Verhältnis von 2003 - 2012 deutlich zugenommen, was an diesen strassennahen Standorten vor allem auf den erhöhten Anteil direkt emittierten NO₂ bei den Pw, in den letzten Jahren aber auch bei den anderen Fahrzeugkategorien zurückzuführen ist.

9. Anhang: SNF-Anteile an Immissionen, Verkehrsaufkommen

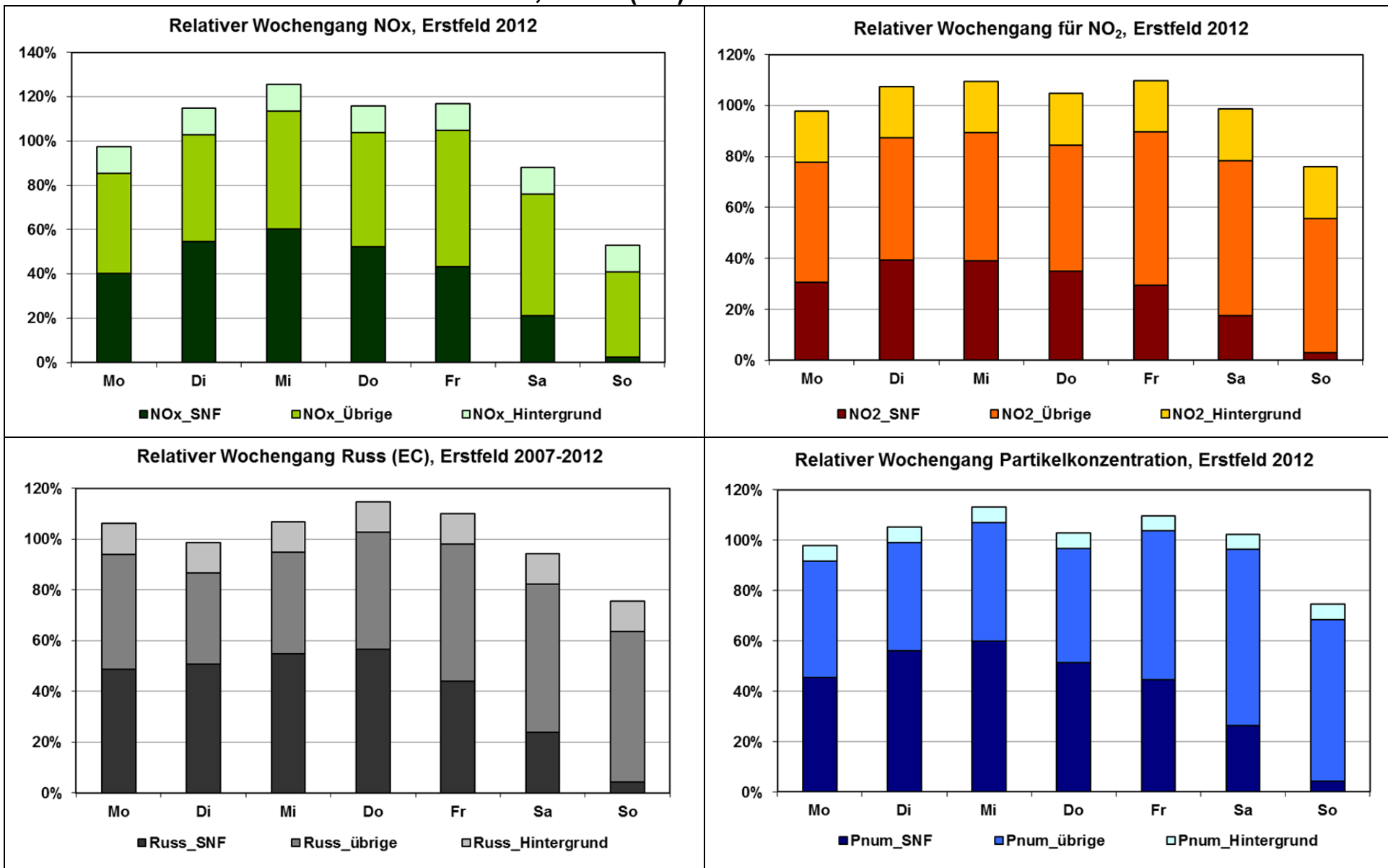
Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen

Immissionen an NO_x, NO₂, Partikelkonzentration für 2012

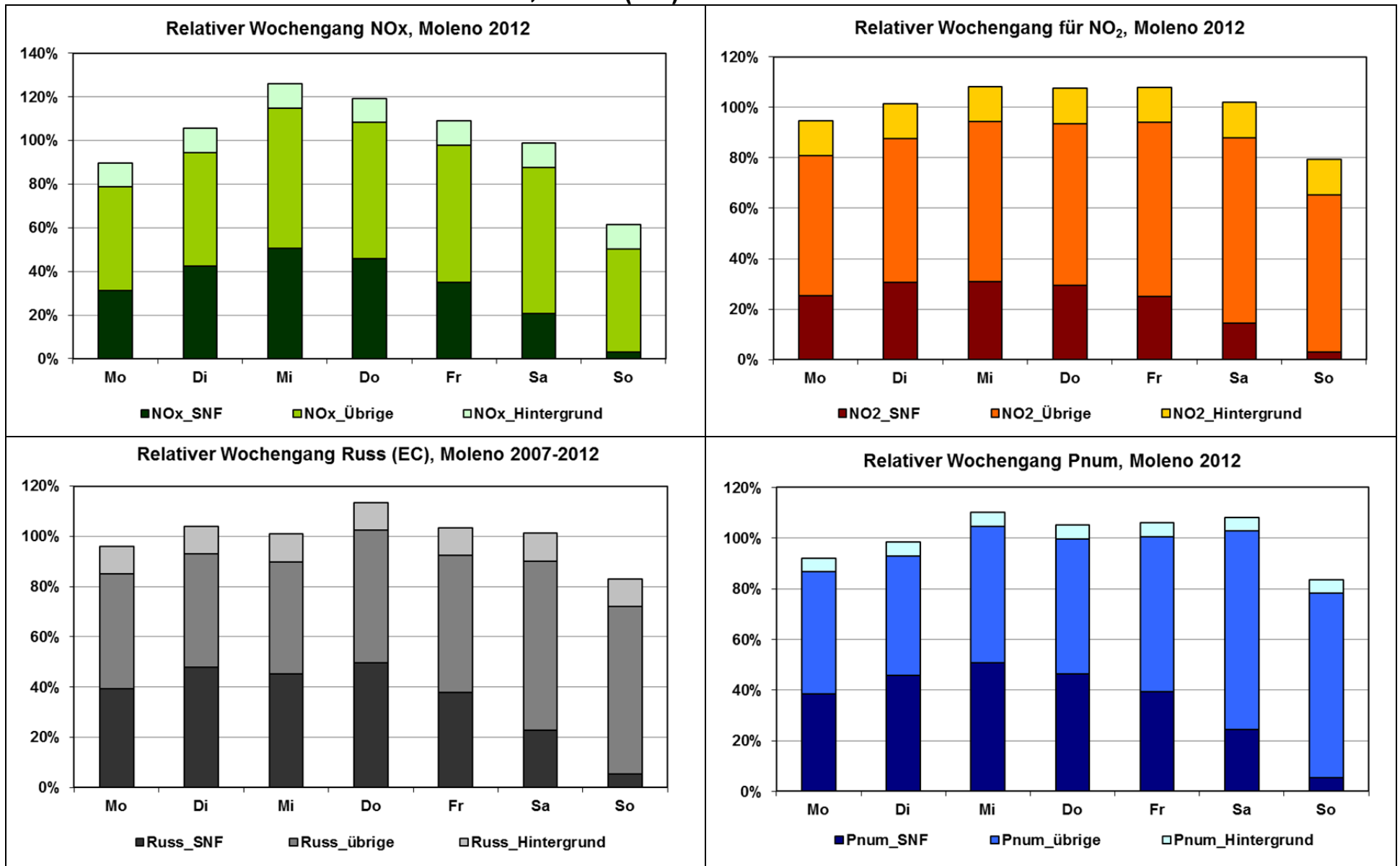
Immissionen an Russ (EC) für 2007-2012

Verkehrsaufkommen 2012

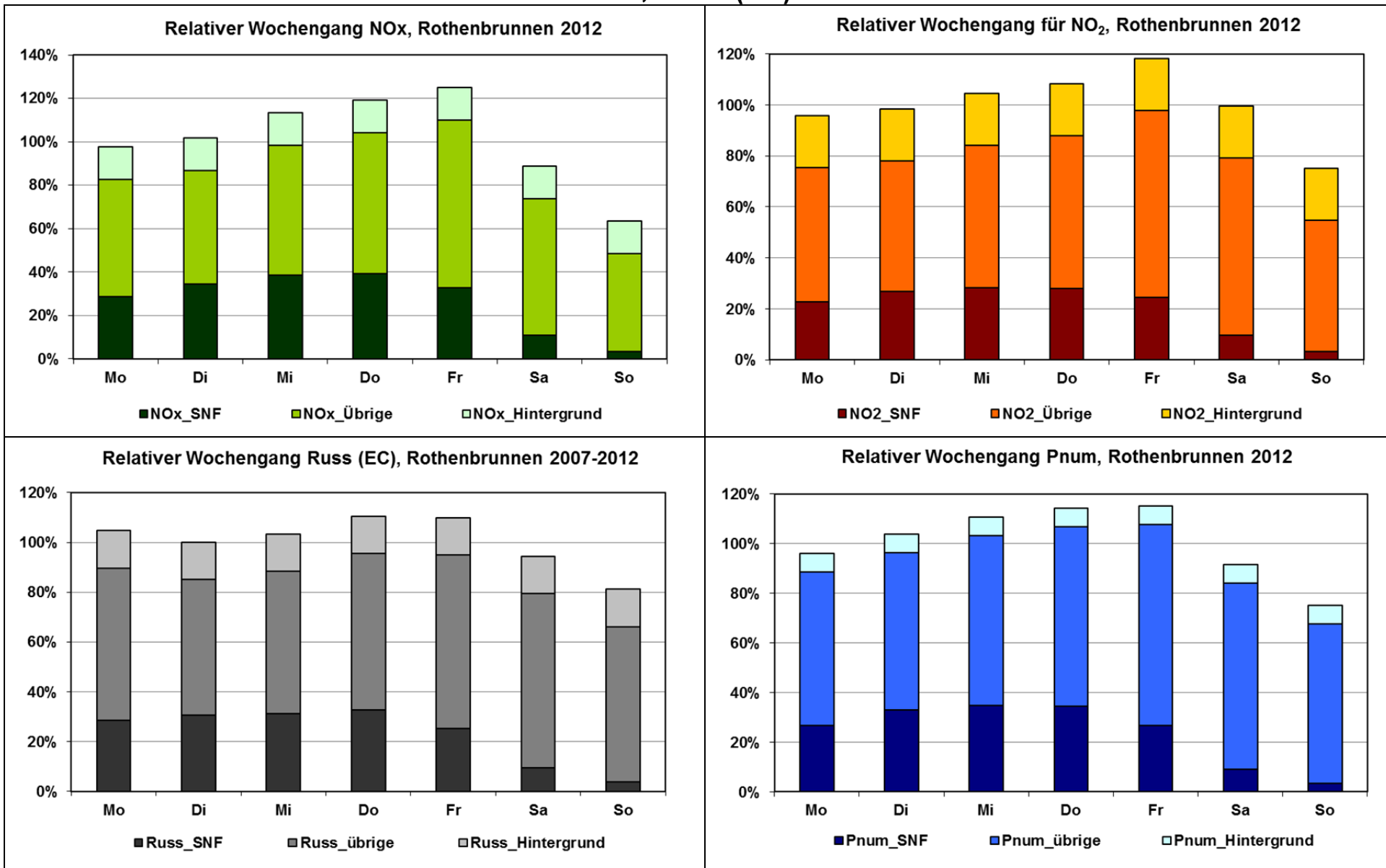
9.1. Immissionen Erstfeld 2012, Russ (EC) 2007-2012



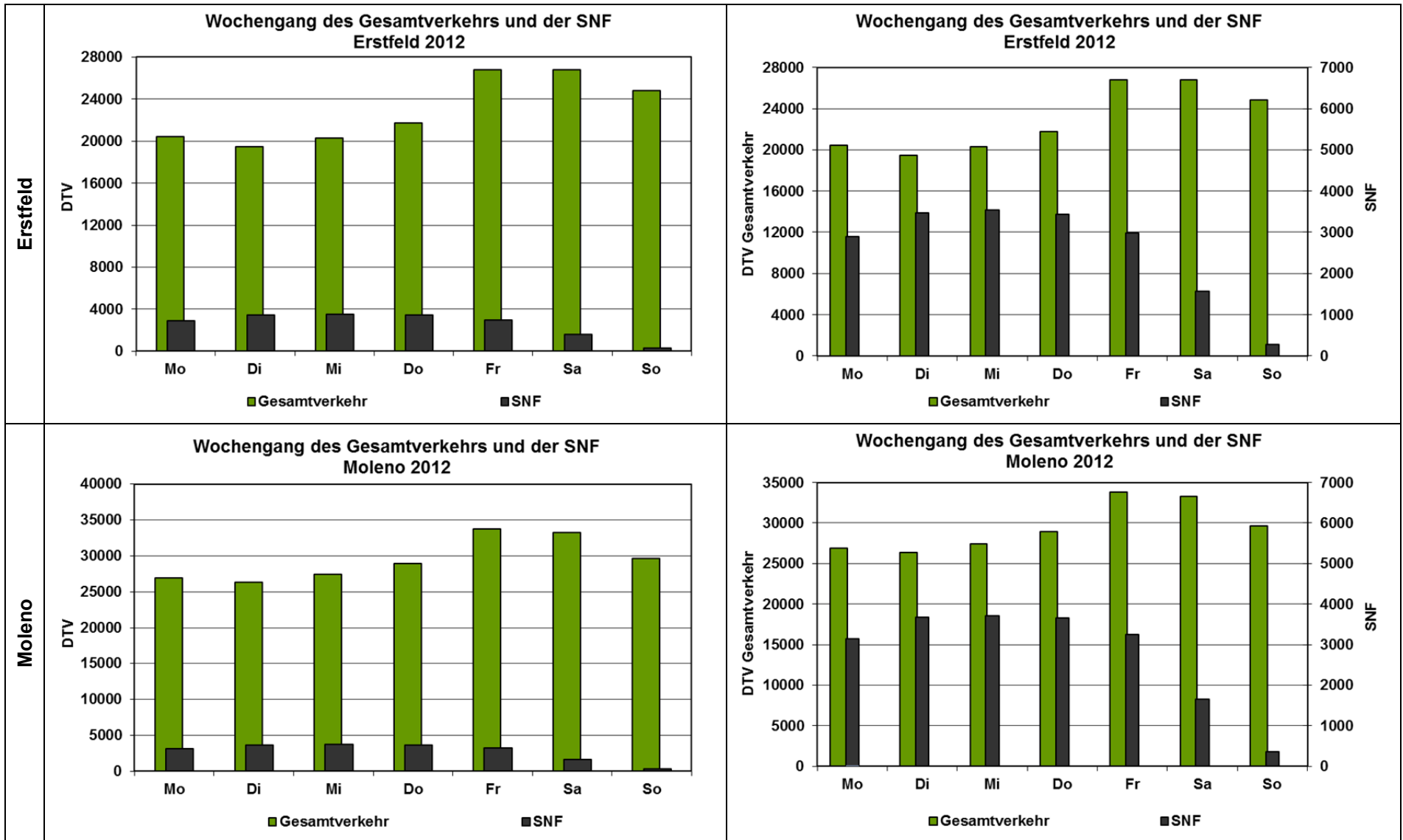
9.2. Immissionen Moleno 2012, Russ (EC) 2007-2012

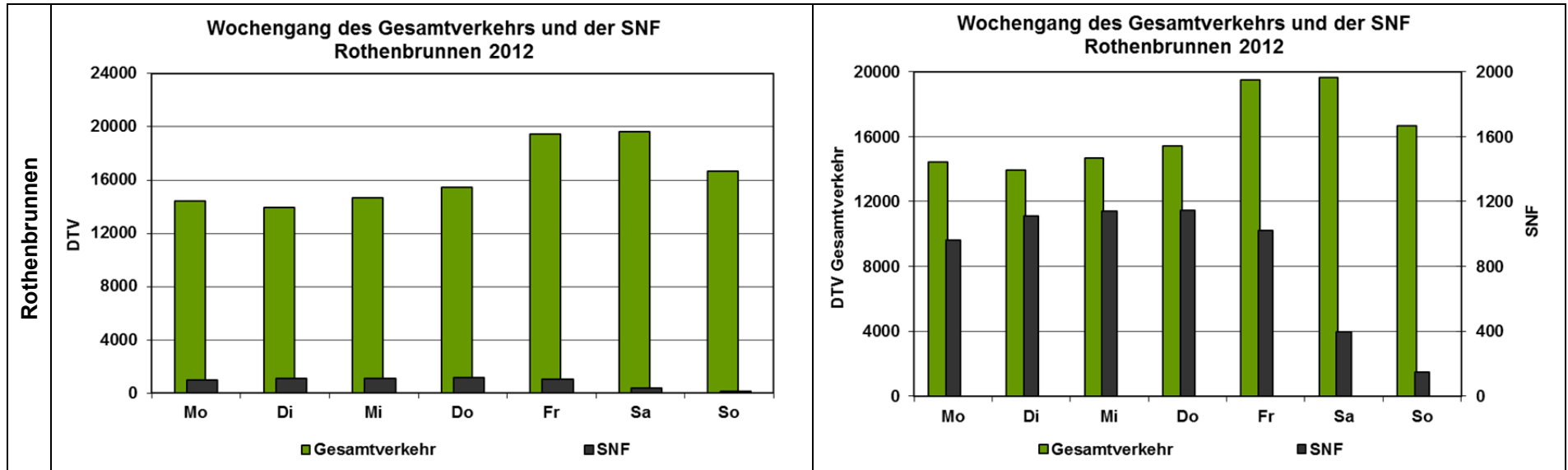


9.3. Immissionen Rothenbrunnen 2012, Russ (EC) 2007-2012



9.4. Verkehr bei Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen 2012





Bei Rothenbrunnen Ausfall der Verkehrszählung vom 22.10.2012 bis Ende 2012.