

Anteil der schweren Nutzfahrzeuge an Verkehr und Immissionen

Darstellung anhand von Wochengängen für die MfMU-Messstationen
Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen
2003 - 2009

Dr. Carine Chélala
Dr. Jürg Thudium
11.10.2010 / 5707.00 V2

Oekoscience AG

Postfach 452
CH - 7001 Chur

Telefon: +4181 250 3310
science@oekoscience.ch

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	4
2.4.3. Emissionsverhältnisse zwischen schweren Nutzfahrzeugen und übrigen Fahrzeugen für Partikelanzahl und Russ	4
2.4.4. Immissionshintergrund	6
2.4.5. Berechnungsbeispiel für relative Wochengänge	11
3. Relativer Wochengang der Immissionen und deren SNF-Anteil für 2009	12
4. Entwicklung des relativen SNF-Anteils an den Immissionen an Werktagen	14
5. Immissionsverlauf von 2003 bis 2009	16
6. NO₂/NO_x-Verhältnis von 2003 bis 2009	17
7. Verkehr	19
8. Fazit	22
9. Anhang	23
9.1. Immissionen Erstfeld 2003 - 2009	23
9.2. Immissionen Moleno 2003 – 2009	30
9.3. Immissionen Rothenbrunnen 2003 – 2009	37
9.4. Verkehr bei Erstfeld 2003 – 2009	44
9.5. Verkehr bei Moleno 2003 – 2009	48
9.6. Verkehr bei Rothenbrunnen 2003 – 2009	52

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Relativer Wochengang der NO _x -Immissionen nach altem Handbuch 2 bzw. neuem Handbuch 3 der Emissionsfaktoren für Erstfeld, 2007.	3
Abbildung 2.2: Wochentagsmittel der um den Hintergrund (s. Definition im Text) reduzierten NO _x -Immissionen in Abhängigkeit der NO _x -Emissionen der Autobahn, Mittel über 2004-2009 für Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen.	8
Abbildung 2.3: Abhängigkeit der Fahrzeugzahlen auf der A2 bei Moleno vom Wochentag, 2007.	9
Abbildung 2.4: Verhältnis von NO _x - und Russ-Jahresmittelwerten bei Erstfeld, Moleno, Reiden und Rothenbrunnen, 2008-2009.	10
Abbildung 3.1: Relative Wochengänge der Immissionen und deren SNF-Anteil 2009. 100% = Jahresmittel.	13
Abbildung 4.1: Entwicklung des relativen Anteils der SNF an den Immissionen an Werktagen, 2004 – 2009. 100% = Jahresmittel. Pnum: Partikelanzahl.	15
Abbildung 5.1: Verlauf der Immissionen bei Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2003 – 2009. Pnum: Partikelanzahl.	17
Abbildung 6.1: NO ₂ /NO _x -Verhältnis (Volumenanteil) je Wochentag, 2003 – 2009.	18
Abbildung 7.1: Verlauf des Verkehrsaufkommens (DTV im Jahresmittel) (Links) und Relativer Verlauf des Verkehrsaufkommens je Fahrzeugkategorie (Recht) auf der A2 bzw. A13 im Bereich der Messstationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2003 – 2009.	20
Abbildung 7.2: Entwicklung des Anteils der SNF am Gesamtverkehr auf der A2 bzw. A13 im Bereich der Messstationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2004 – 2009.	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 2.1: Anteile des NO ₂ an der gesamten Stickstoffoxidemission (NO _x) je Fahrzeuggruppe:	4
<i>Tabelle 2.2: Ergebnisse der linearen Regression zwischen gewichtetem Fahrzeugaufkommen und Immissionen je Wochentag für Reiden, Erstfeld und Moleno, 2004.</i>	6
Tabelle 2.3: Immissionshintergründe in Prozent des Halbjahresmittels:	11

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 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 entspricht. 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 (für 2004-2007: BC (Black Carbon), für 2008-2009 EC (elemental carbon) gem. EUSAAR2); P_num (Partikelkonzentration).

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. Diese baustellenbezogenen Emissionsfaktoren wurden nun anhand des neuen 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.

Zwischen dem HBEFA2 und dem neuen HBEFA3 hat sich eine Verschiebung zwischen den Emissionsfaktoren verschiedener Fahrzeugkategorien insofern ergeben, dass nun die Personenwagen und Lieferwagen gegenüber den schweren Güterfahrzeugen mehr Gewicht bei den Emissionen und in der Folge auch bei den Immissionen haben. Als Beispiel wird für Erstfeld 2007 die prozentuale Immissionsaufteilung zwischen SNF (schweren Nutzfahrzeugen) und übrigen Verkehr nach altem und neuem Handbuch aufgezeigt:

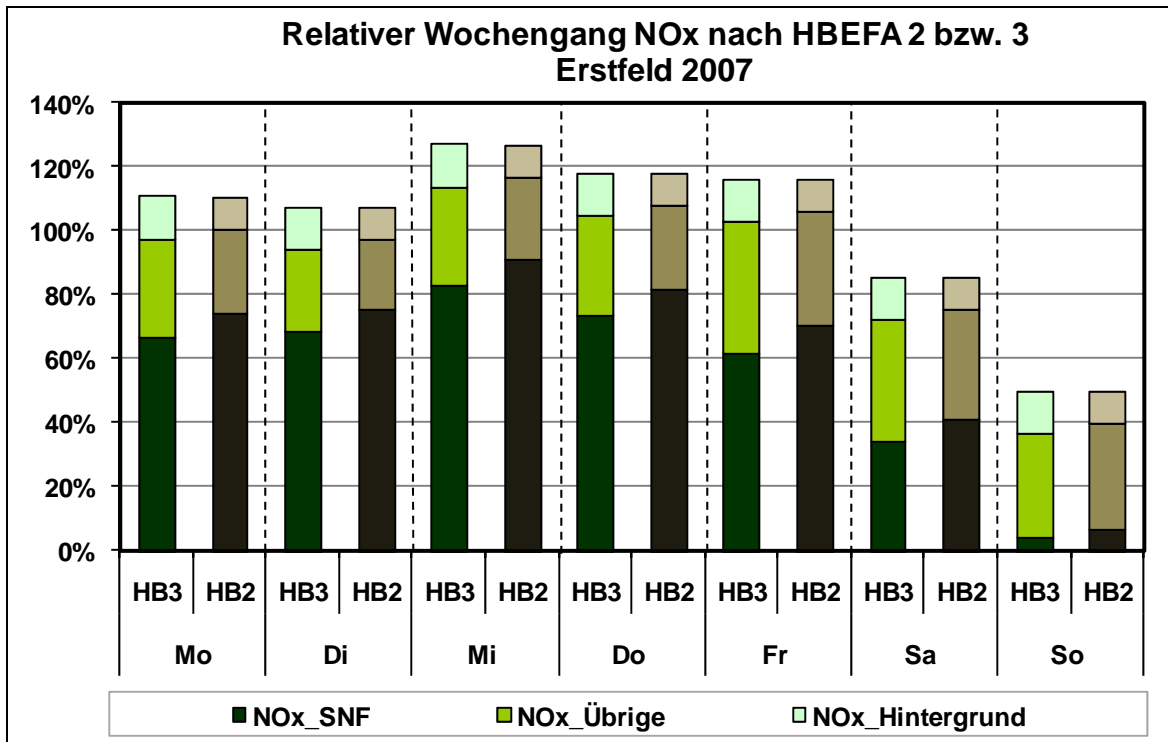


Abbildung 2.1: Relativer Wochengang der NOx-Immissionen nach altem Handbuch 2 bzw. neuem Handbuch 3 der Emissionsfaktoren für Erstfeld, 2007.

Nach neuem Handbuch haben die SNF weniger Anteil an den NOx-Immissionen. Allerdings ist auch der nicht zuordenbare "Hintergrund" etwas grösser geworden,

so dass der Anteil des übrigen Verkehrs nicht um so viel gewachsen ist wie derjenige der SNF abgenommen hat.

2.4.2. Anteile direkt emittierten NO₂ am gesamten emittierten NO_x

Die Anteile direkt emittierten NO₂ am gesamten emittierten NO_x haben in den letzten Jahren bei den Pw und den Lieferwagen stark zugenommen infolge der Modernisierung der Fahrzeugflotte (Katalysatoren und Partikelfilter bei hohen Euro-Klassen). Das HBEFA 3.1 liefert für alle Fahrzeugkategorien die Emissionsfaktoren sowohl für NO_x als auch für NO₂. Daraus konnten die Anteile des NO₂ an der NO_x-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.

Tabelle 2.1: Anteile des NO₂ an der gesamten Stickstoffoxidemission (NO_x) je Fahrzeuggruppe:

	Üb. Verkehr			SNF
	Erstfeld	Moleno	Rothenbrunnen	Alle Stationen
2003	9.0%	9.0%	9.0%	7.2%
2004	10.2%	10.4%	10.2%	7.2%
2005	11.4%	12.0%	11.8%	7.2%
2006	14.4%	14.2%	14.2%	7.4%
2007	16.0%	15.8%	15.9%	7.6%
2008	17.6%	18.2%	18.3%	8.0%
2009	19.0%	20.3%	20.2%	8.2%

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

Das HBEFA 3.1 liefert **Emissionsfaktoren für die Partikelanzahl**. Für 2007 betrug der Emissionsfaktor für SNF $1.09 \cdot 10^{14}$ p/km; für den übrigen Verkehr betrug er im Mittel $1.82 \cdot 10^{13}$ p/km für Moleno, für die anderen beiden Stationen war er sehr ähnlich. Somit 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 2.2: 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.

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.

Ausgangspunkt der Hintergrundabschätzung war wiederum eine Wochentagsabhängigkeit, und zwar der Beziehung zwischen Immissionen und Autobahnemissionen an **NO_x**. Es wurden die Mittelwerte je Wochentag für die NO_x-Immission und –Emission für die drei Stationen über die Gesamtheit der Jahre 2004-2009 gebildet, aufgeteilt nach Sommer- und Winterhalbjahr. Feiertage zählen dabei zu den Sonntagen. So fielen die zeitlichen Trends raus, aber die jahreszeitlichen Effekte wurden sichtbar.

Für alle drei Stationen stammt der oben definierte Hintergrund ganz überwiegend von anderen Strassen, auch entfernten (→ "Import"), und allenfalls von Gewerbe und Industrie. Auch der Hintergrund ist somit an Werktagen deutlich höher als am Wochenende. Dies hat zur Folge, dass die unkorrigierte Regressionsgerade von NO_x-Emissionen und –Immissionen je Wochentag eine negative Immission bei E=0 ausweist. Die Werktagsummissionen wurden nun mit einem fixen Prozentsatz je Station und Halbjahr korrigiert, so dass die Regressionsgerade durch den Nullpunkt ging. Der diesem Prozentsatz entsprechende Immissionsbeitrag wurde als Hintergrund in obigem Sinne definiert. Er liegt bei ungefähr 10%. Nur bei Moleno im Winterhalbjahr ergab sich aufgrund der grossen Stagnation der Atmosphäre eine deutlich positive Immission bei E=0, die als Hintergrund in obigem Sinne angenommen wurde.

Die folgenden Grafiken zeigen die gegen die Emissionen aufgetragenen NO_x-Immissionen je Wochentag, korrigiert um den Hintergrund. Die Korrelationskoeffizienten zwischen NO_x-Immission (um den Hintergrund korrigiert) und NO_x-Emission der A2 bzw. der A13 betragen in fünf Fällen 0.97 – 1.00, bei Rothbrunnen im Sommerhalbjahr 0.94. Das bedeutet, dass die um den Hintergrund reduzierten Immissionen ausschliesslich den Autobahnemissionen zugeordnet werden können, und selbst vom Hintergrund mag ein Teil von der Autobahn stammen, wenn auch nicht zuordenbar.

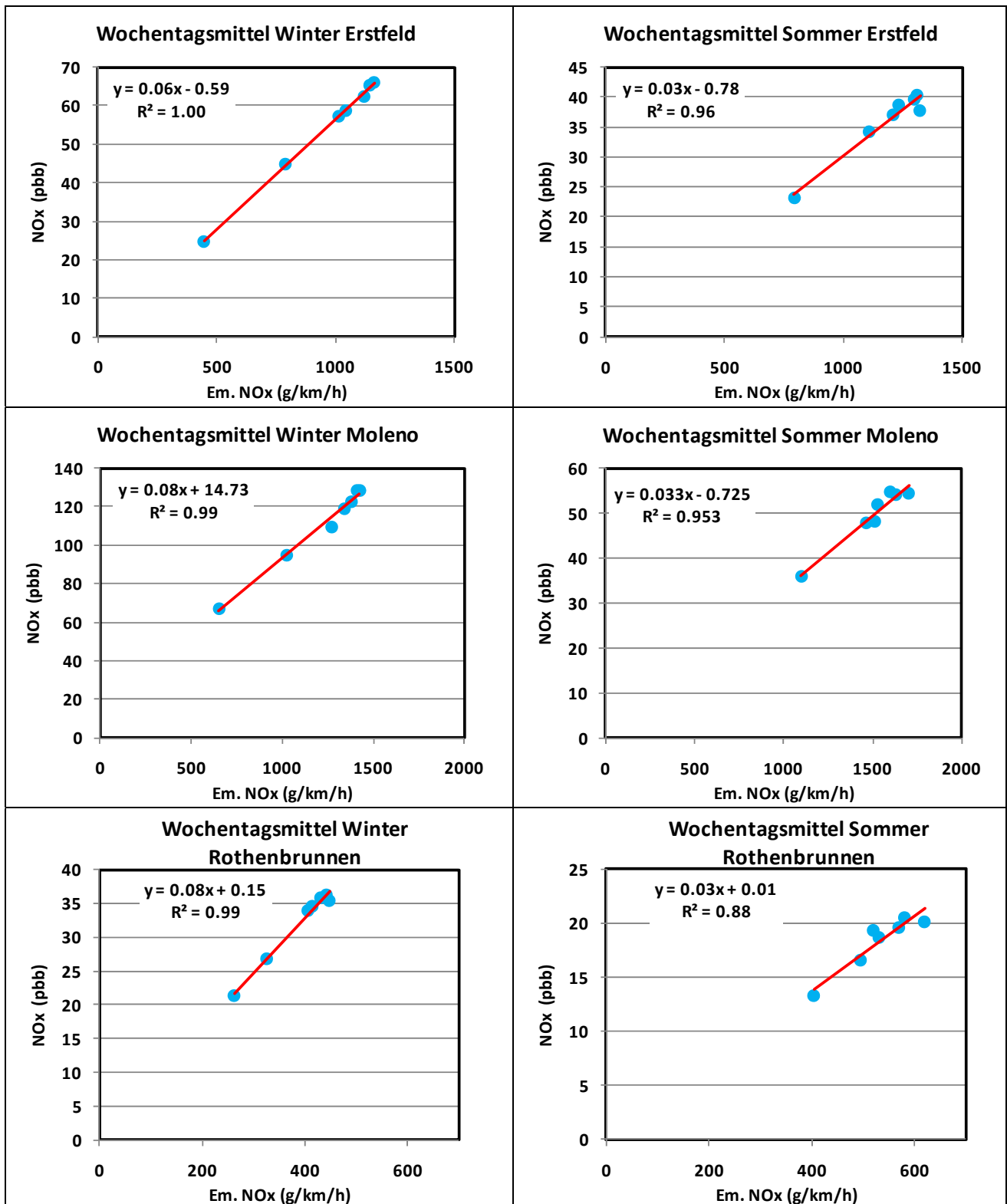


Abbildung 2.2: Wochentagsmittel der um den Hintergrund (s. Definition im Text) reduzierten NOx-Immissionen in Abhängigkeit der NOx-Emissionen der Autobahn, Mittel über 2004-2009 für Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen.

An den Sonntagen treten die geringsten Immissionen und Emissionen auf. Dabei sind die Emissionen im Winter deutlich geringer als im Sommer. Im Sommer hat es jeden Wochentag mehr Pw als im Winter, an den Wochenenden aber besonders viel mehr. Der Schwerverkehr unterscheidet sich demgegenüber kaum zwischen Winter- und Sommerhalbjahr. Die nächste Abbildung zeigt als Beispiel die Verhältnisse für Moleno 2007.

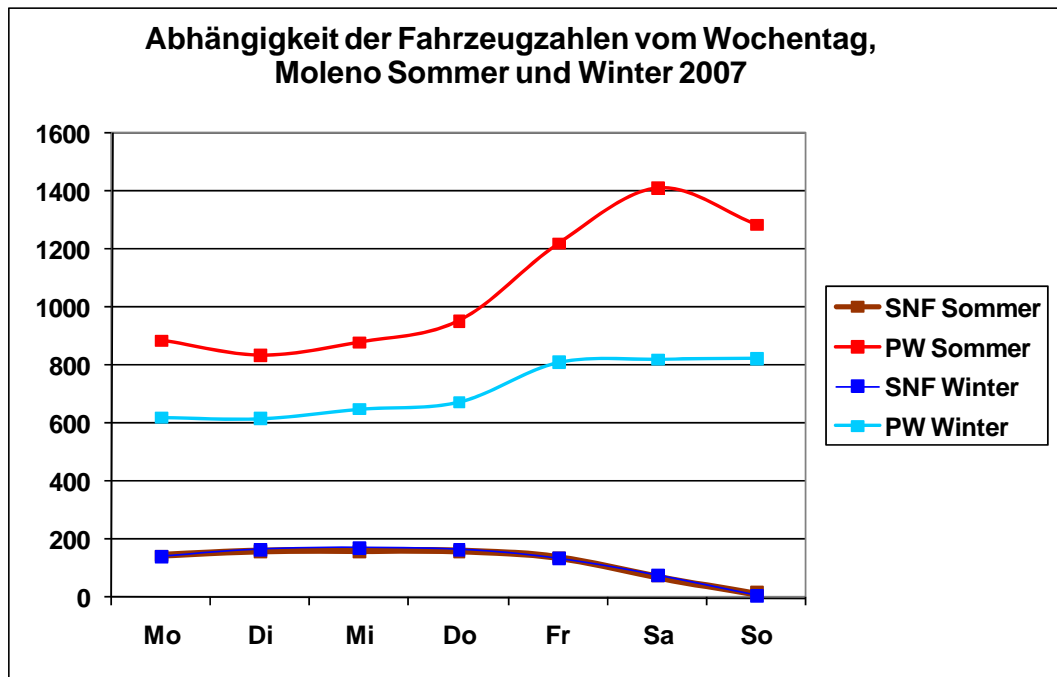


Abbildung 2.3: Abhängigkeit der Fahrzeugzahlen auf der A2 bei Moleno vom Wochentag, 2007.

Der Hintergrund an NO_2 ist Teil des Hintergrundes an NO_x . Da es sich dabei um transportierte bzw. gealterte Immissionen handelt, ist ihr NO_2 -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 NO_2 -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 2008 und 2009 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, Reiden und Rothenbrunnen ergab sich eine sehr hohe Korrelation zwischen den Jahresmittelwerten von NO_x und Russ (EC) von 0.99.

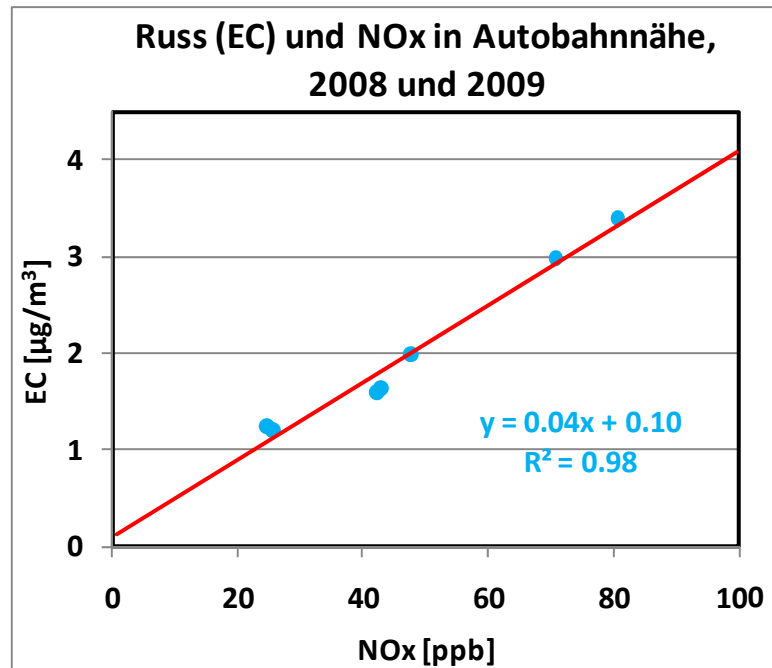


Abbildung 2.4: Verhältnis von NO_x- und Russ-Jahresmittelwerten bei Erstfeld, Moleno, Reiden und Rothenbrunnen, 2008-2009.

Aufgrund dieses starken Zusammenhanges zwischen NO_x und Russ wird der Hintergrund beim Russ prozentual gleich hoch angesetzt wie beim NO_x.

Von 2003-2007 wurde der Russ kontinuierlich als "Black Carbon" (BC) bestimmt. Diese Messungen können zur Aufteilung in die Anteile des schweren Güterverkehrs und des übrigen Verkehrs verwendet werden, nicht aber die absoluten Werte.

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	14%	8%	8%
Winter	13%	12%	10%
P_num			
Sommer	7%	4%	4%
Winter	7%	6%	5%
NO₂	in % des NO_x-Hintergrundes:		
Sommer	90%	80%	90%
Winter	60%	30%	60%

2.4.5. Berechnungsbeispiel für relative Wochengänge

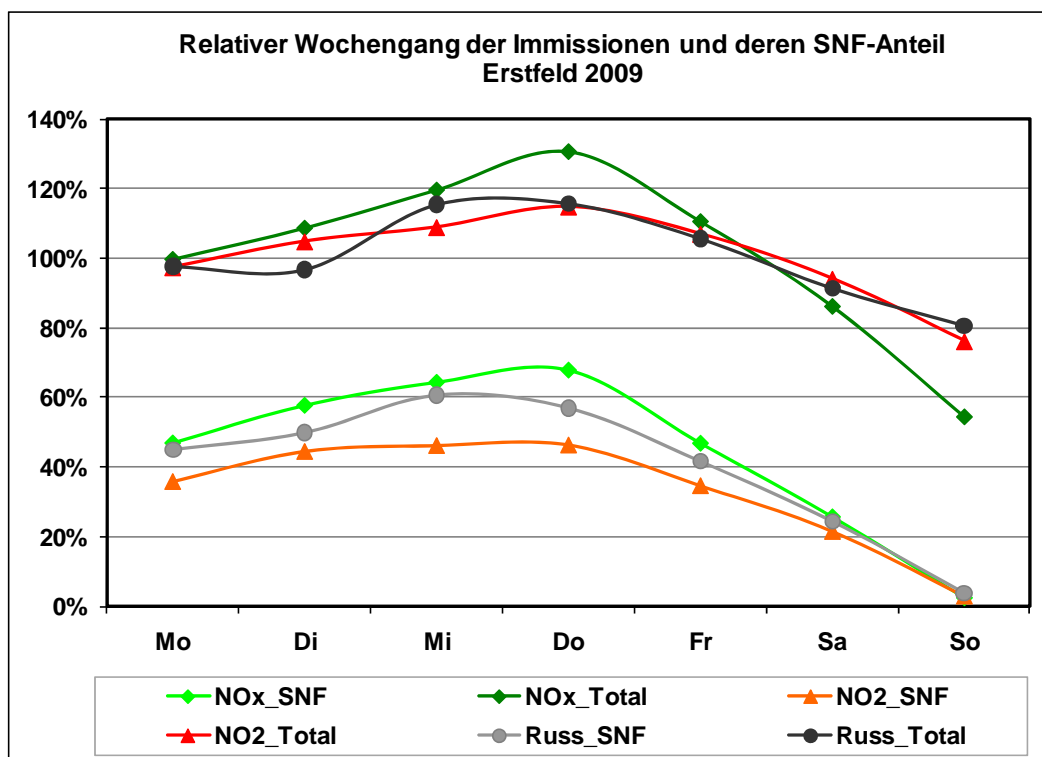
Basis aller Berechnungen sind die relativen Wochengänge, welche im Anhang für jede Messstation je Jahr und Komponente gezeigt werden. Die Berechnung erfolgt getrennt für Sommer- und Winterhalbjahr und wird dann zum Gesamtjahresmittel zusammengefasst. Der Mittelwert einer Komponente für einen bestimmten Wochentag dividiert durch das betreffende Halbjahresmittel ergibt die Höhe der Säule in den Grafiken im Anhang für diesen Wochentag (in %). Davon wird der prozentuale Hintergrund in Abzug gebracht. Der Rest wird in SNF (schwere Nutzfahrzeuge) und übrige Fahrzeuge gemäss Emissionsanteilen für die betreffende Komponente aufgeteilt, wobei die Emissionsaufteilung gemäss Fahrzeuganzahl erfolgt, 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 Fahrzeugkategorien in Prozent des Jahresmittels.

Beim NO₂ wird der Anteil, der nicht Hintergrund ist, aufgeteilt in Immission, welche aus der direkten NO₂-Emission folgt (s. Kap. 2.4.2), und in solche, die in der Atmosphäre aus NO konvertiert worden ist. Erstere ist gleich den NO_x-Immissionsanteilen multipliziert mit dem jeweiligen prozentualen Anteil des NO₂ in der NO_x-Emission, letztere wird gemäss NO-Emissionen auf die beiden Fahrzeugkategorien aufgeteilt.

3. Relativer Wochengang der Immissionen und deren SNF-Anteil für 2009

Die folgenden Grafiken zeigen die relativen Wochengänge (100% = Jahresmittel) der Immissionen und der Anteile der schweren Nutzfahrzeuge (SNF) an diesen Immissionen für das Jahr 2009.

Die Werkzeuge 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 NOx höher als bei den übrigen Komponenten. Entsprechend den Anteilen der SNF am Gesamtverkehr ist ihr Immissionsanteil bei Erstfeld am höchsten, bei Rothenbrunnen am niedrigsten. Zusammenfassend machen die SNF an der Gotthardachse werktags etwa die Hälfte der Luftverschmutzung an Stickoxiden, Russ und Ultrafeinpartikeln aus.



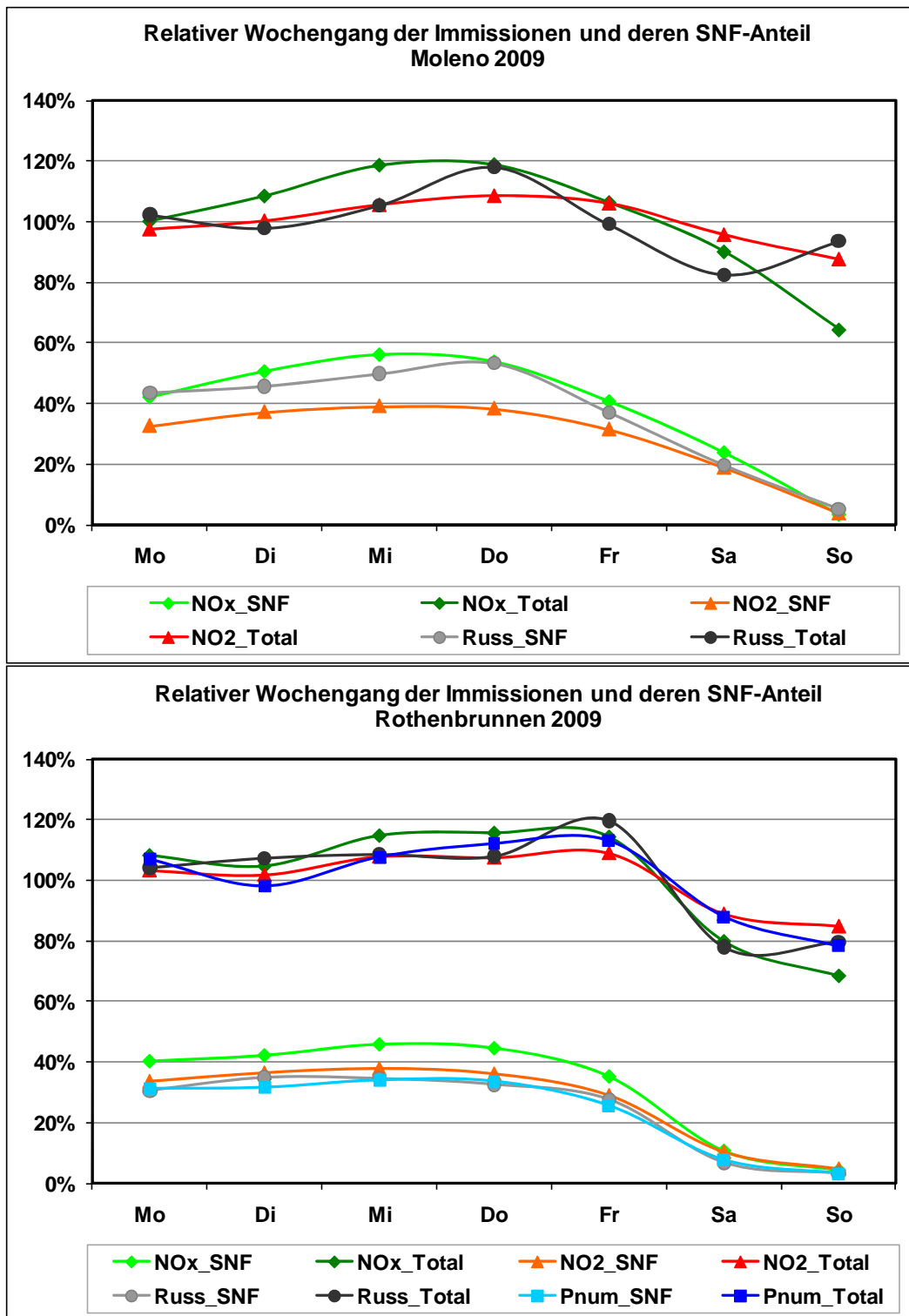
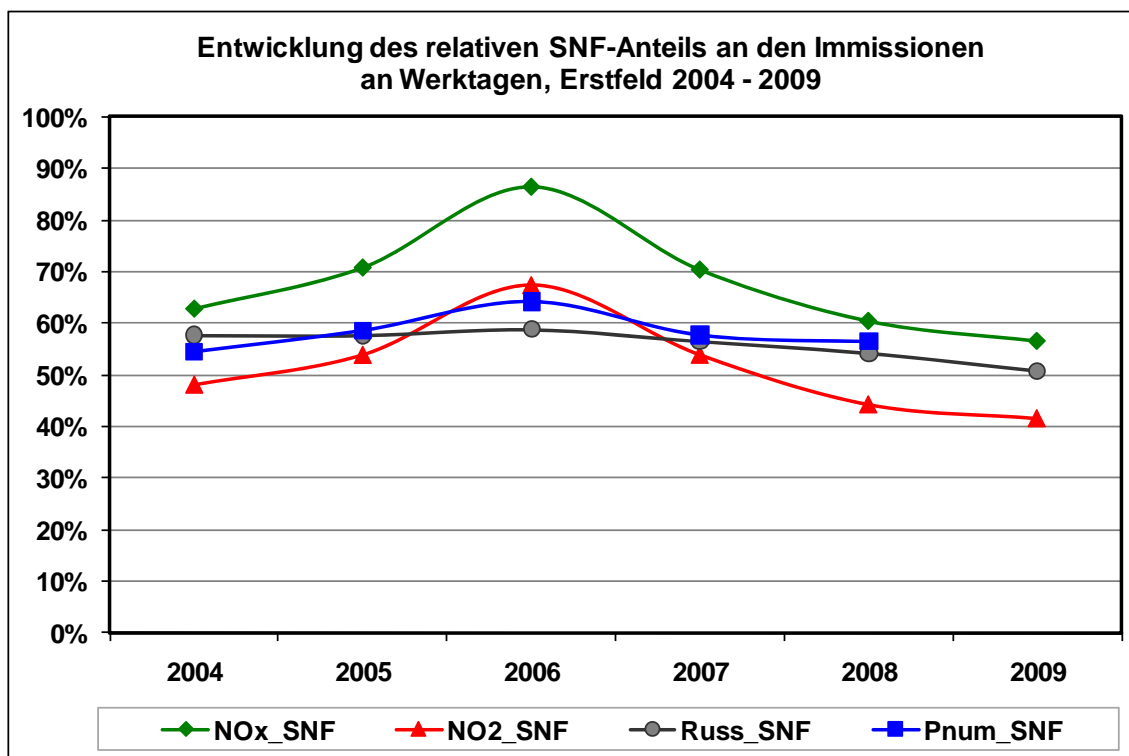


Abbildung 3.1: Relative Wochengänge der Immissionen und deren SNF-Anteil 2009. 100% = Jahresmittel.

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 in den Jahren 2004-2009.

Die Anteile der SNF an den Stickstoffoxid-Immissionen sind von 2004 – 2008 allmählich leicht zurückgegangen, weil die Flottenmodernisierung bei den SNF zu einer grösseren prozentualen Verringerung der Emissionsfaktoren geführt hat als bei den Pw, und weil der Dieselanteil bei den Pw gerade im Transitverkehr zugenommen hat. Der deutliche Rückgang des NO_x-Anteils der SNF im 2009 geht auch mit dem deutlichen Rückgang ihrer Anzahl einher, welcher wohl auch durch die Wirtschaftskrise bedingt ist. Die temporäre Veränderung bei Erstfeld um 2006 hat mit der langzeitigen Baustelle zu tun. Im Verhältnis zum NO_x-Anteil hat der NO₂-Anteil der SNF relativ etwas mehr abgenommen infolge des höheren Anteils direkt emittierten NO₂ bei den Pw. Die Anteile der SNF an Russ und Partikelanzahl haben sich über die Jahre kaum verändert und verlaufen weitgehend parallel. Die Partikelanzahl wird hauptsächlich durch die ultrafeinen Partikel bestimmt, welche auch den Russ enthalten. Leider wurde ab 2009 die Partikelanzahl an der Gotthardachse nicht mehr bestimmt.



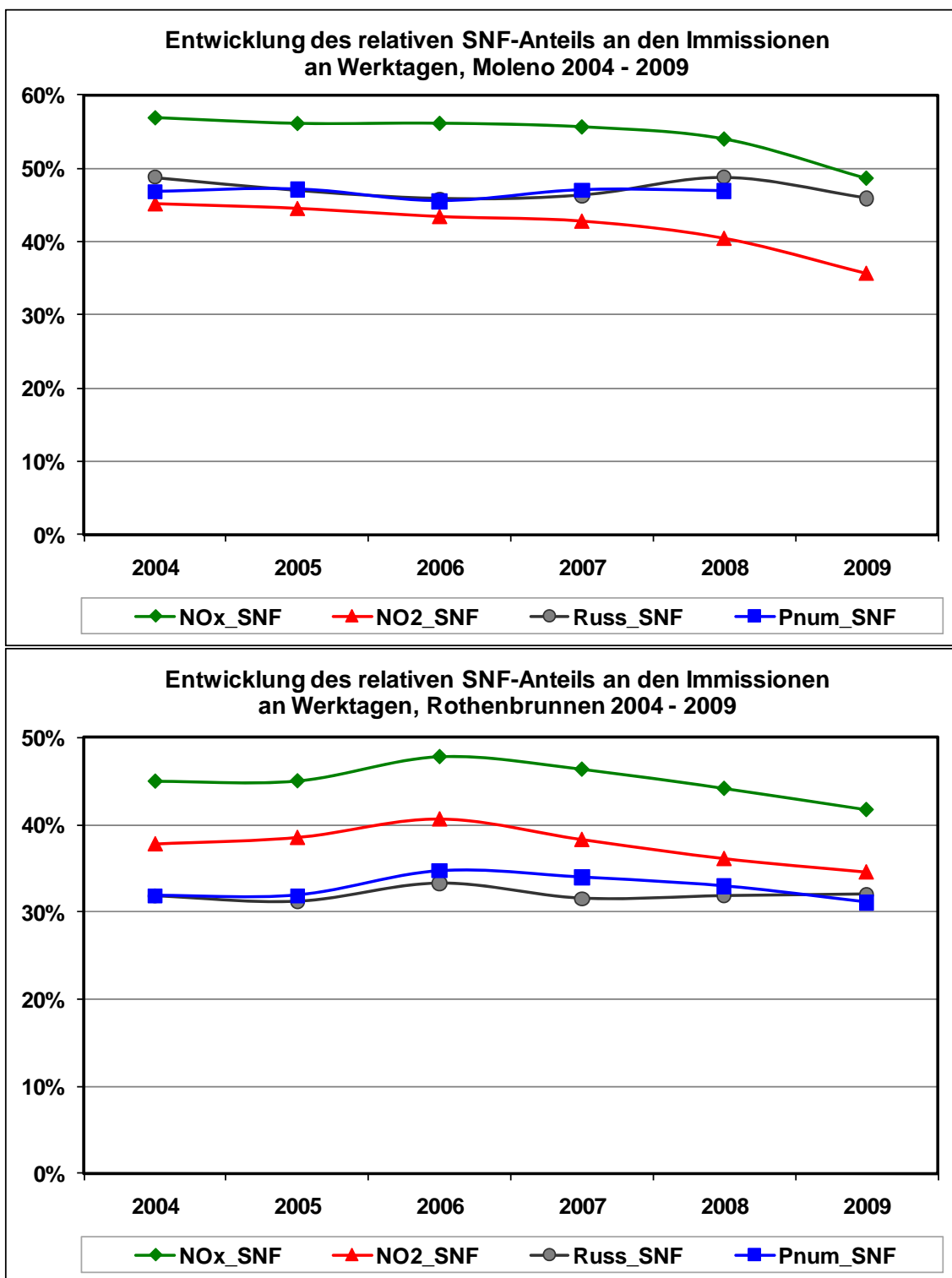
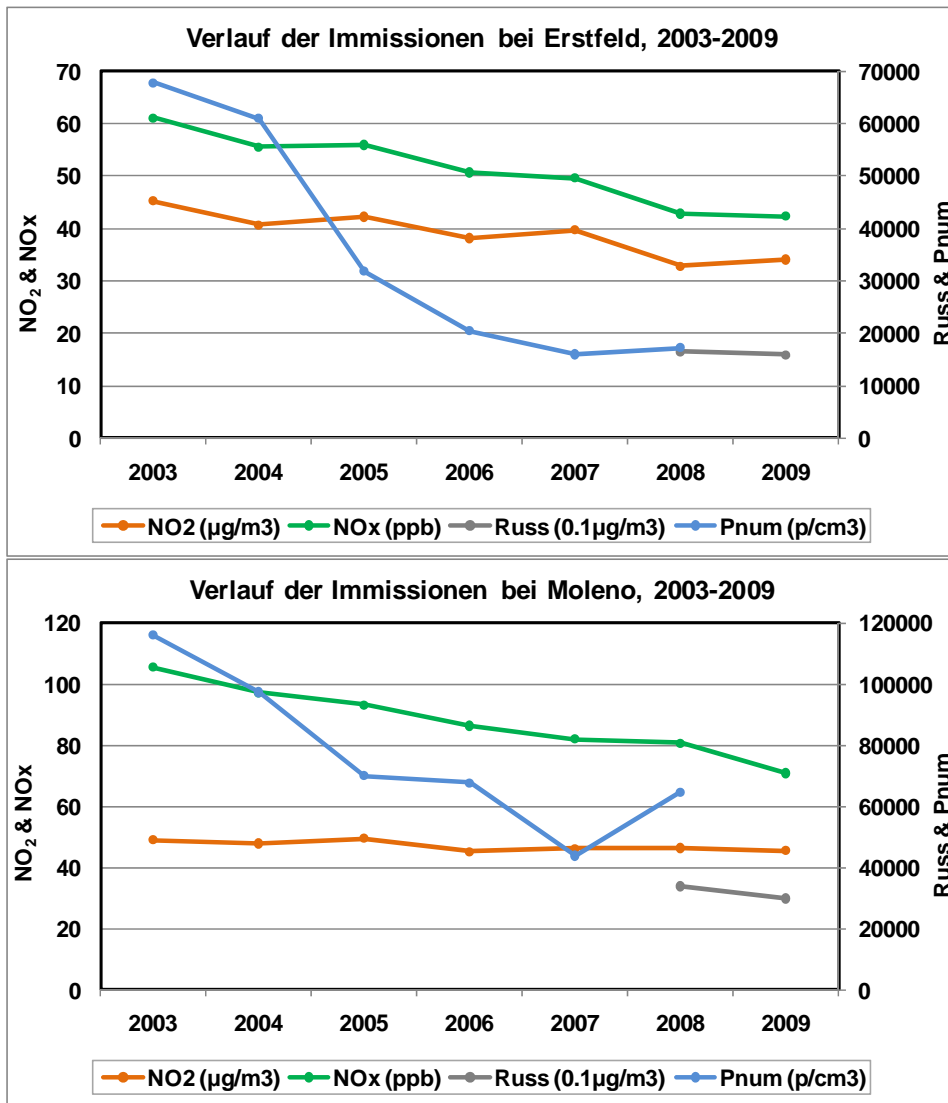


Abbildung 4.1: Entwicklung des relativen Anteils der SNF an den Immissionen an Werktagen, 2004 – 2009. 100% = Jahresmittel. Pnum: Partikelanzahl.

5. Immissionsverlauf von 2003 bis 2009

NOx zeigt einen deutlichen, NO₂ einen leichten Rückgang von 2003-2009. Beim Russ werden nur die Jahre 2008 und 2009 aufgezeigt (EC nach EUSAAR2-Protokoll). Die Messungen der Partikelanzahl von 2003-2005 müssen in ihren absoluten Werten als fraglich bezeichnet werden, es gab bis 2006 auch zum Teil grössere Datenausfälle.



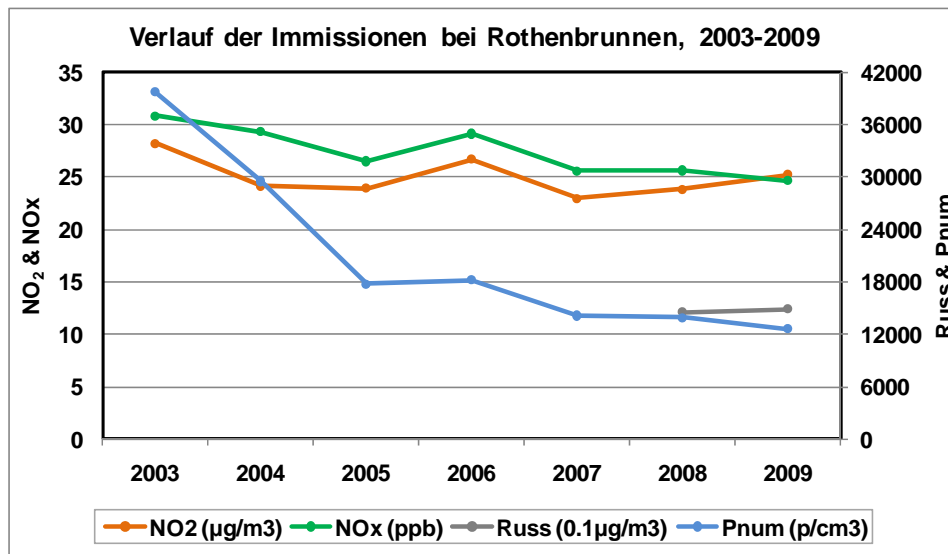


Abbildung 5.1: Verlauf der Immissionen bei Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2003 – 2009. Pnum: Partikelanzahl.

6. NO₂/NO_x-Verhältnis von 2003 bis 2009

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 in den Jahren 2003-2009 deutlich zugenommen, was an diesen strassennahen Standorten vor allem auf den erhöhten Anteil direkt emittierten NO₂ bei den Pw zurückzuführen ist.

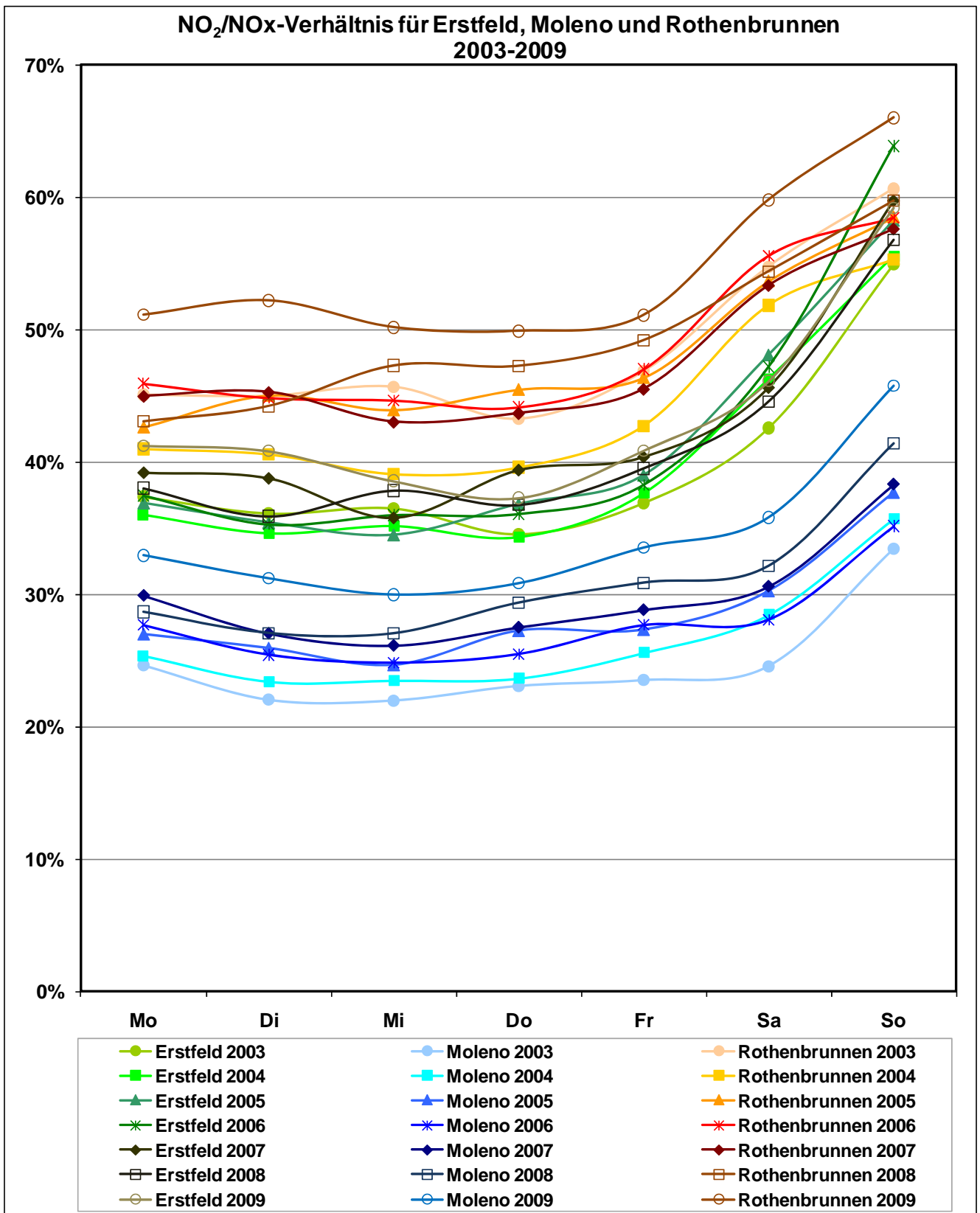


Abbildung 6.1: NO₂/NO_x-Verhältnis (Volumenanteil) je Wochentag, 2003 – 2009.

7. Verkehr

Der Gesamtverkehr auf der A2 bzw. A13 ist im Bereich der Messstationen von 2003 – 2009 leicht angestiegen. 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 dadurch aufs ganze Jahr gesehen nur eine unmerkliche Steigerung erfahren, die sich am ehesten bei den SNF zeigt.

Der leichte Verkehrsanstieg zeigt sich durchwegs beim Personenverkehr, bei den SNF nur bei Rothenbrunnen. An der Gotthardachse zeigt sich von 2008 auf 2009 ein deutlicher Rückgang bei den SNF, welcher wohl auch durch die Wirtschaftskrise bedingt ist. Die Lieferwagen zeigen an allen drei Standorten die grössten Steigerungsraten von 2004-2009 von 14 – 44%.

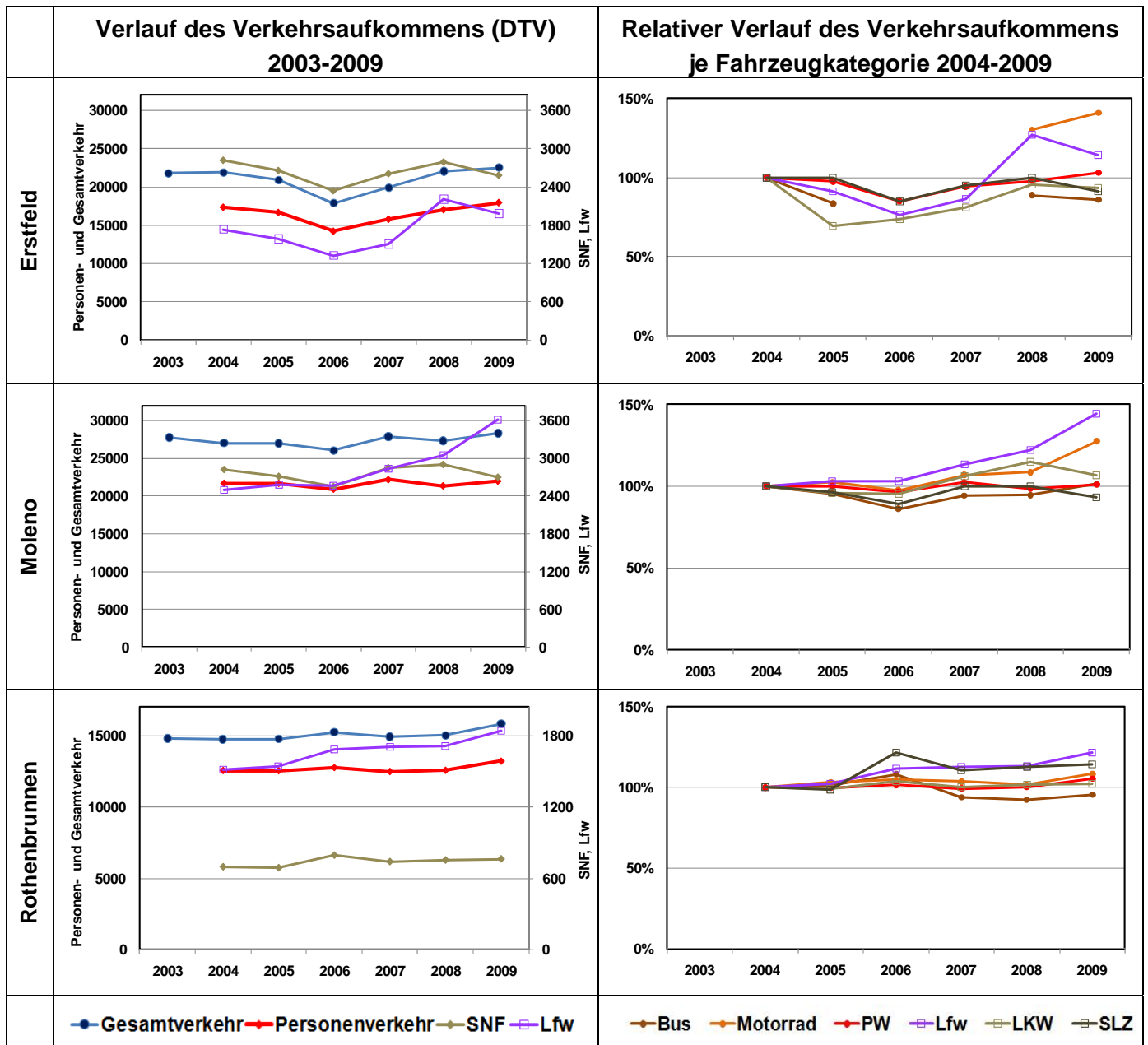


Abbildung 7.1: Verlauf des Verkehrsaufkommens (DTV im Jahresmittel) (Links) und Relativer Verlauf des Verkehrsaufkommens je Fahrzeugkategorie (Recht) auf der A2 bzw. A13 im Bereich der Messstationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2003 – 2009.

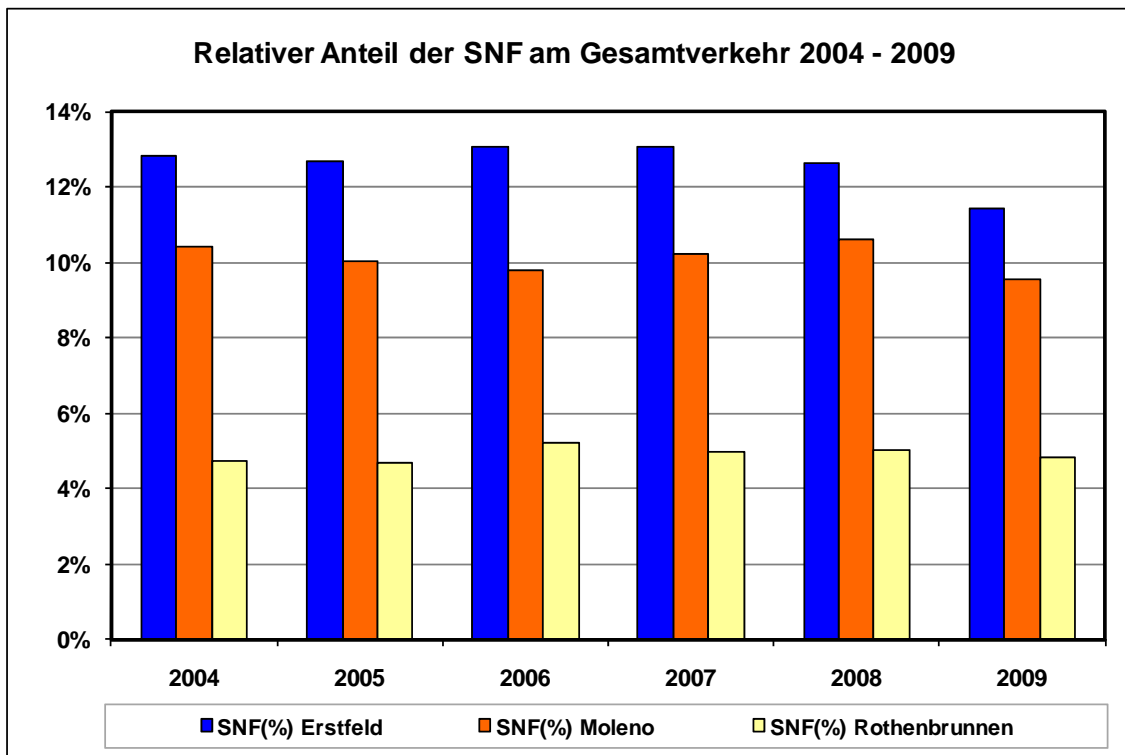


Abbildung 7.2: Entwicklung des Anteils der SNF am Gesamtverkehr auf der A2 bzw. A13 im Bereich der Messstationen Erstfeld, Moleno und Rothenbrunnen, 2004 – 2009.

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. Im Jahre 2009 hat er an der Gotthardachse um 1-1.5 Prozentpunkte abgenommen, wohl auch bedingt durch die Wirtschaftskrise, am San Bernardino ist er etwa gleich geblieben.

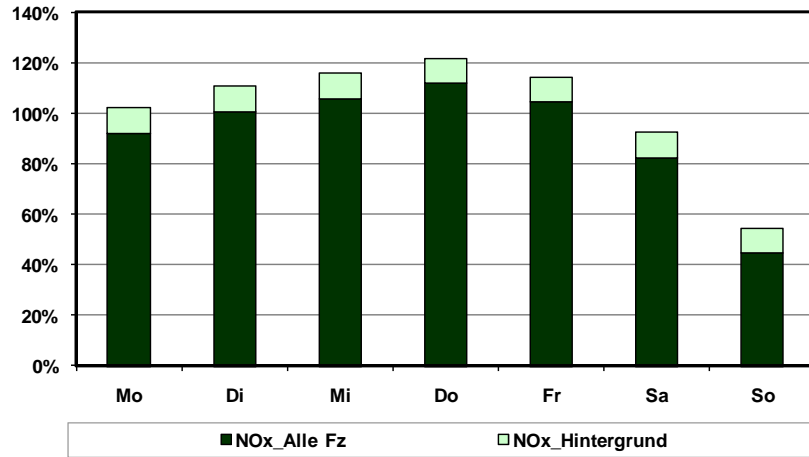
8. Fazit

Verkehr	Der Gesamtverkehr auf der A2 bzw. A13 ist im Bereich der Messstationen von 2003 – 2009 leicht angestiegen. Der leichte Verkehrsanstieg zeigt sich durchwegs beim Personenverkehr, bei den SNF nur bei Rothenbrunnen. An der Gotthardachse zeigt sich von 2008 auf 2009 ein deutlicher Rückgang bei den SNF, welcher wohl auch durch die Wirtschaftskrise bedingt ist. Die Lieferwagen zeigen an allen drei Standorten die grössten Steigerungsraten von 2004-2009 von 14 – 44%.
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. Im Jahre 2009 hat er an der Gotthardachse um 1-1.5 Prozentpunkte abgenommen, wohl auch bedingt durch die Wirtschaftskrise, am San Bernardino ist er etwa gleich geblieben.
Russ und Pnum	Die Anteile der SNF an den Immissionen an Russ und Partikelanzahl haben sich über die Jahre kaum verändert und verlaufen weitgehend parallel. Sie betragen werktags in Erstfeld etwa 60%, in Moleno knapp 50% und in Rothenbrunnen etwa 35% des jeweiligen Jahresmittels.
NOx und NO ₂	Insgesamt zeigen die NOx-Immissionen einen deutlichen, die NO ₂ -Immissionen einen leichten Rückgang von 2003-2009. Die Anteile der SNF an den Stickstoffoxid-Immissionen sind von 2004 – 2008 allmählich leicht zurückgegangen; der deutliche Rückgang des NOx-Anteils der SNF im 2009 geht mit dem deutlichen Rückgang ihrer Anzahl einher. Die NOx-Anteile der SNF betragen werktags 60-70% für Erstfeld, 50-60% für Moleno und 40-50% für Rothenbrunnen. Ihre NO ₂ -Anteile sind strassennah 8-15 Prozentpunkte tiefer.
Bedeutung SNF	An der Gotthardachse machen die SNF zusammengefasst etwa die Hälfte der Luftverschmutzung aus.
NO ₂ /NOx	An allen drei Standorten hat das NO ₂ /NOx-Verhältnis in den Jahren 2003-2009 deutlich zugenommen, was an diesen strassennahen Standorten vor allem auf den erhöhten Anteil direkt emittierten NO ₂ bei den Pw zurückzuführen ist.

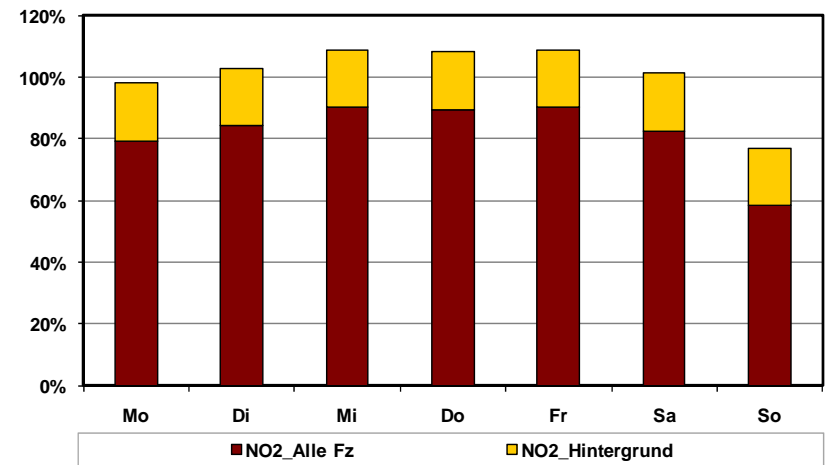
9. Anhang

9.1. Immissionen Erstfeld 2003 - 2009

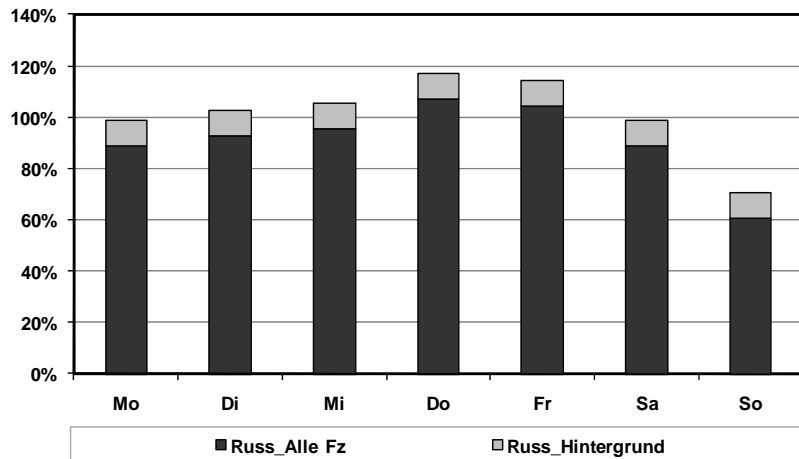
Relativer Wochengang NOx, Erstfeld 2003



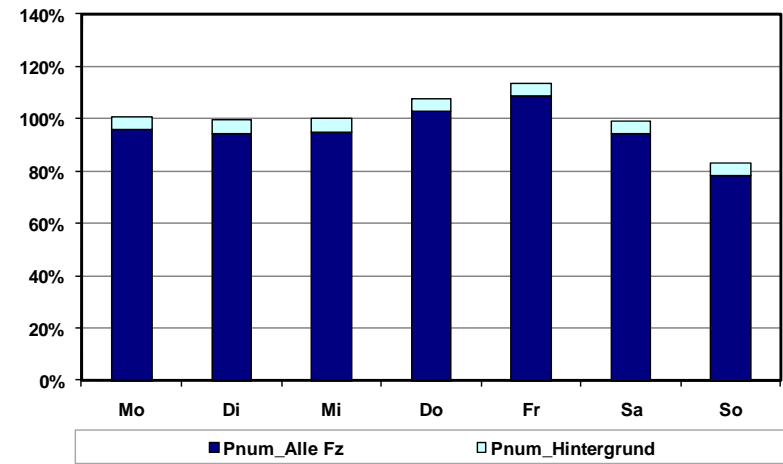
Relativer Wochengang für NO₂, Erstfeld 2003

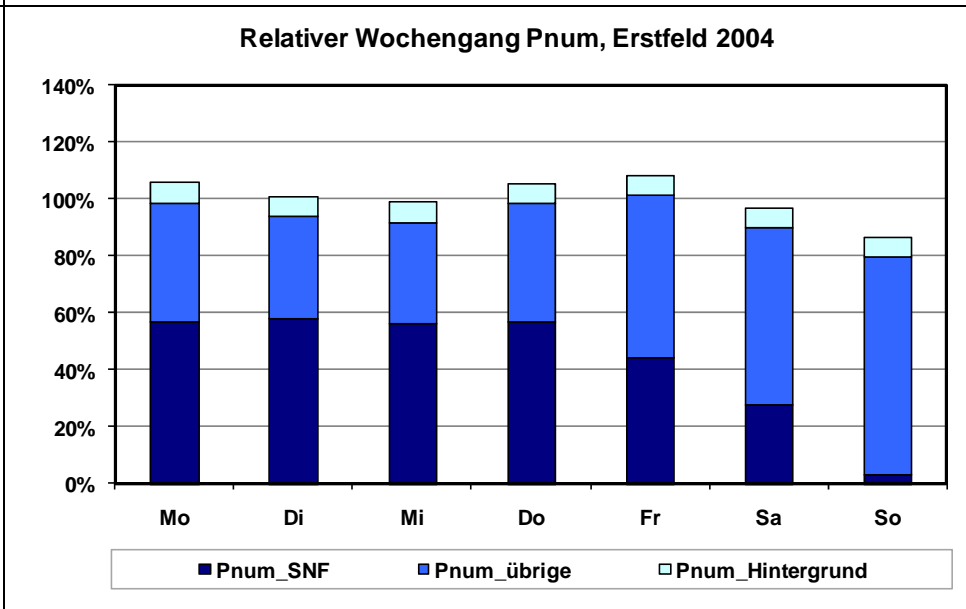
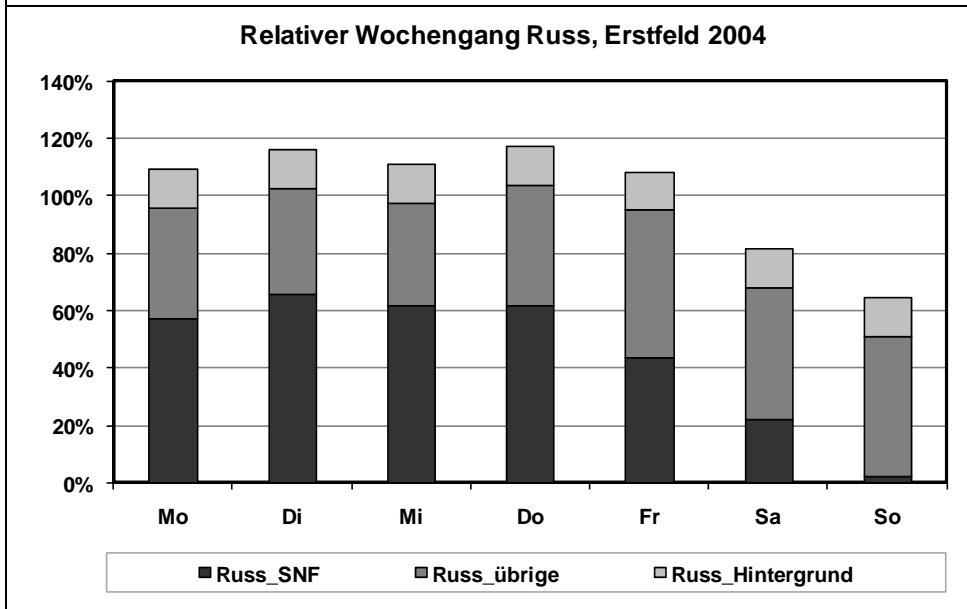
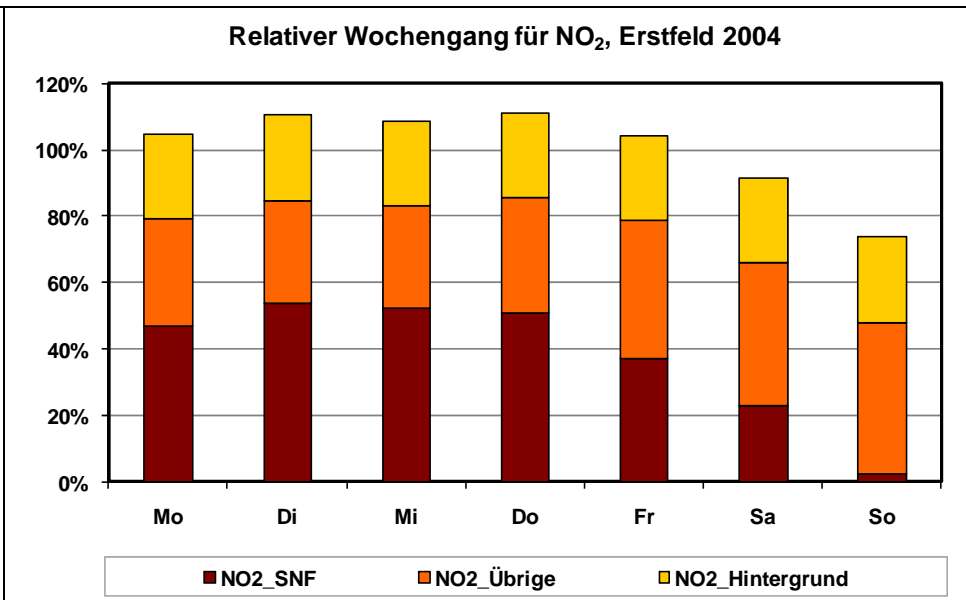
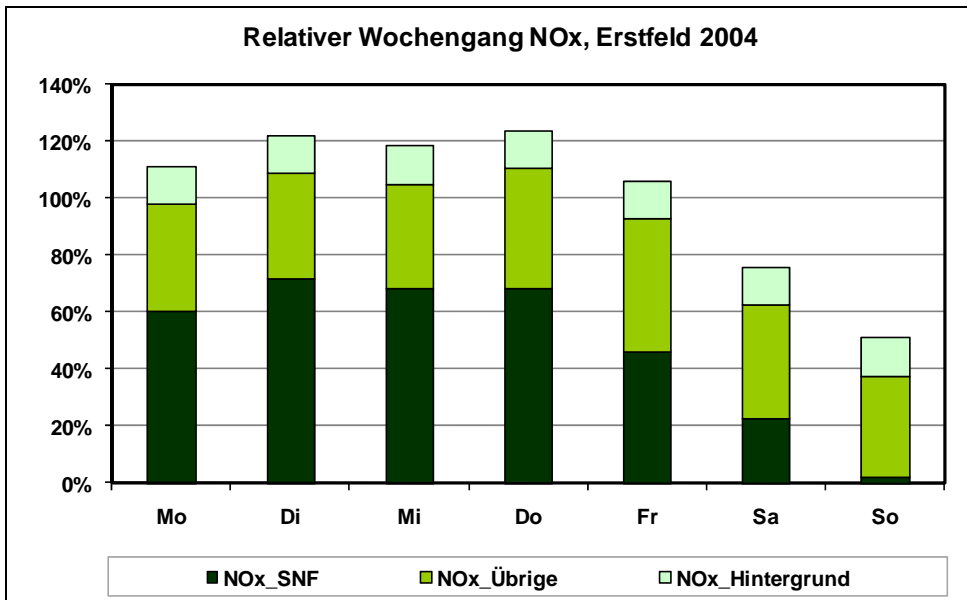


Relativer Wochengang Russ, Erstfeld 2003

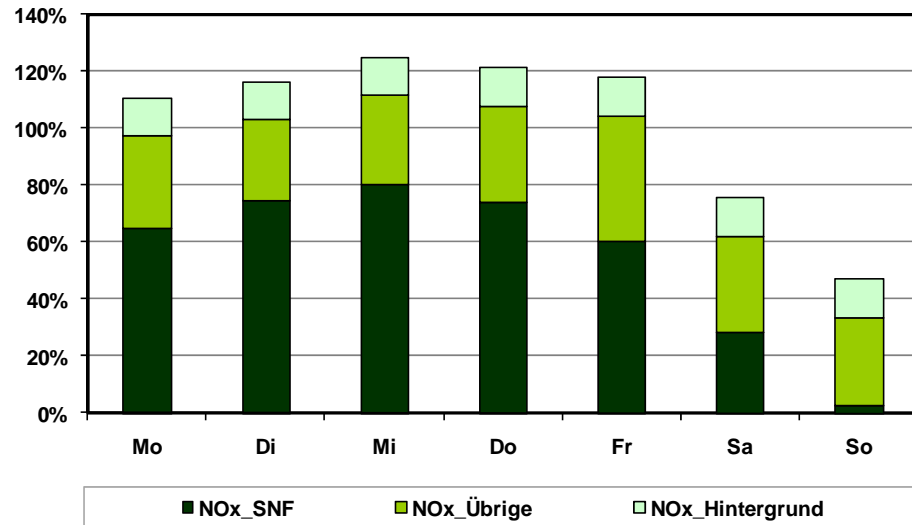


Relativer Wochengang Pnum, Erstfeld 2003

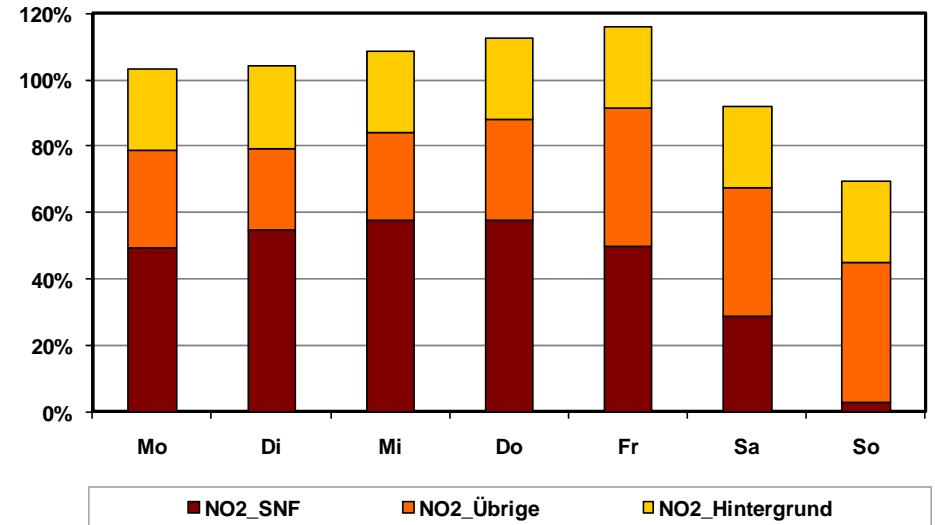




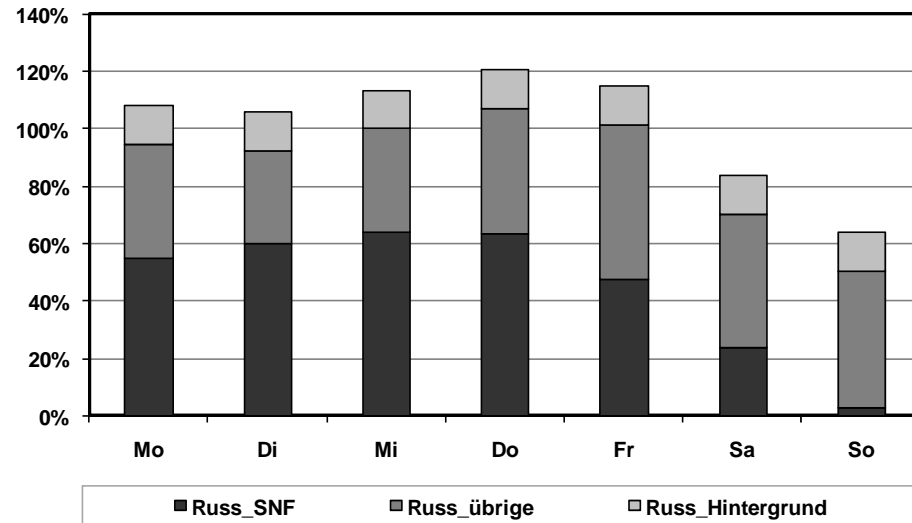
Relativer Wochengang NOx, Erstfeld 2005



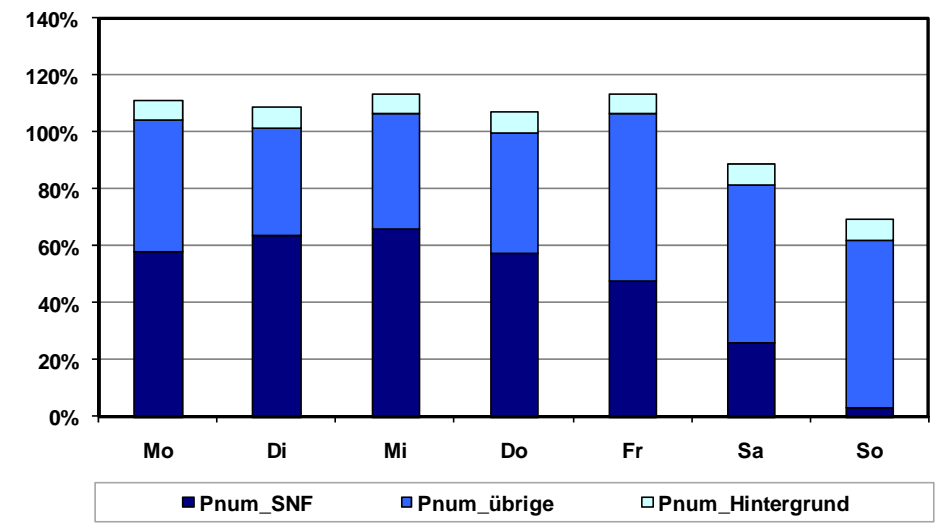
Relativer Wochengang für NO₂, Erstfeld 2005

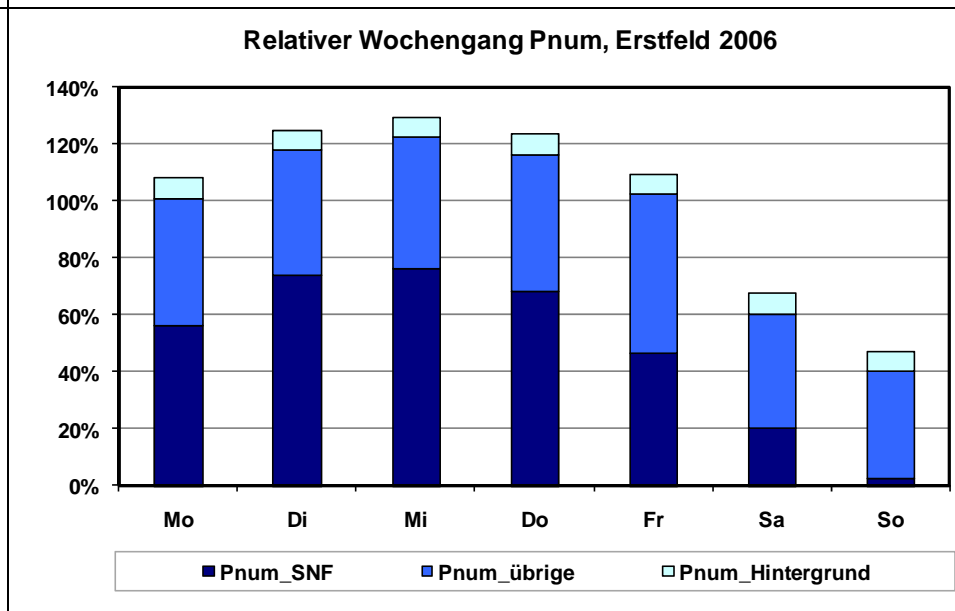
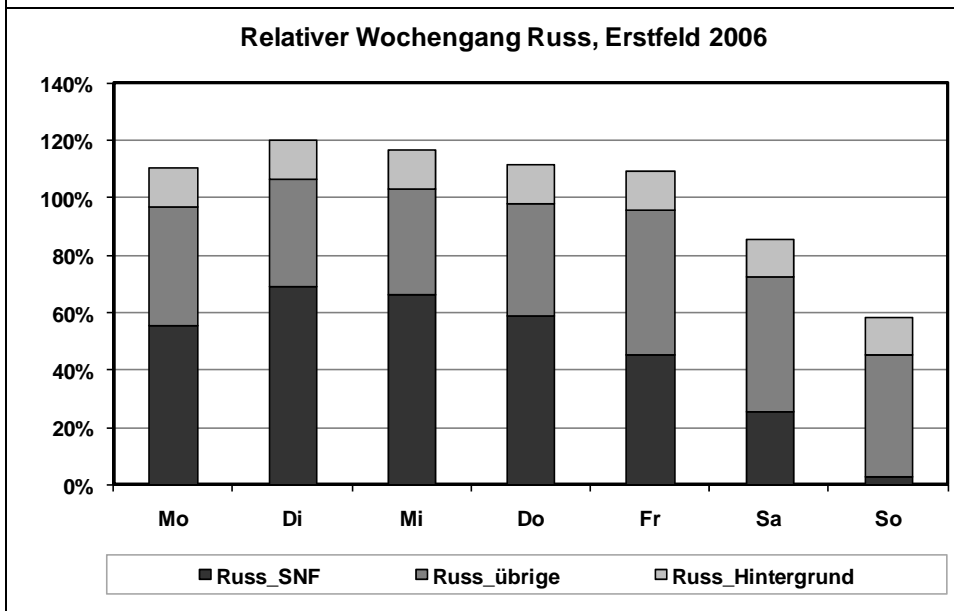
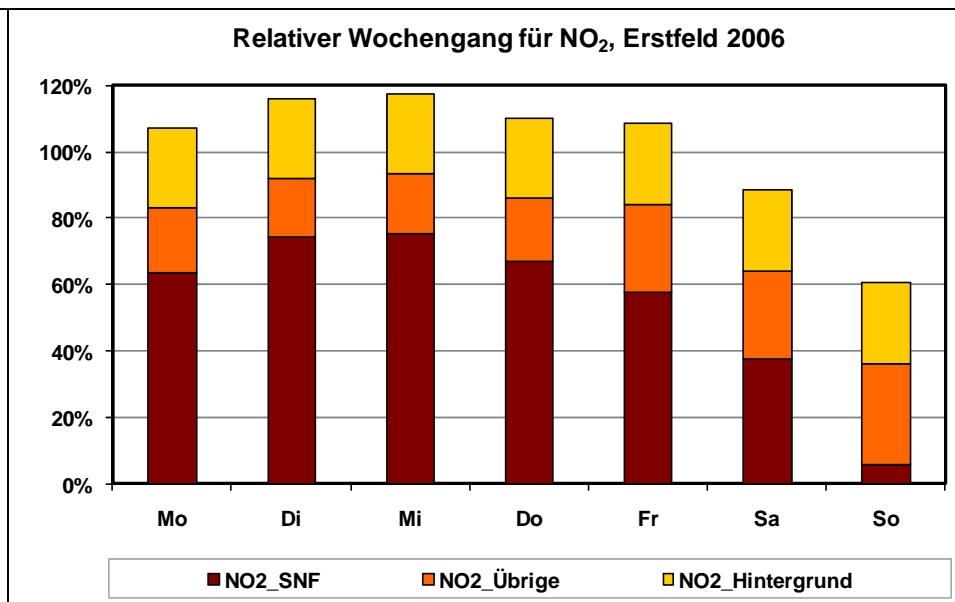
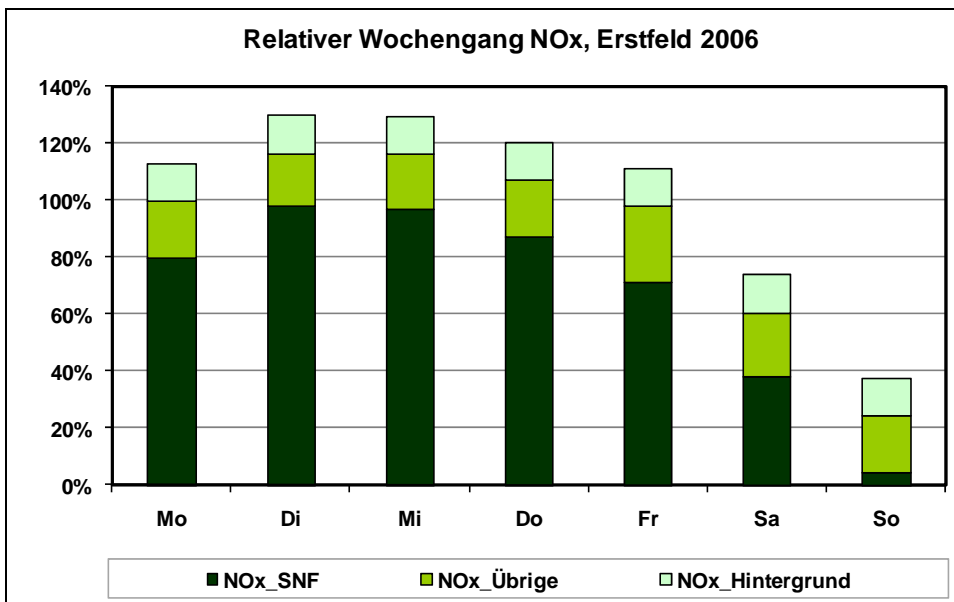


Relativer Wochengang Russ, Erstfeld 2005

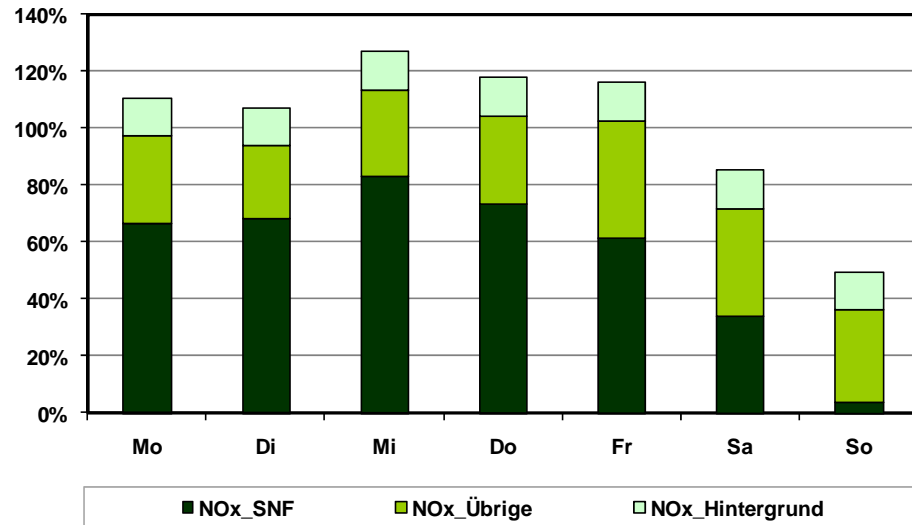


Relativer Wochengang Pnum, Erstfeld 2005

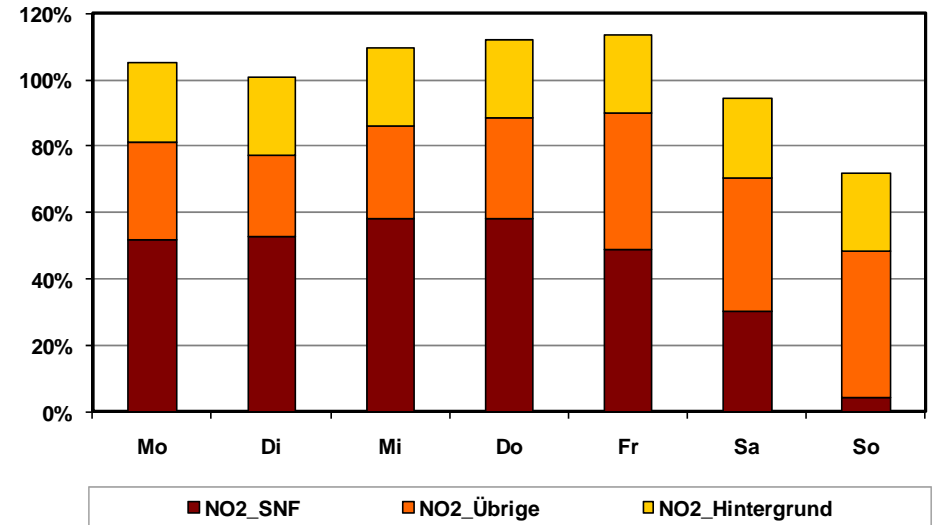




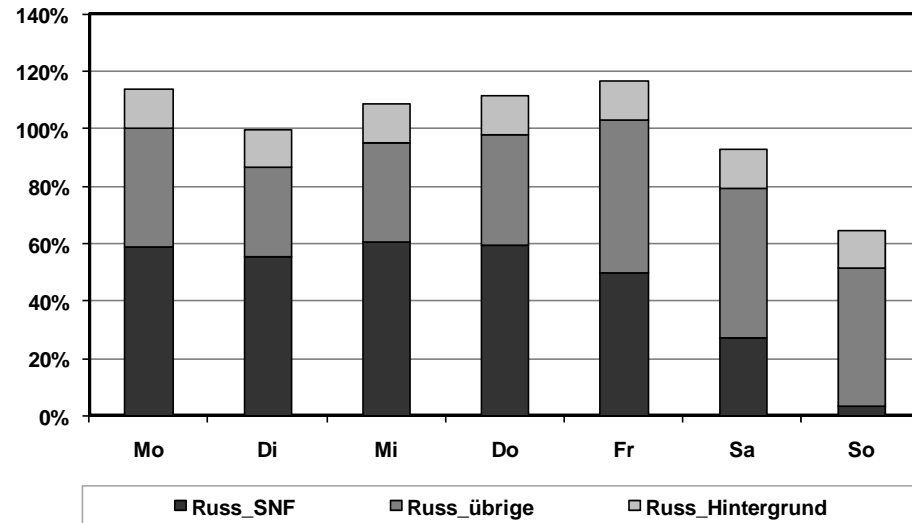
Relativer Wochengang NOx, Erstfeld 2007



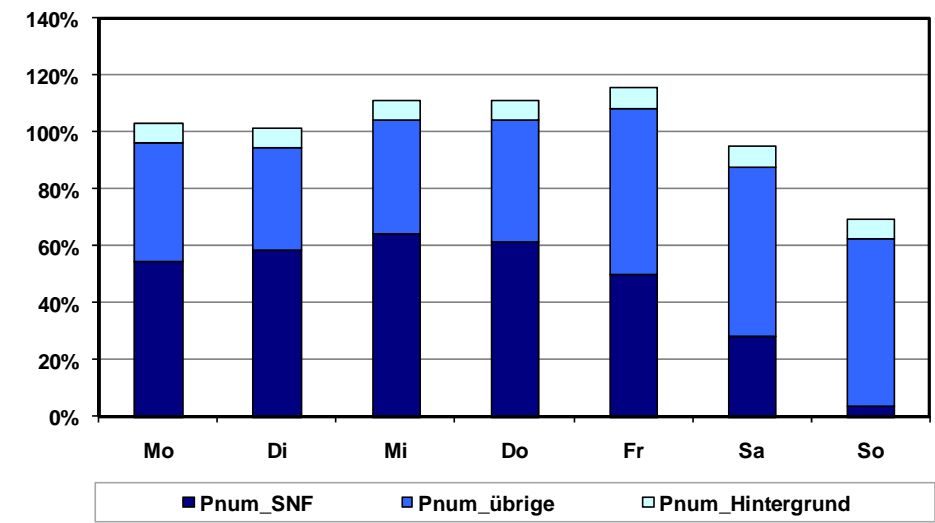
Relativer Wochengang für NO₂, Erstfeld 2007

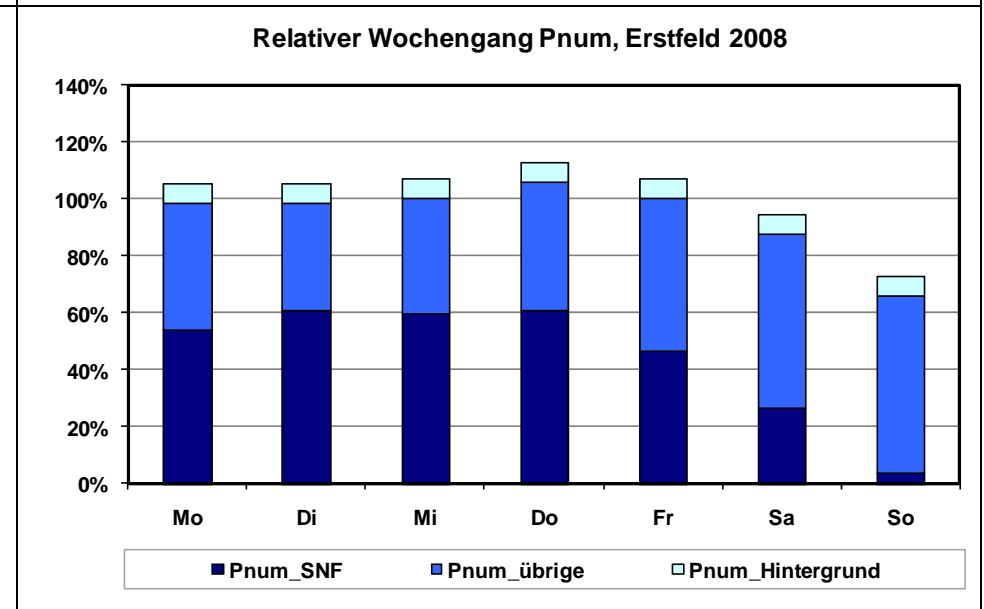
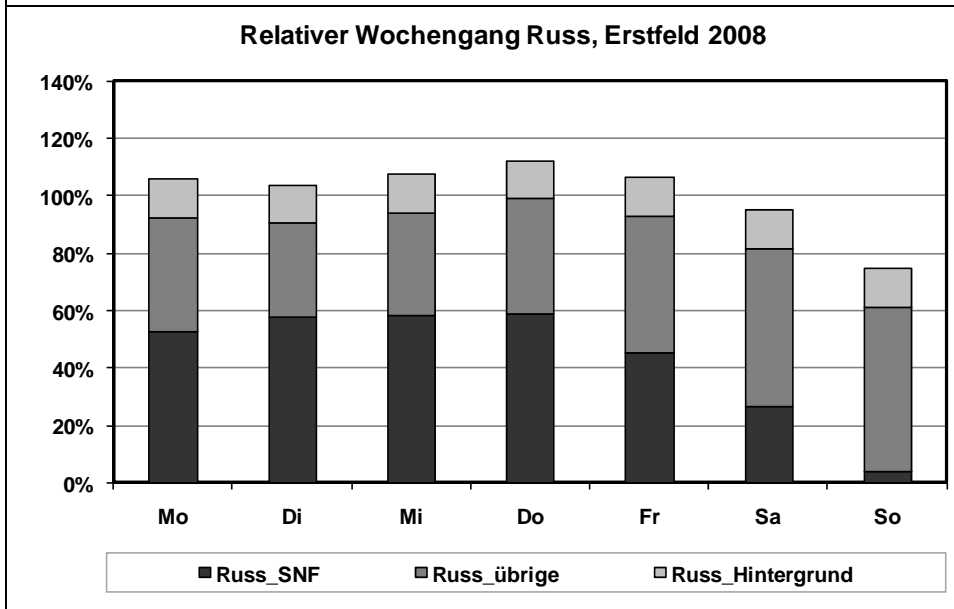
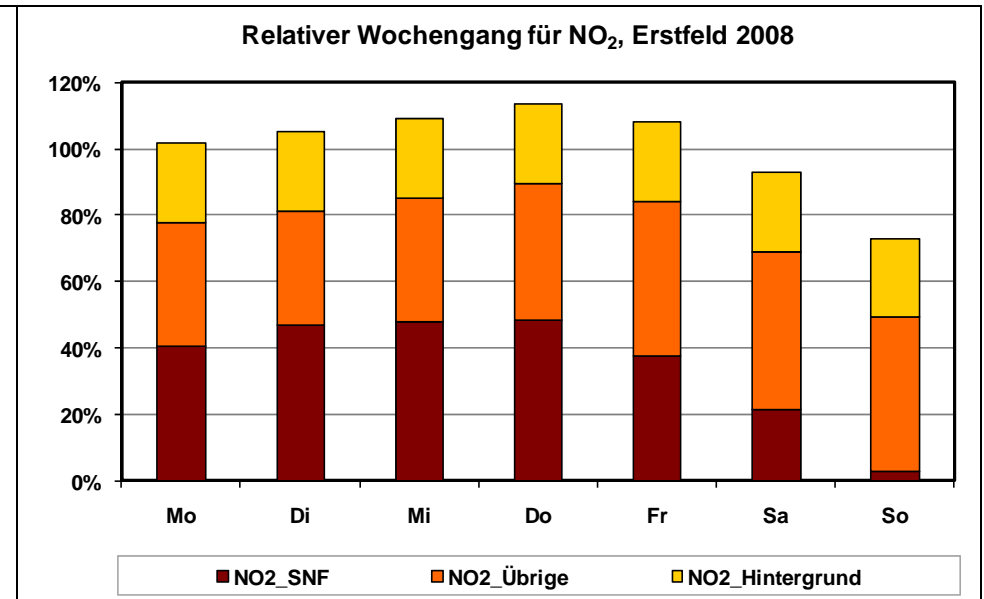
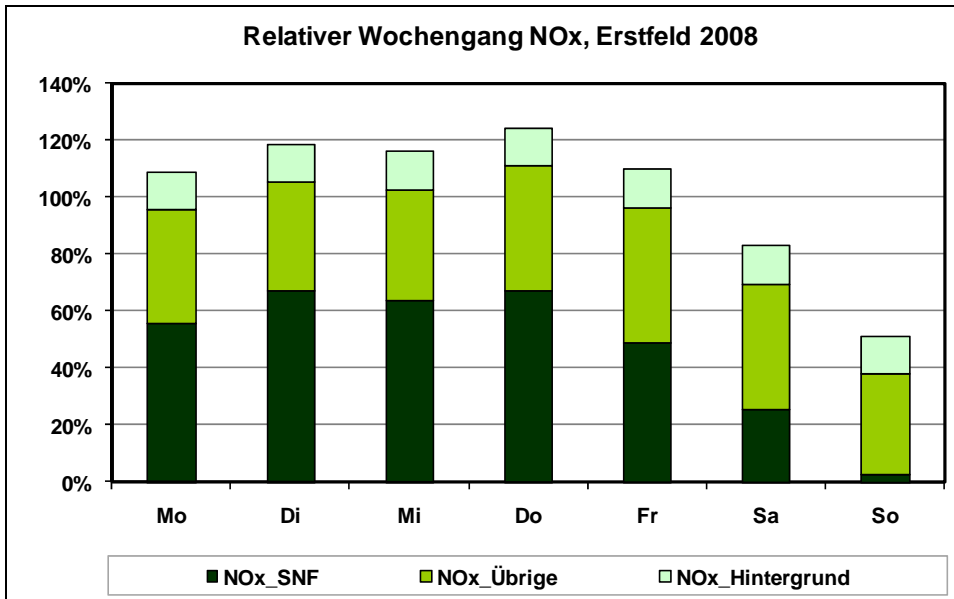


Relativer Wochengang Russ, Erstfeld 2007

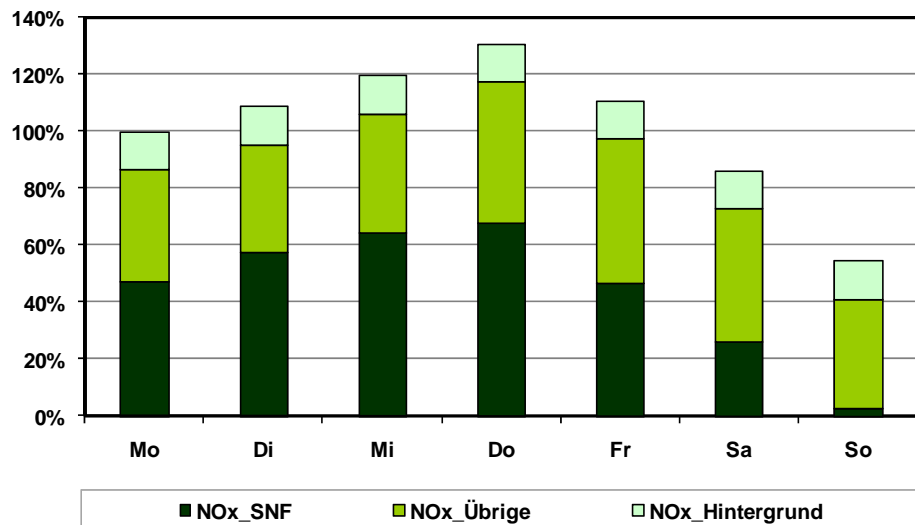


Relativer Wochengang Pnum, Erstfeld 2007

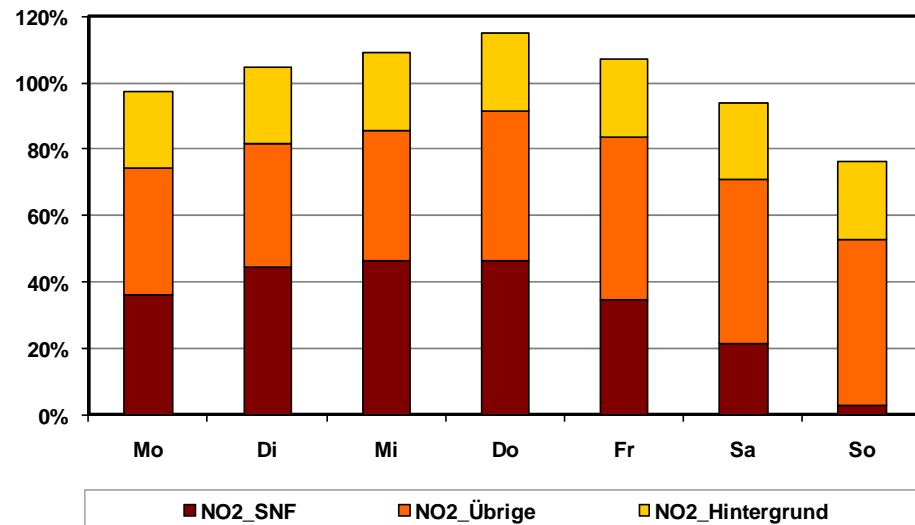




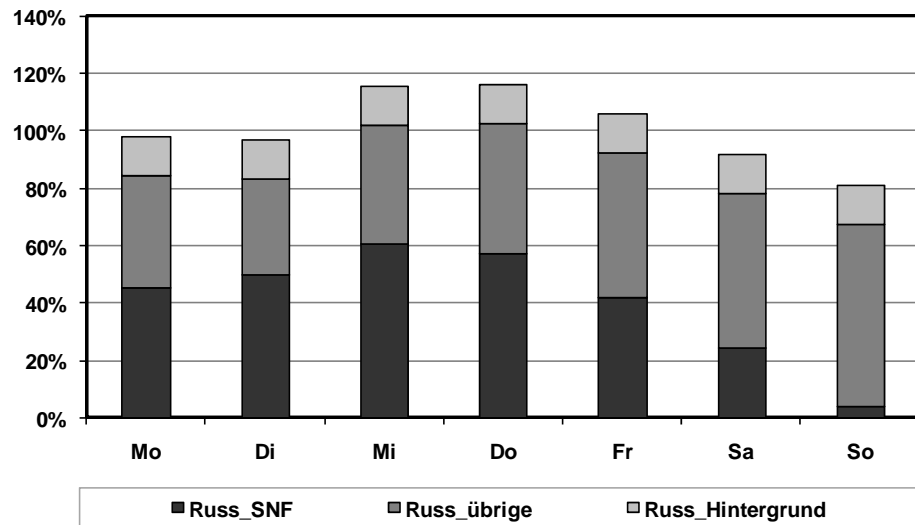
Relativer Wochengang NOx, Erstfeld 2009



Relativer Wochengang für NO₂, Erstfeld 2009

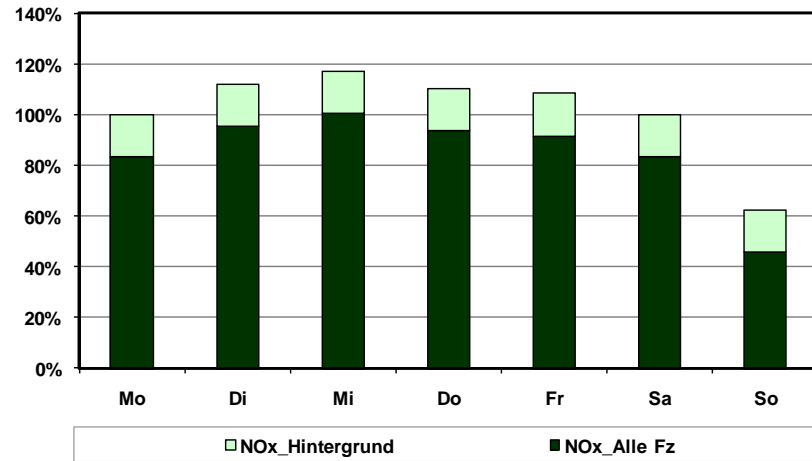


Relativer Wochengang Russ, Erstfeld 2009

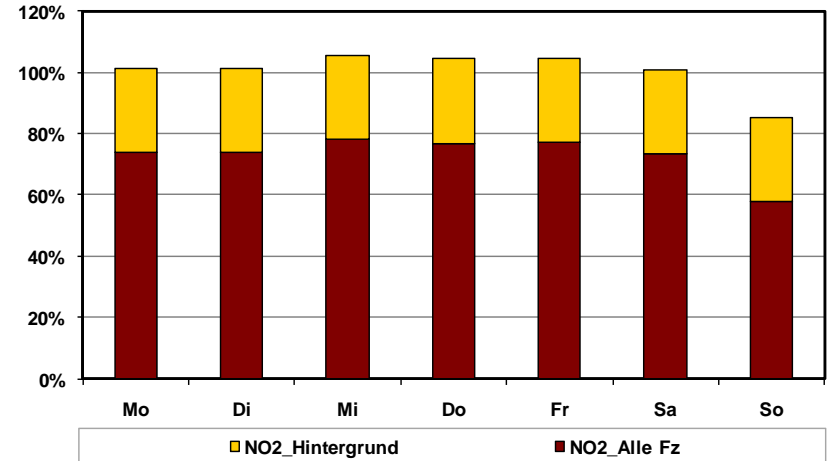


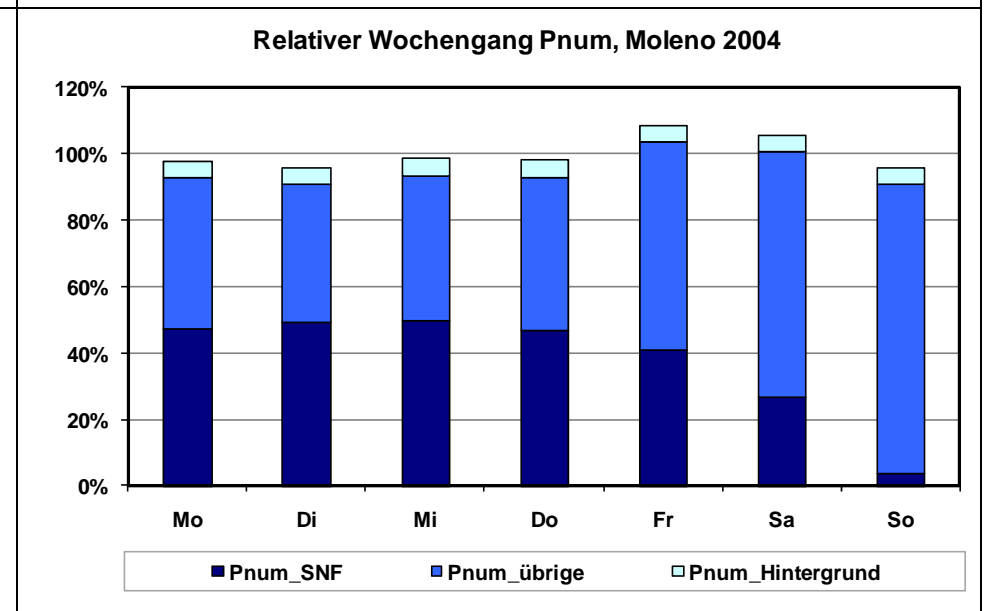
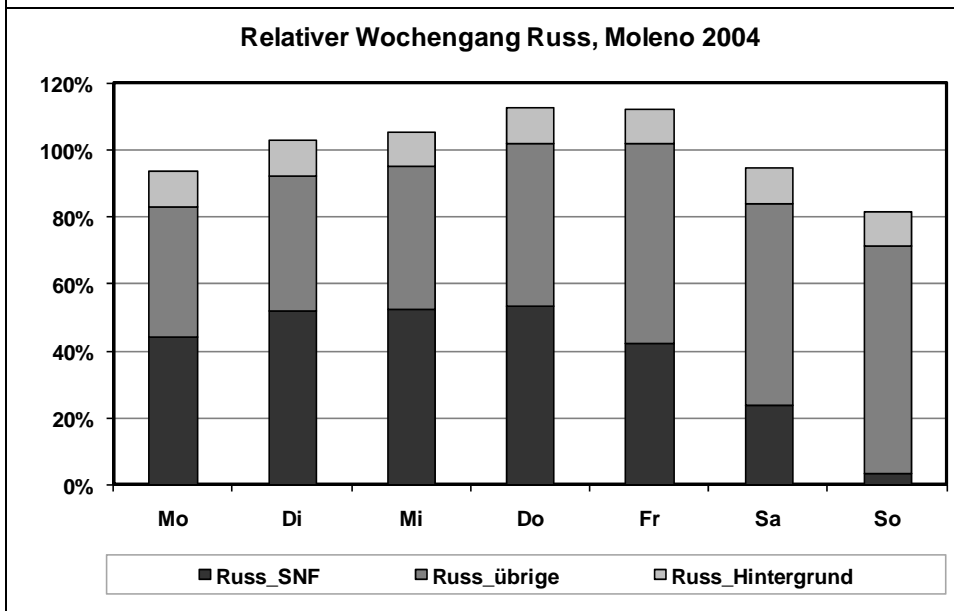
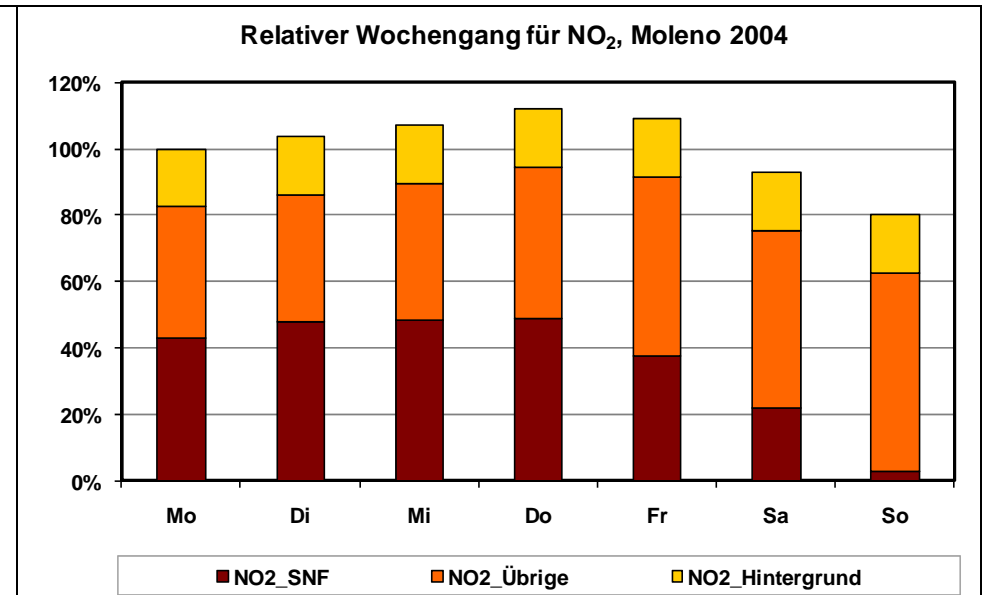
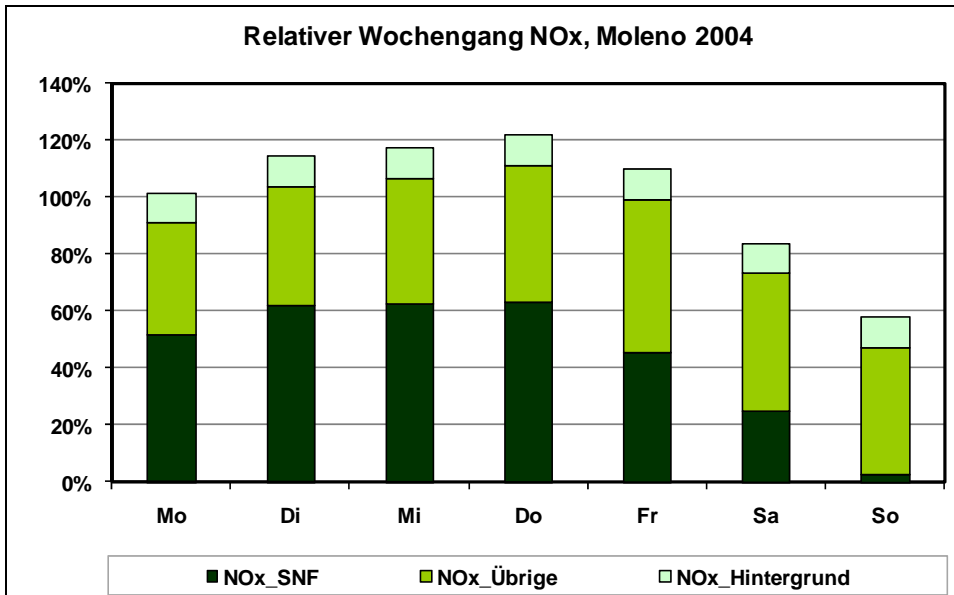
9.2. Immissionen Moleno 2003 – 2009

Relativer Wochengang NOx, Moleno 2003

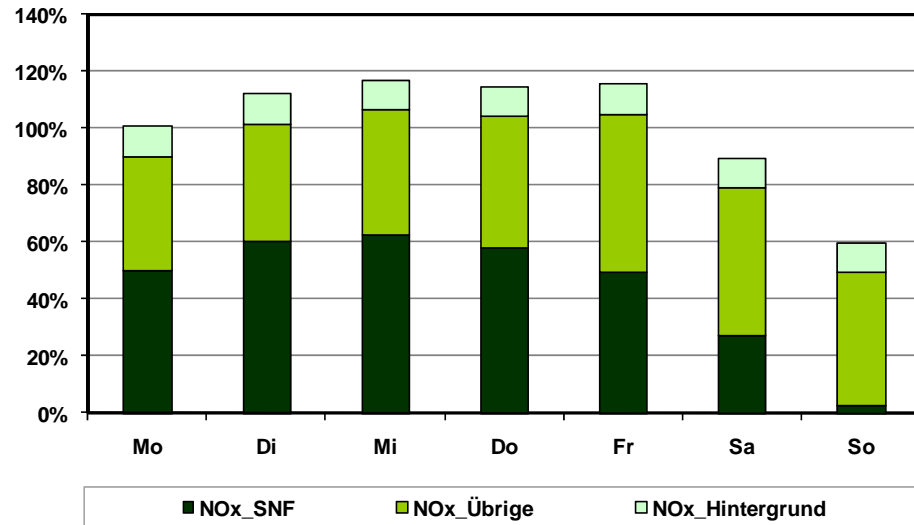


Relativer Wochengang für NO₂, Moleno 2003

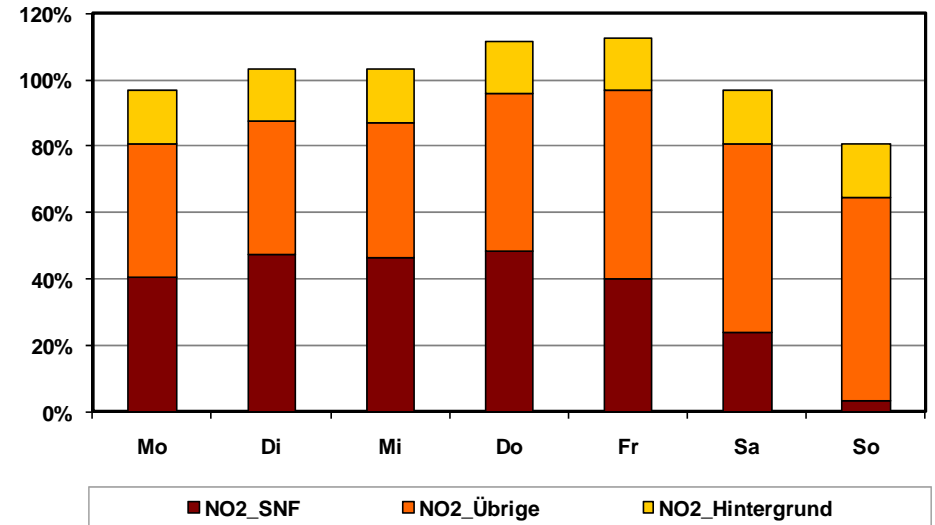




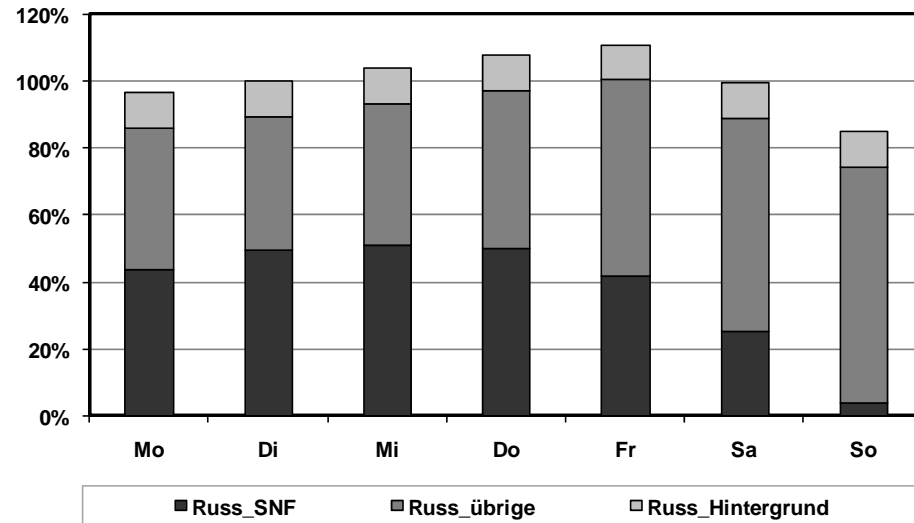
Relativer Wochengang NOx, Moleno 2005



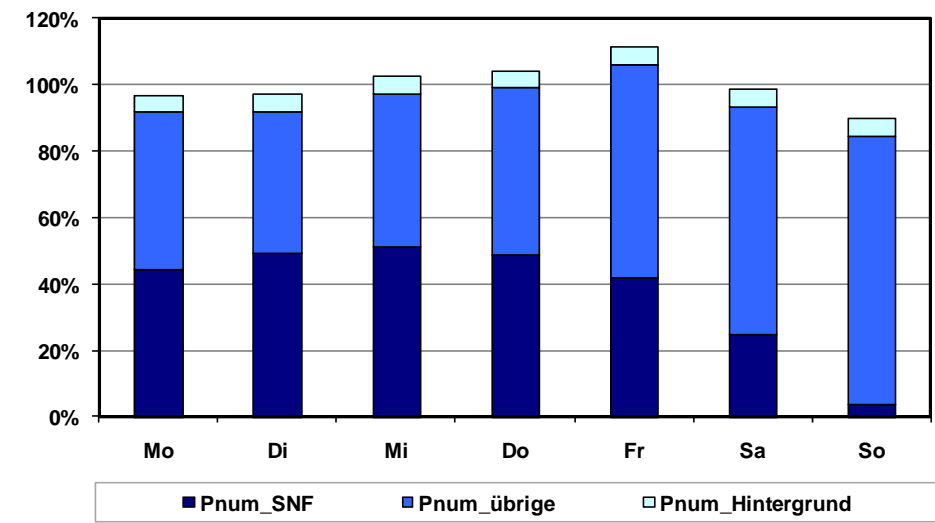
Relativer Wochengang für NO₂, Moleno 2005



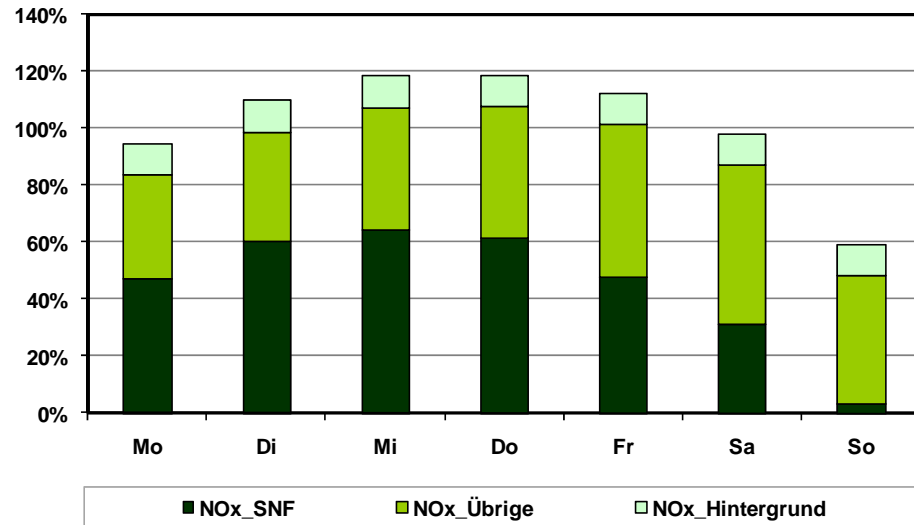
Relativer Wochengang Russ, Moleno 2005



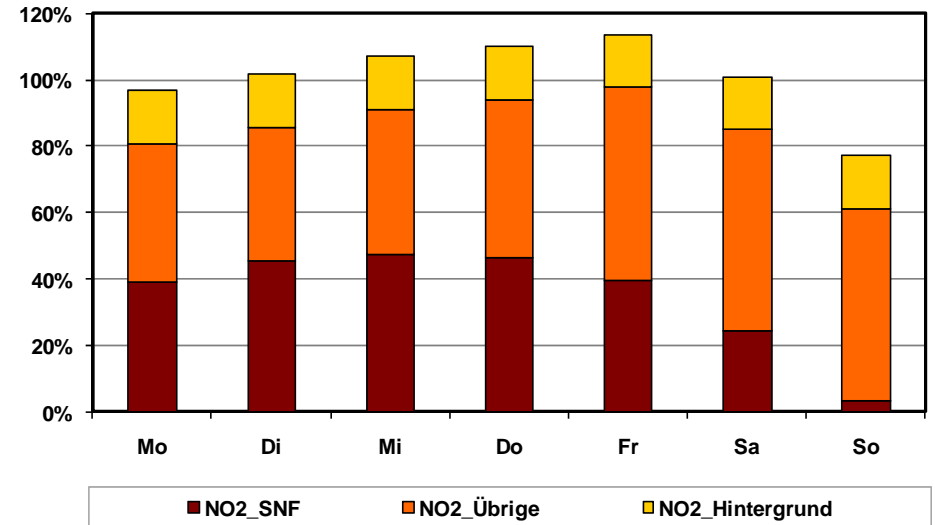
Relativer Wochengang Pnum, Moleno 2005



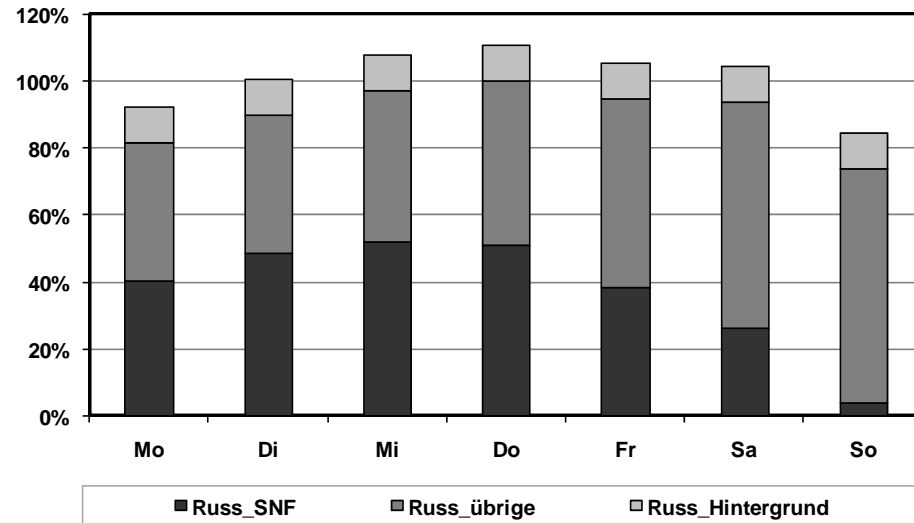
Relativer Wochengang NOx, Moleno 2006



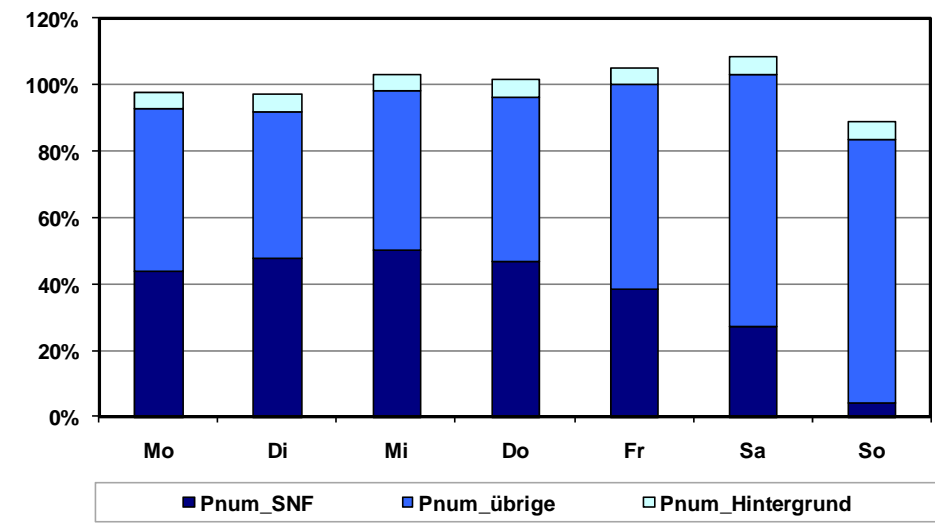
Relativer Wochengang für NO₂, Moleno 2006

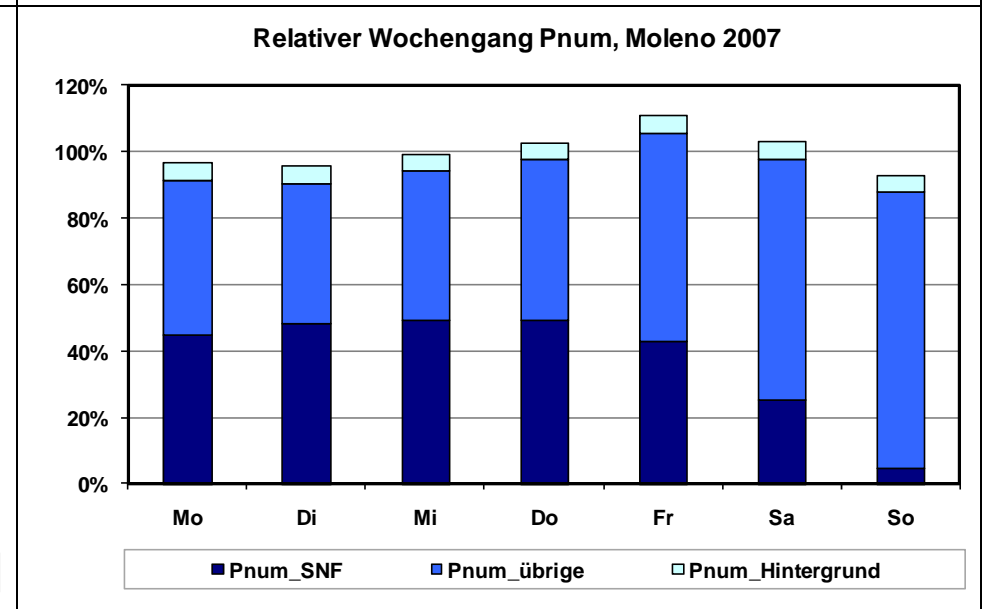
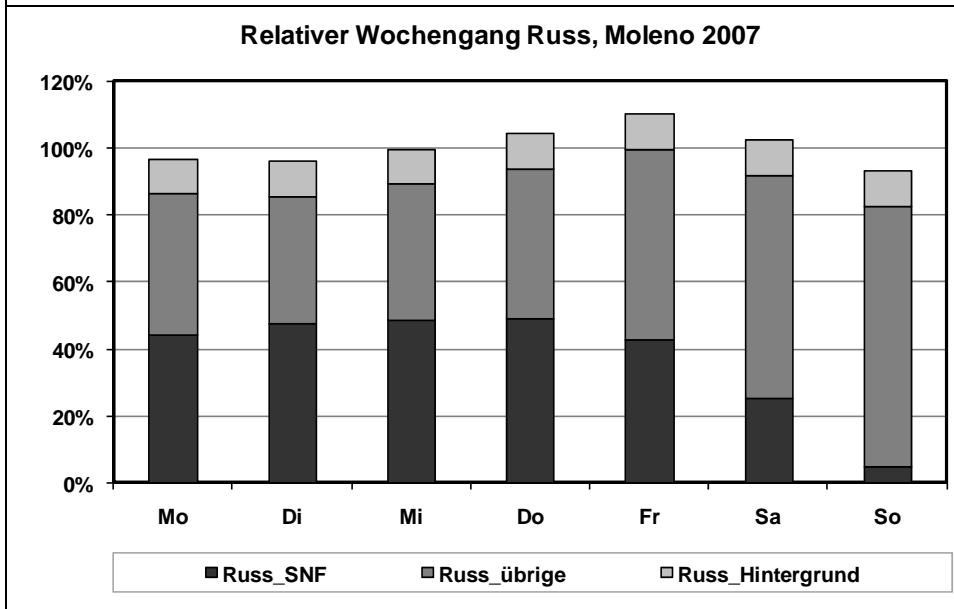
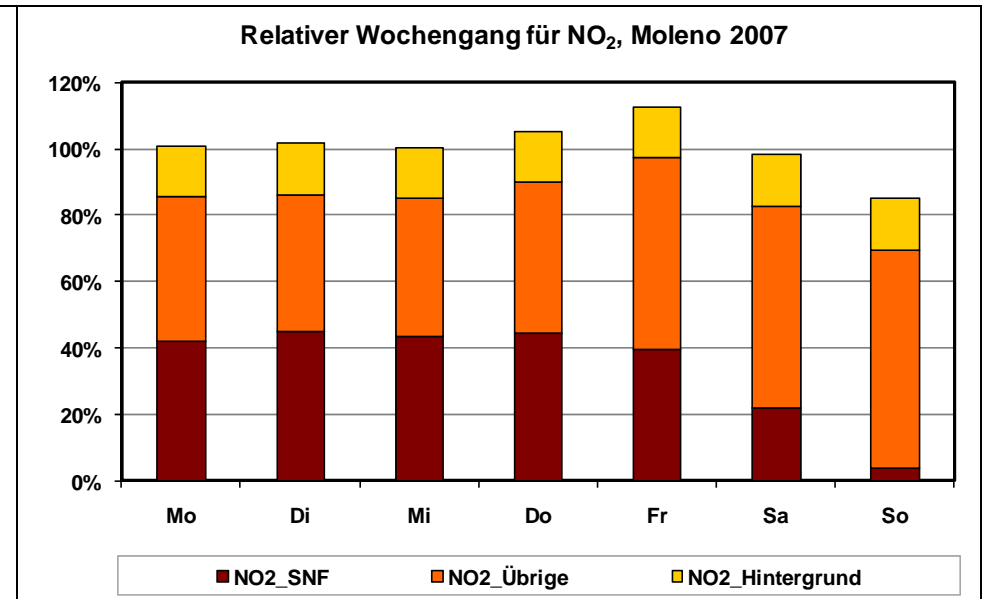
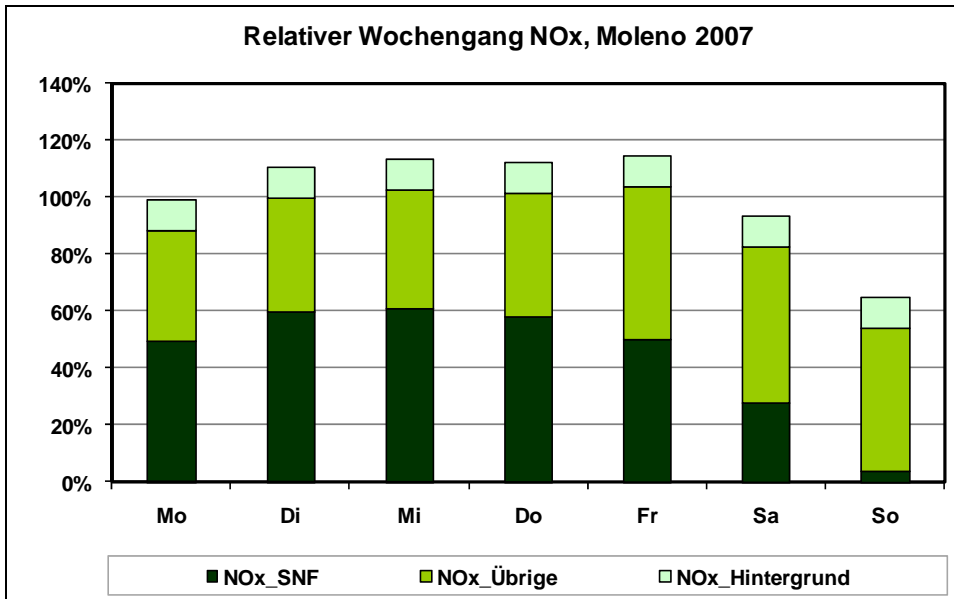


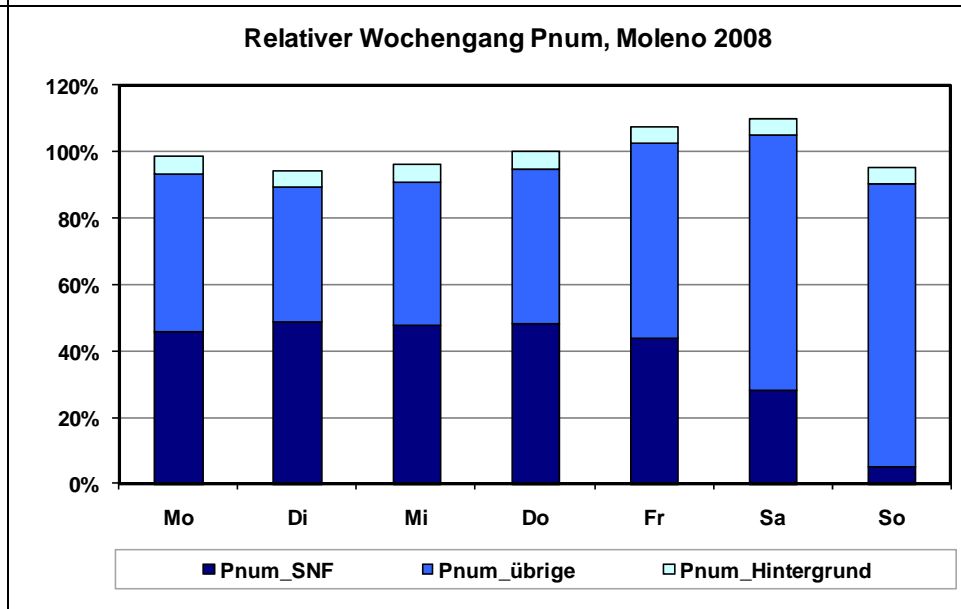
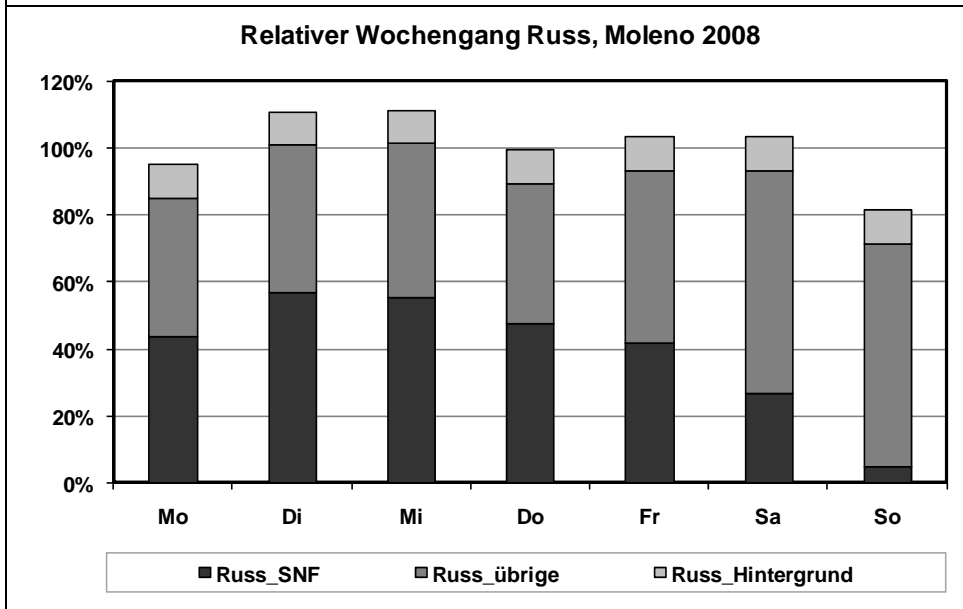
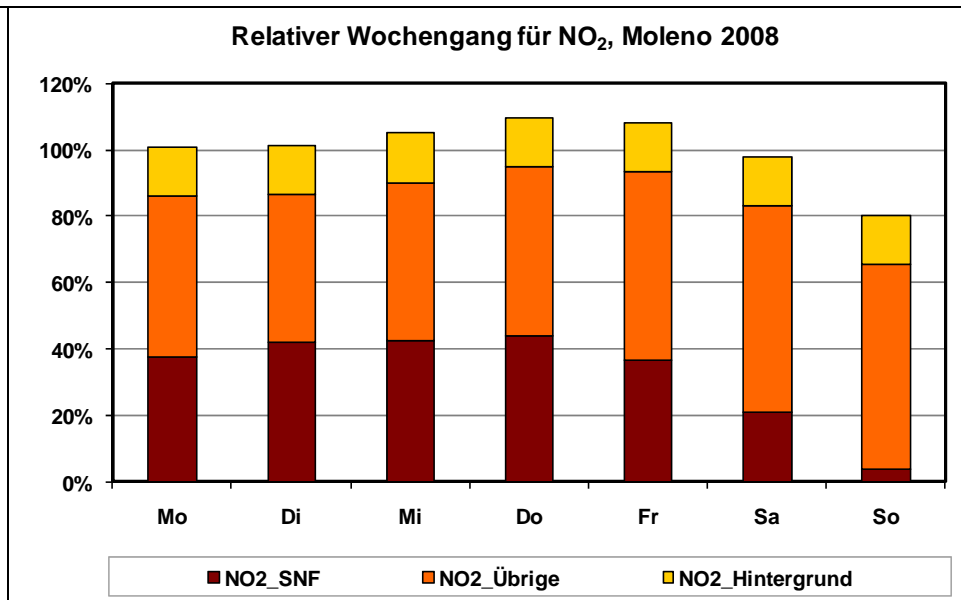
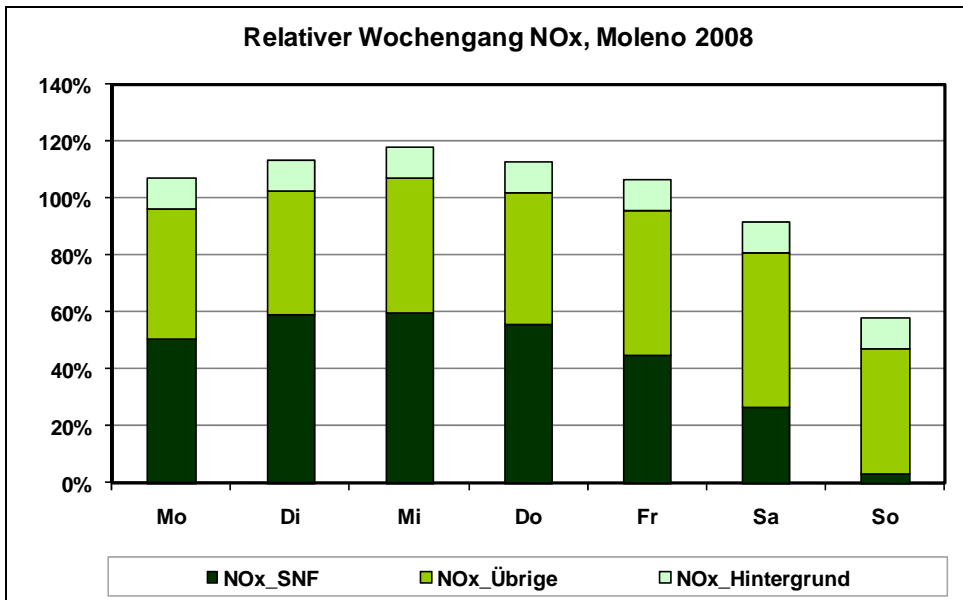
Relativer Wochengang Russ, Moleno 2006



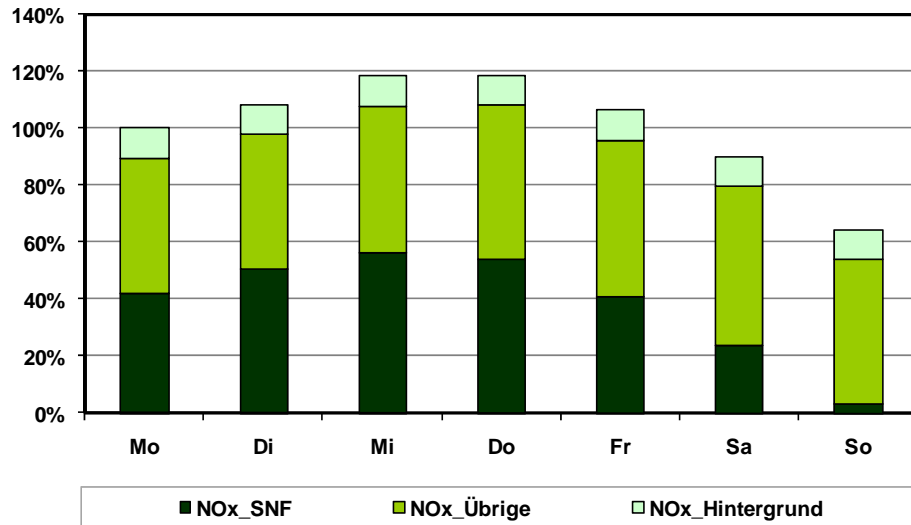
Relativer Wochengang Pnum, Moleno 2006



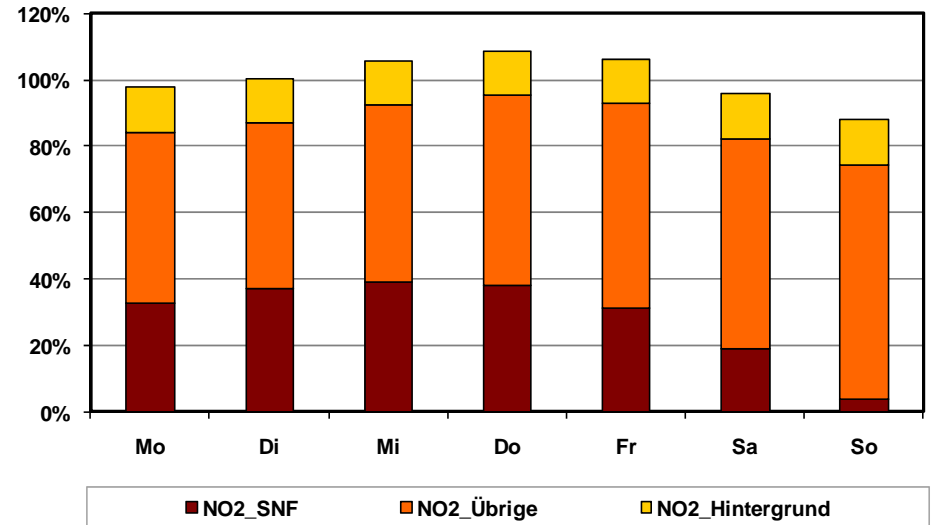




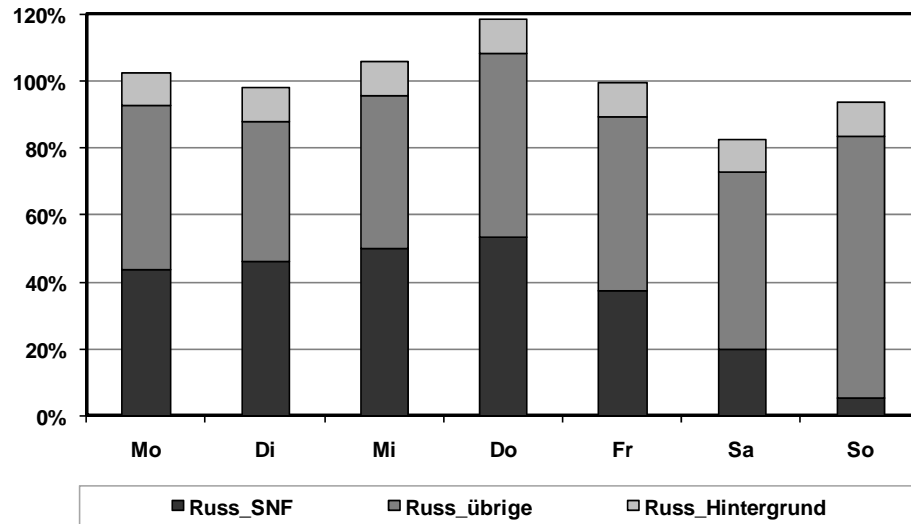
Relativer Wochengang NOx, Moleno 2009



Relativer Wochengang für NO₂, Moleno 2009

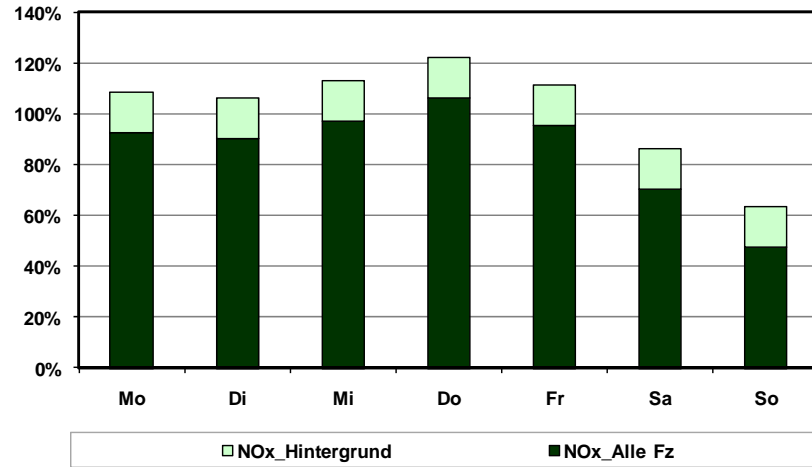


Relativer Wochengang Russ, Moleno 2009

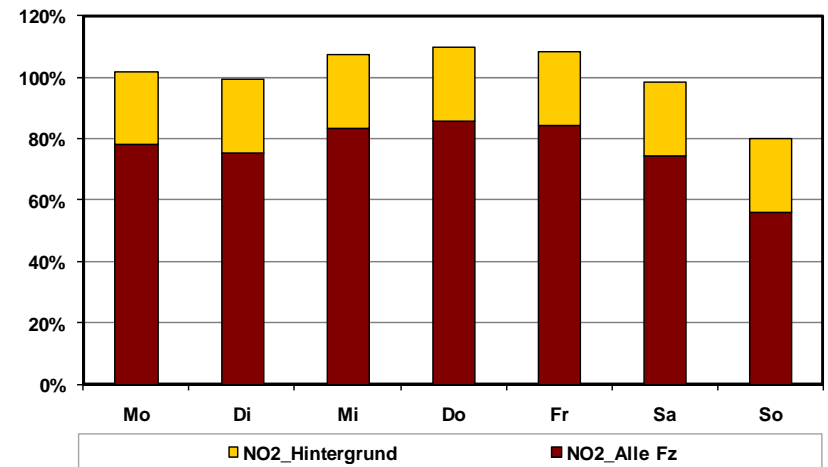


9.3. Immissionen Rothenbrunnen 2003 – 2009

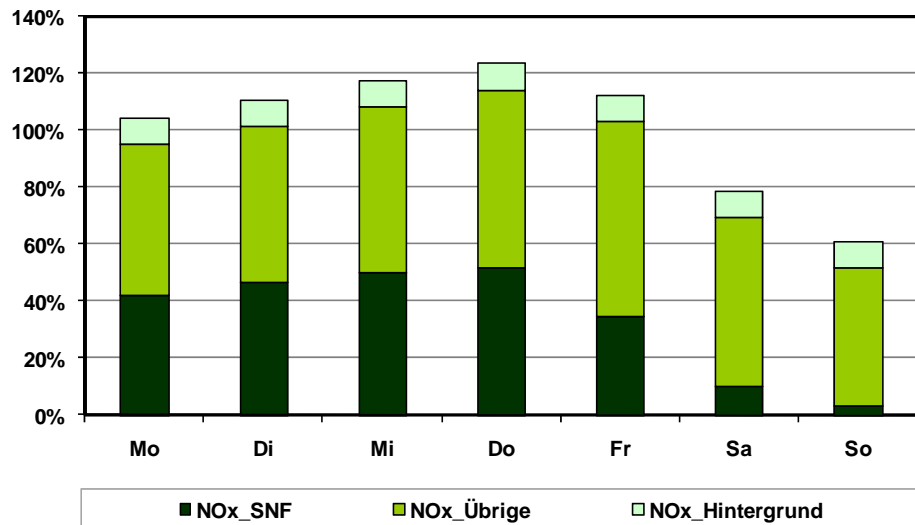
Relativer Wochengang NOx, Rothenbrunnen 2003



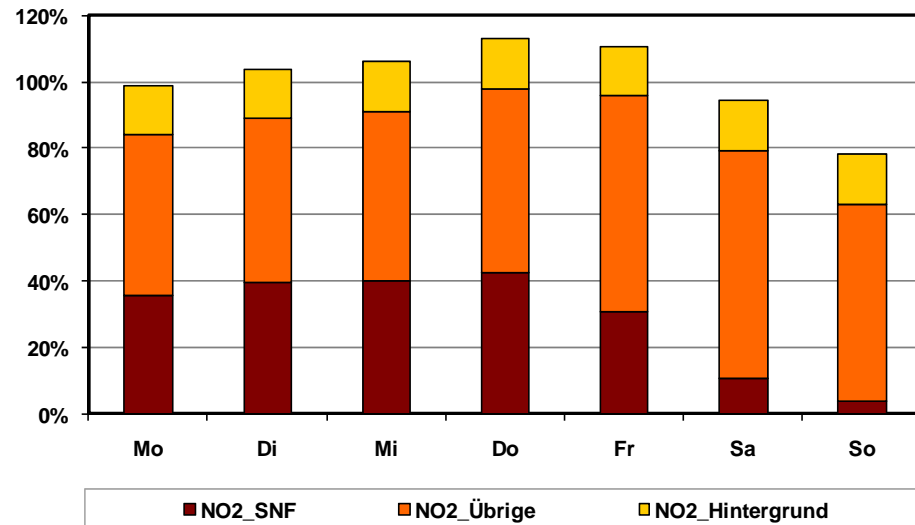
Relativer Wochengang für NO₂, Rothenbrunnen 2003



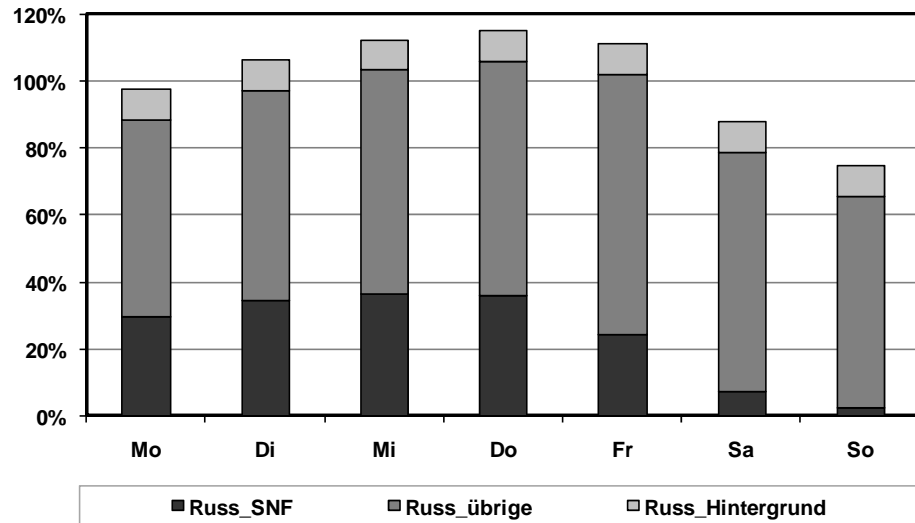
Relativer Wochengang NOx, Rothenbrunnen 2004



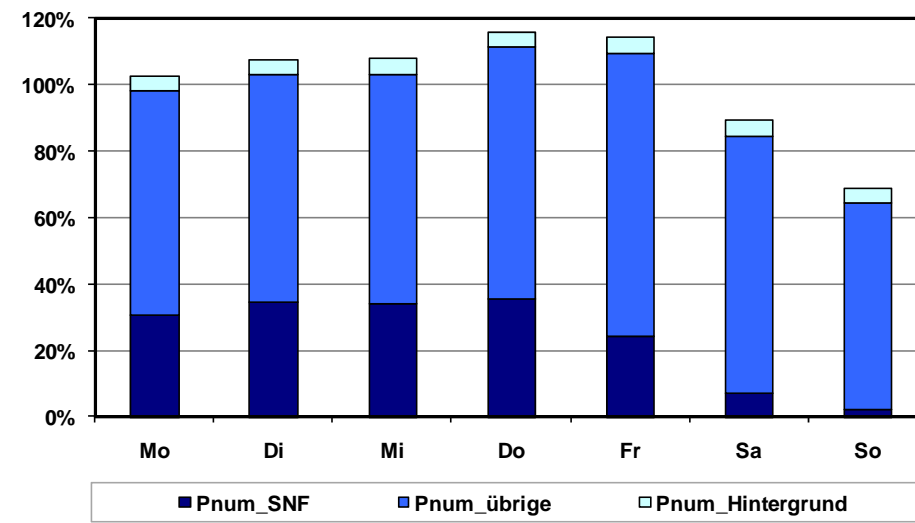
Relativer Wochengang für NO₂, Rothenbrunnen 2004



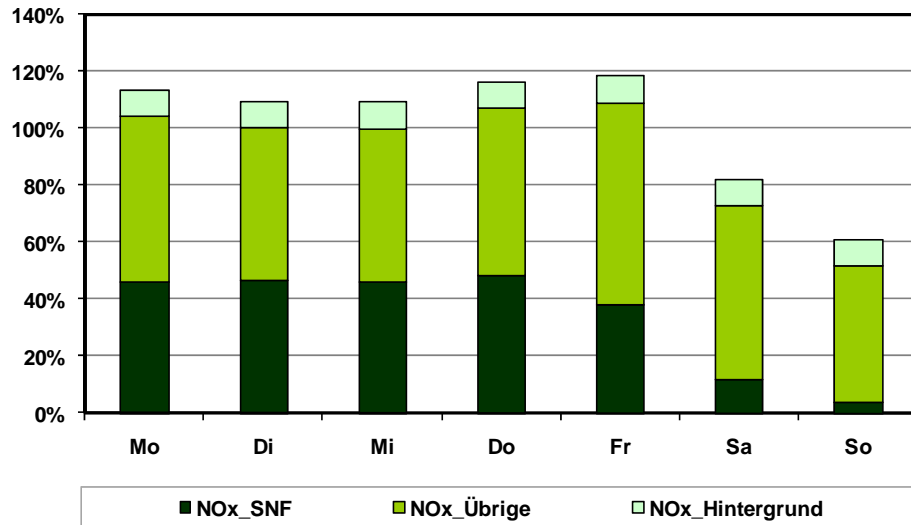
Relativer Wochengang Russ, Rothenbrunnen 2004



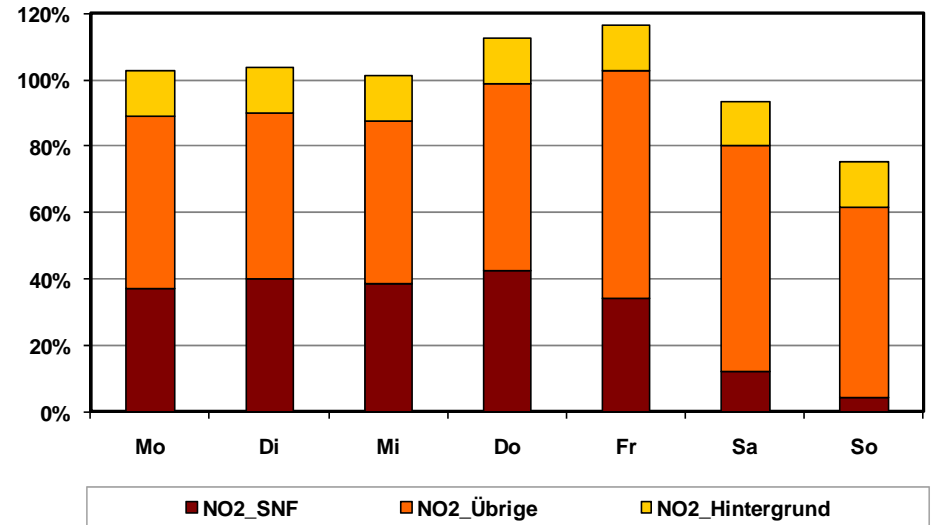
Relativer Wochengang Pnum, Rothenbrunnen 2004



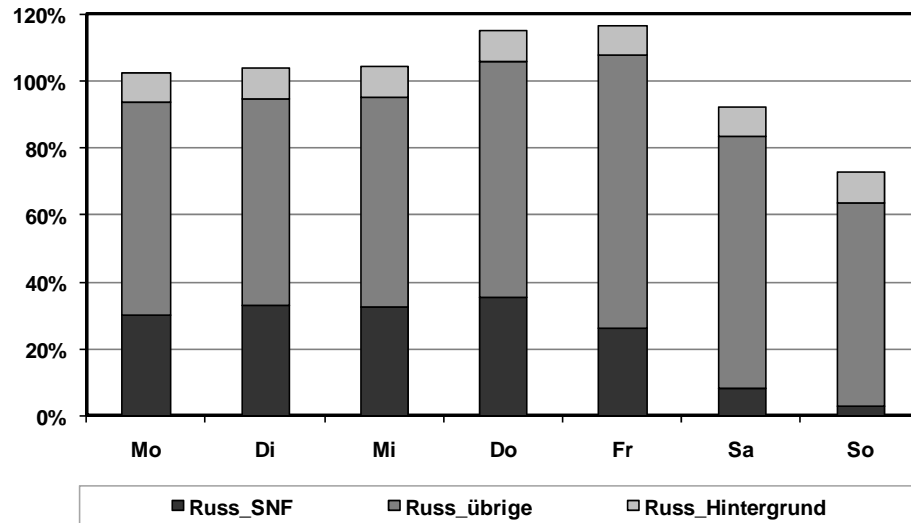
Relativer Wochengang NOx, Rothenbrunnen 2005



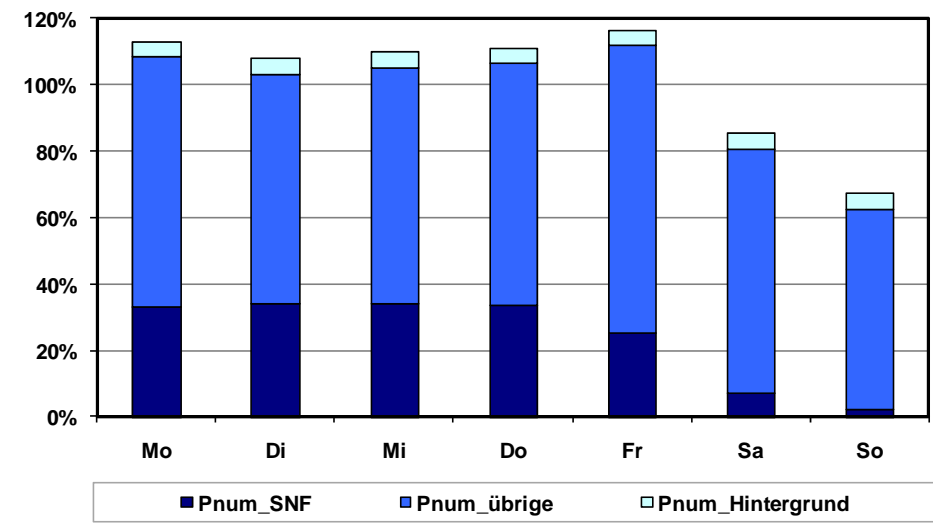
Relativer Wochengang für NO₂, Rothenbrunnen 2005

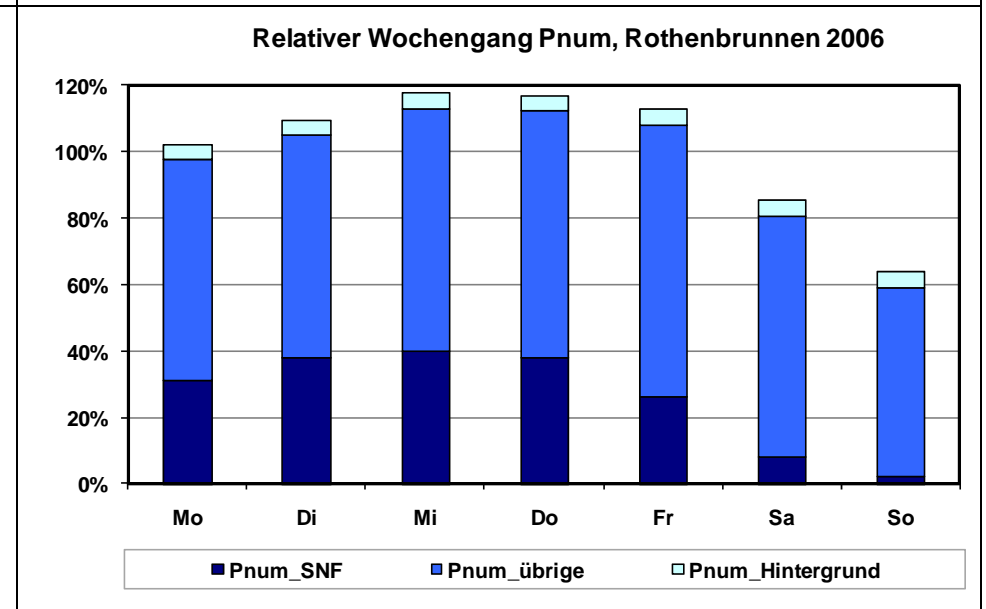
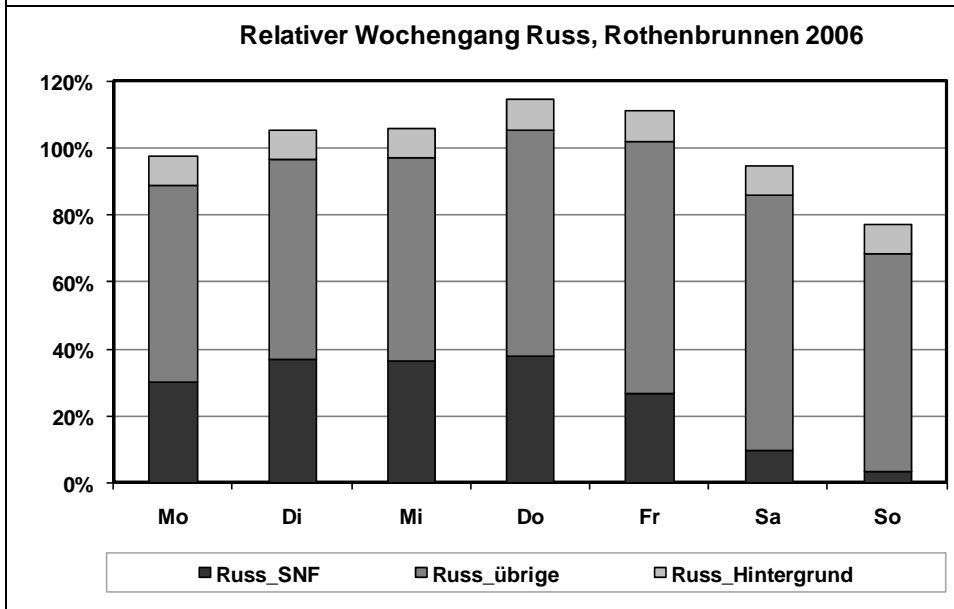
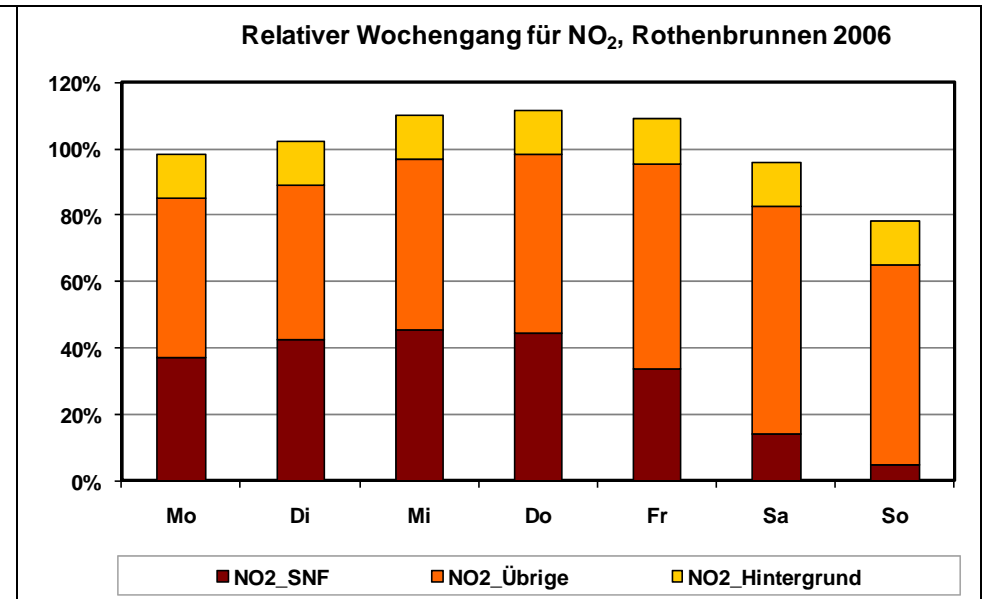
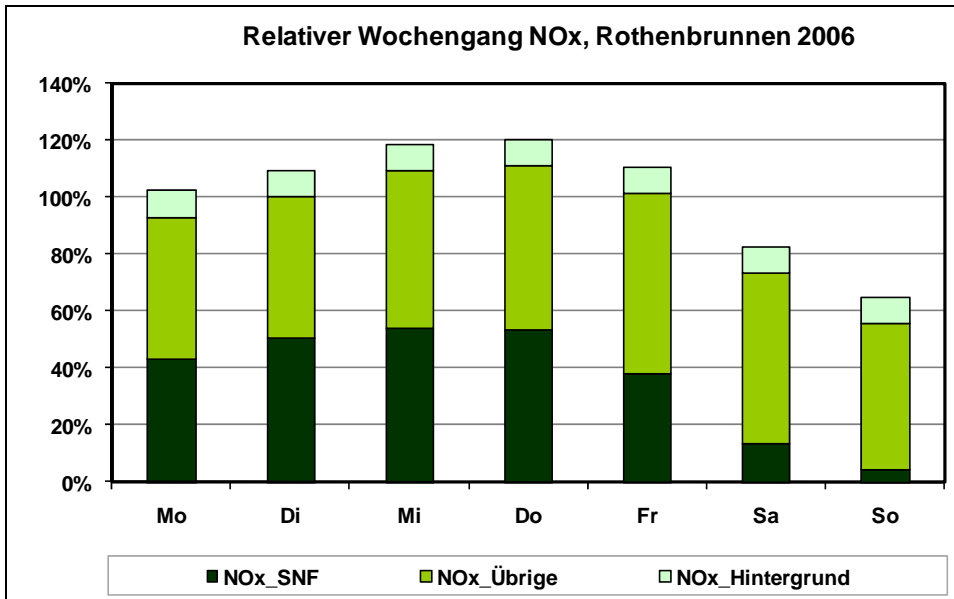


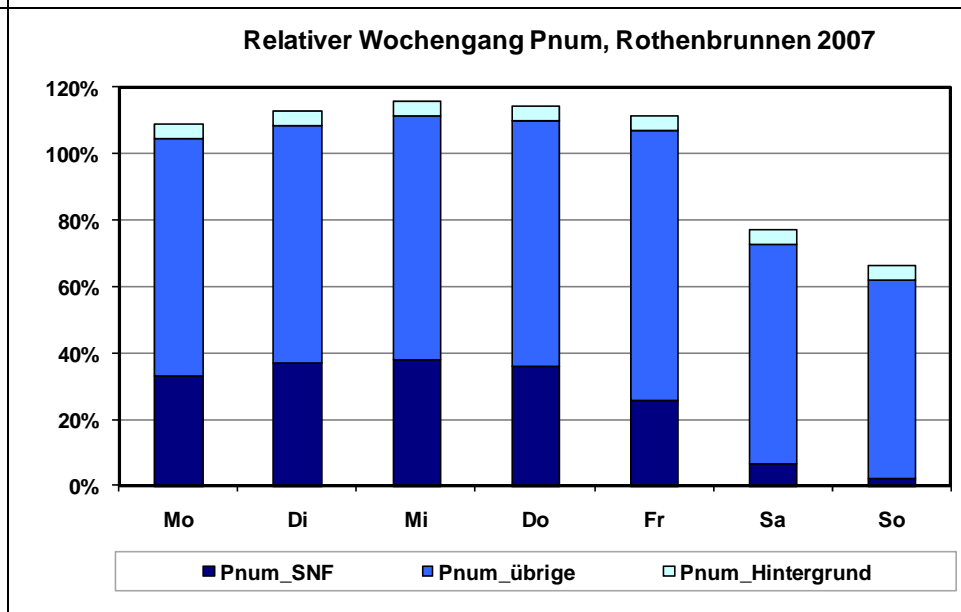
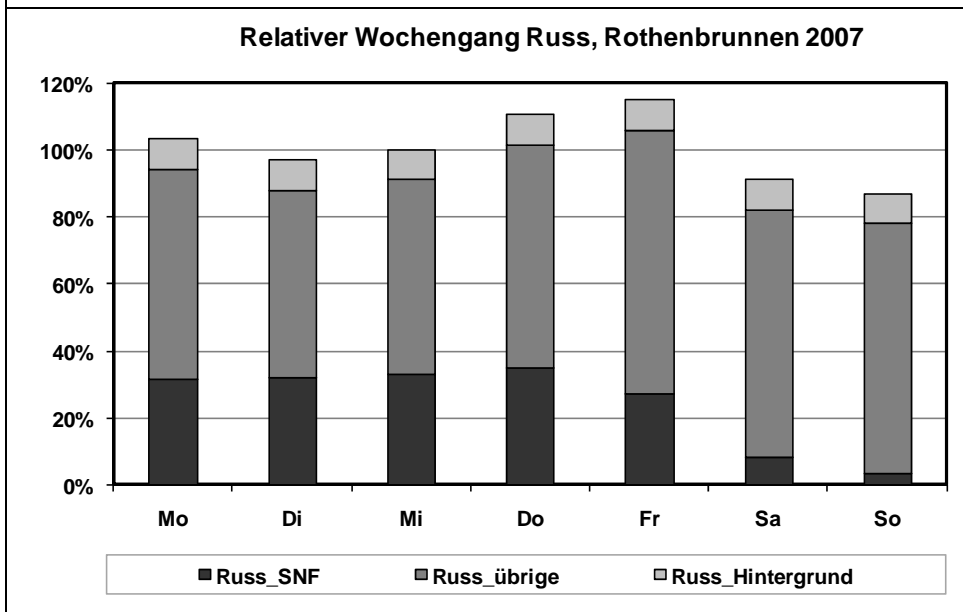
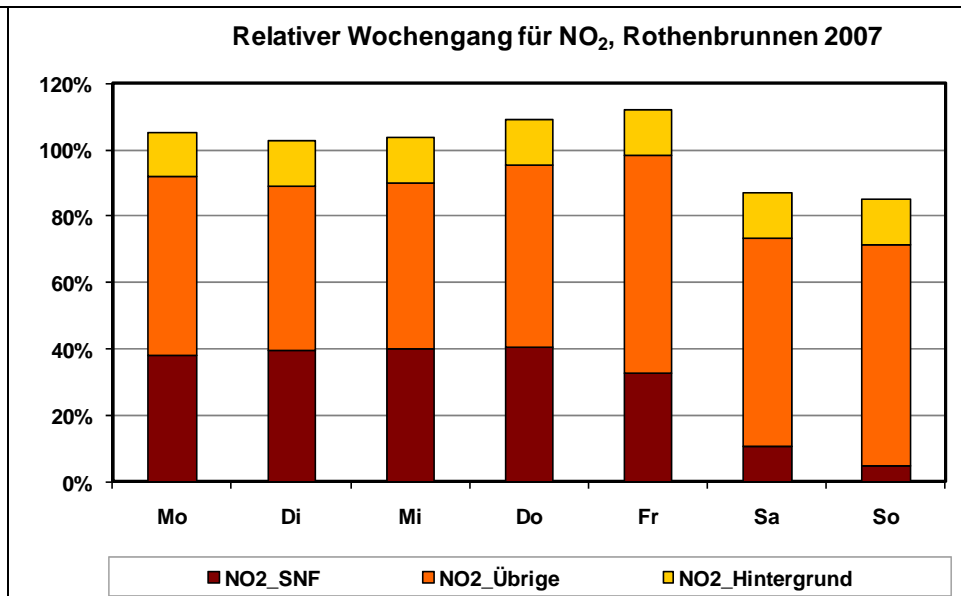
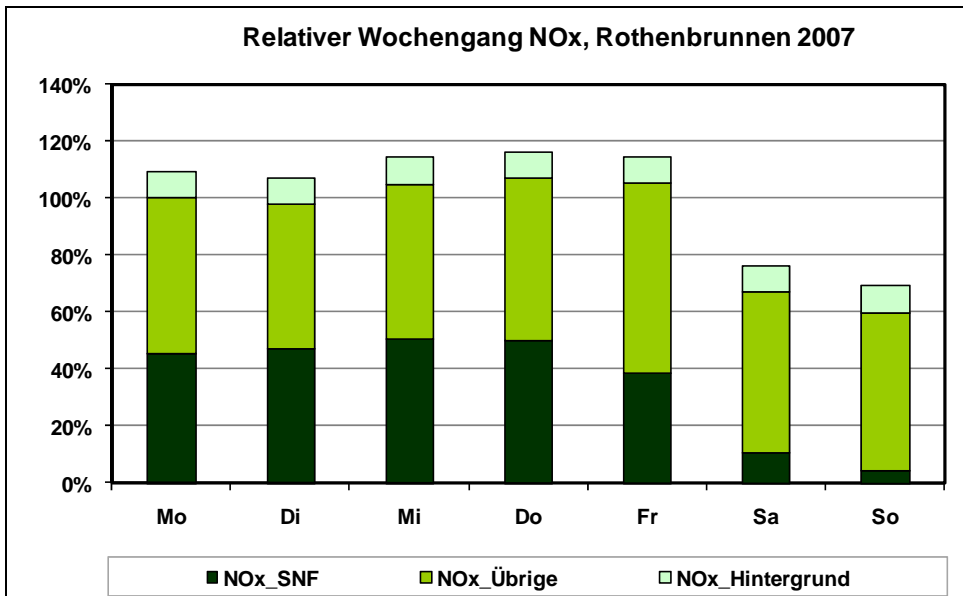
Relativer Wochengang Russ, Rothenbrunnen 2005

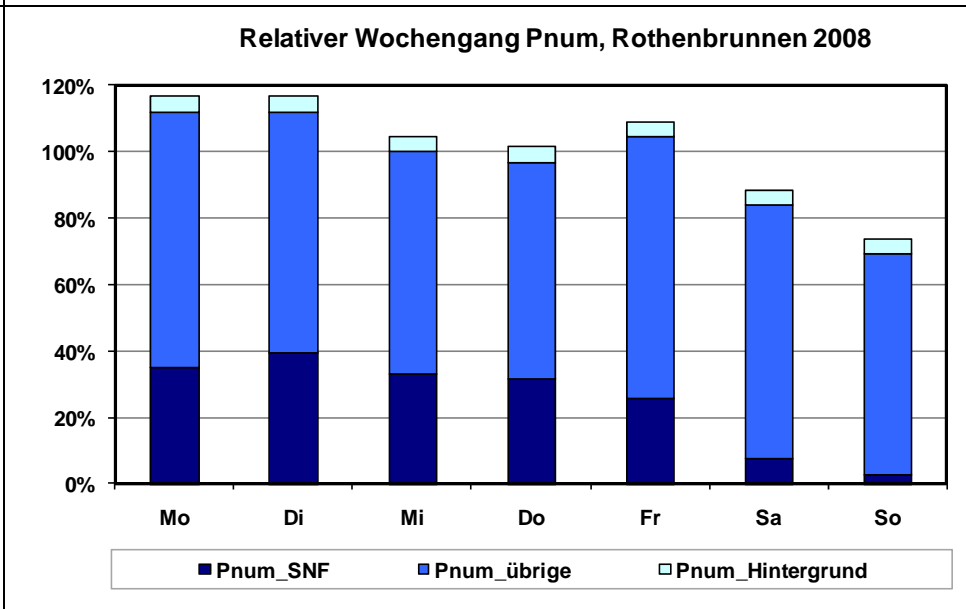
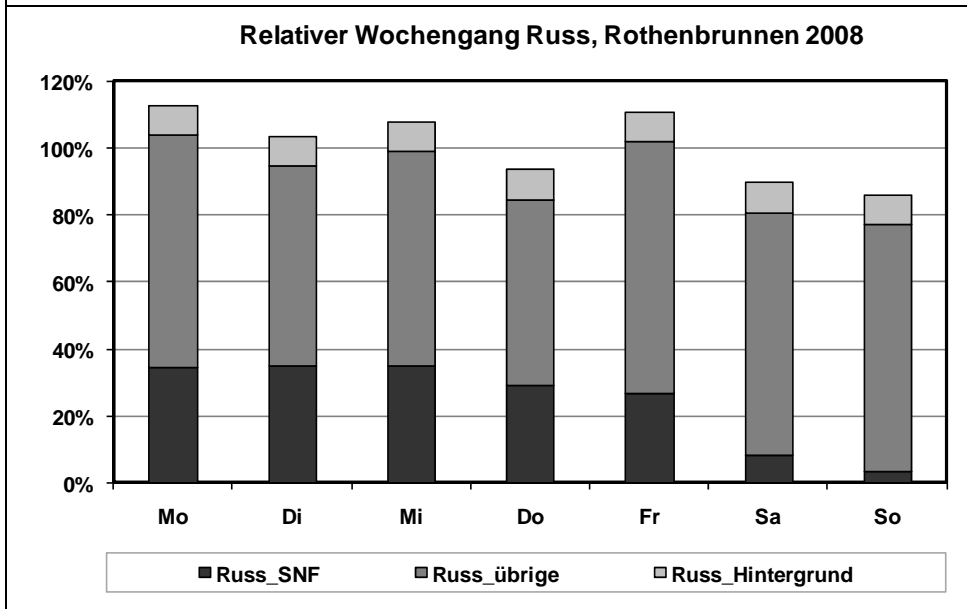
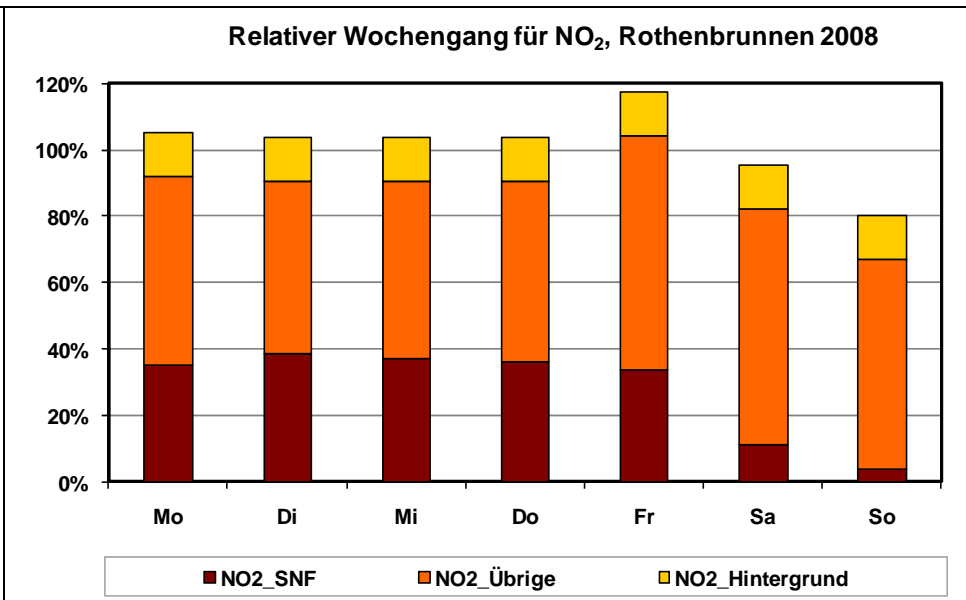
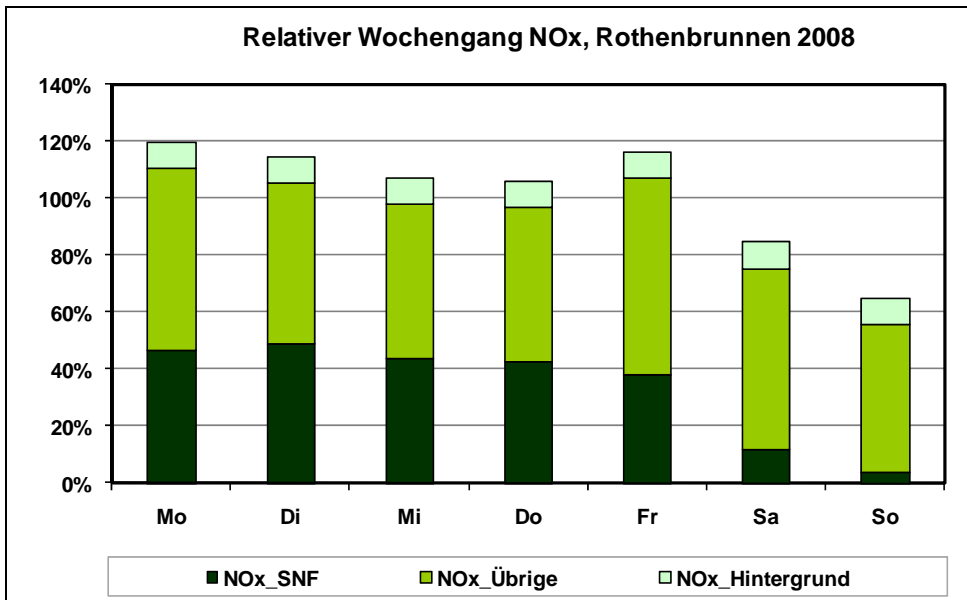


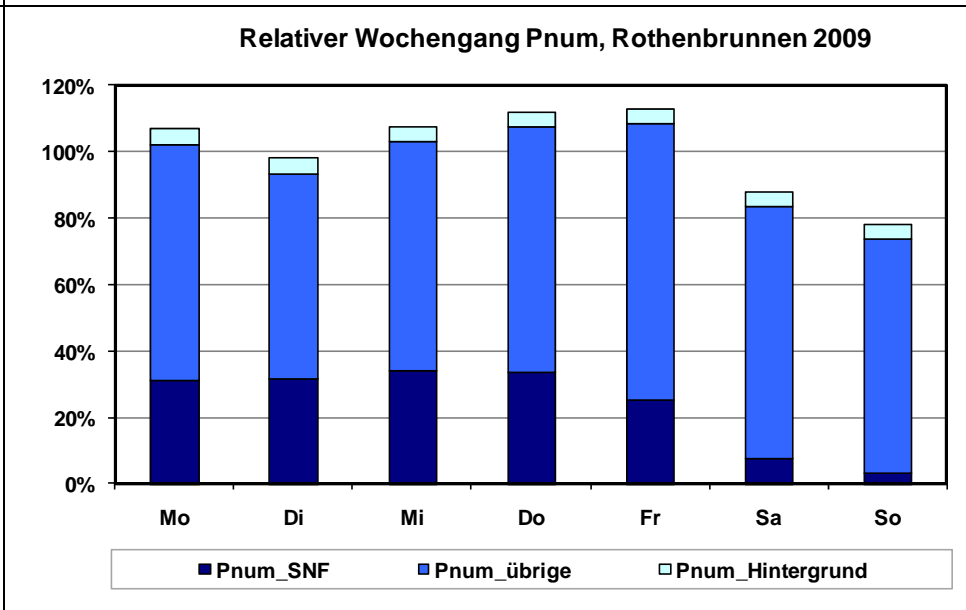
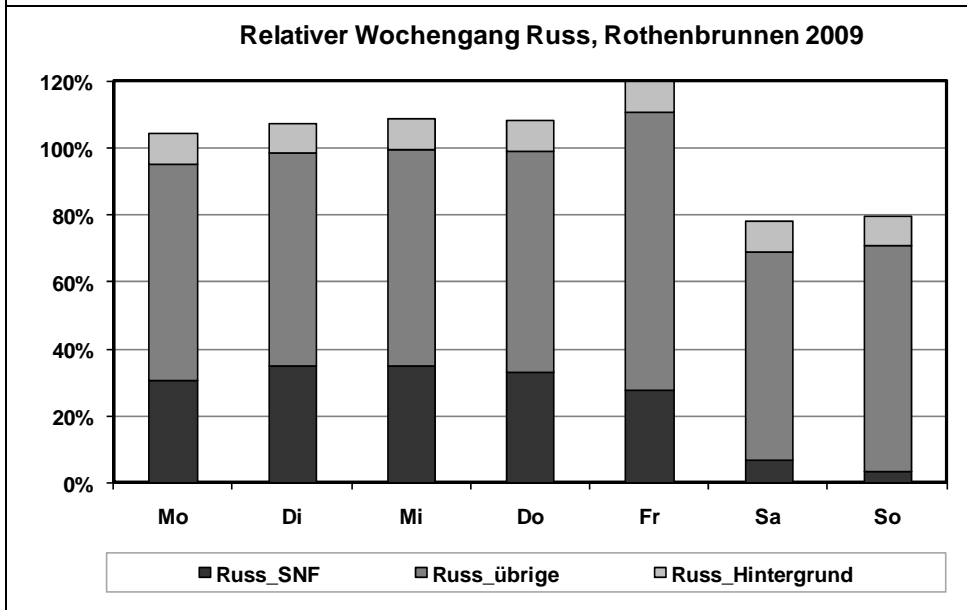
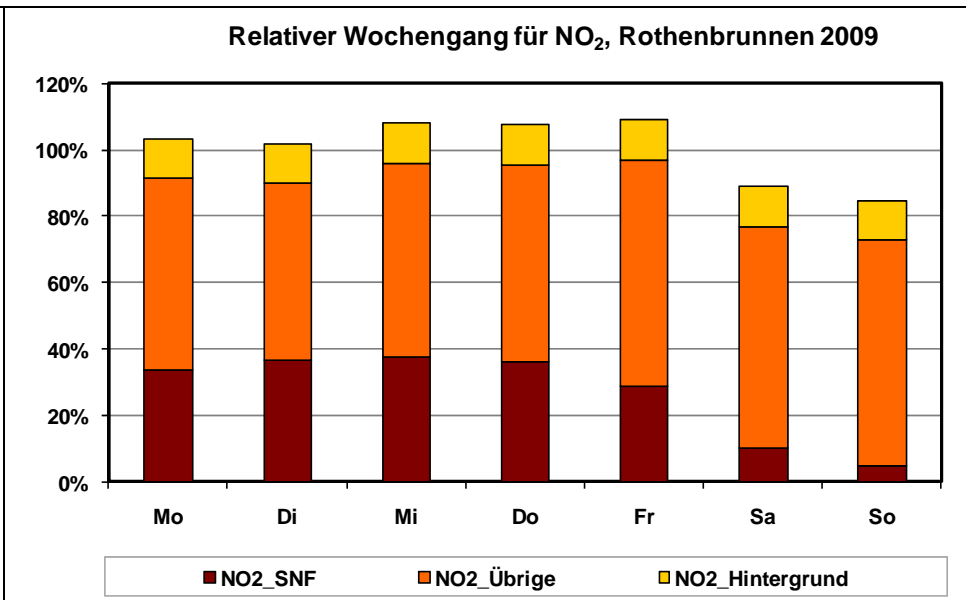
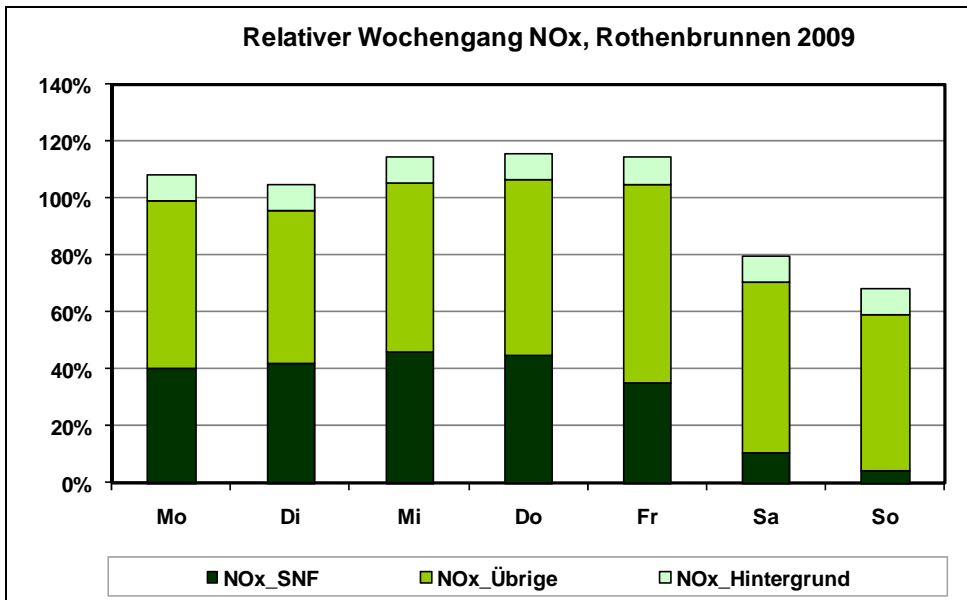
Relativer Wochengang Pnum, Rothenbrunnen 2005



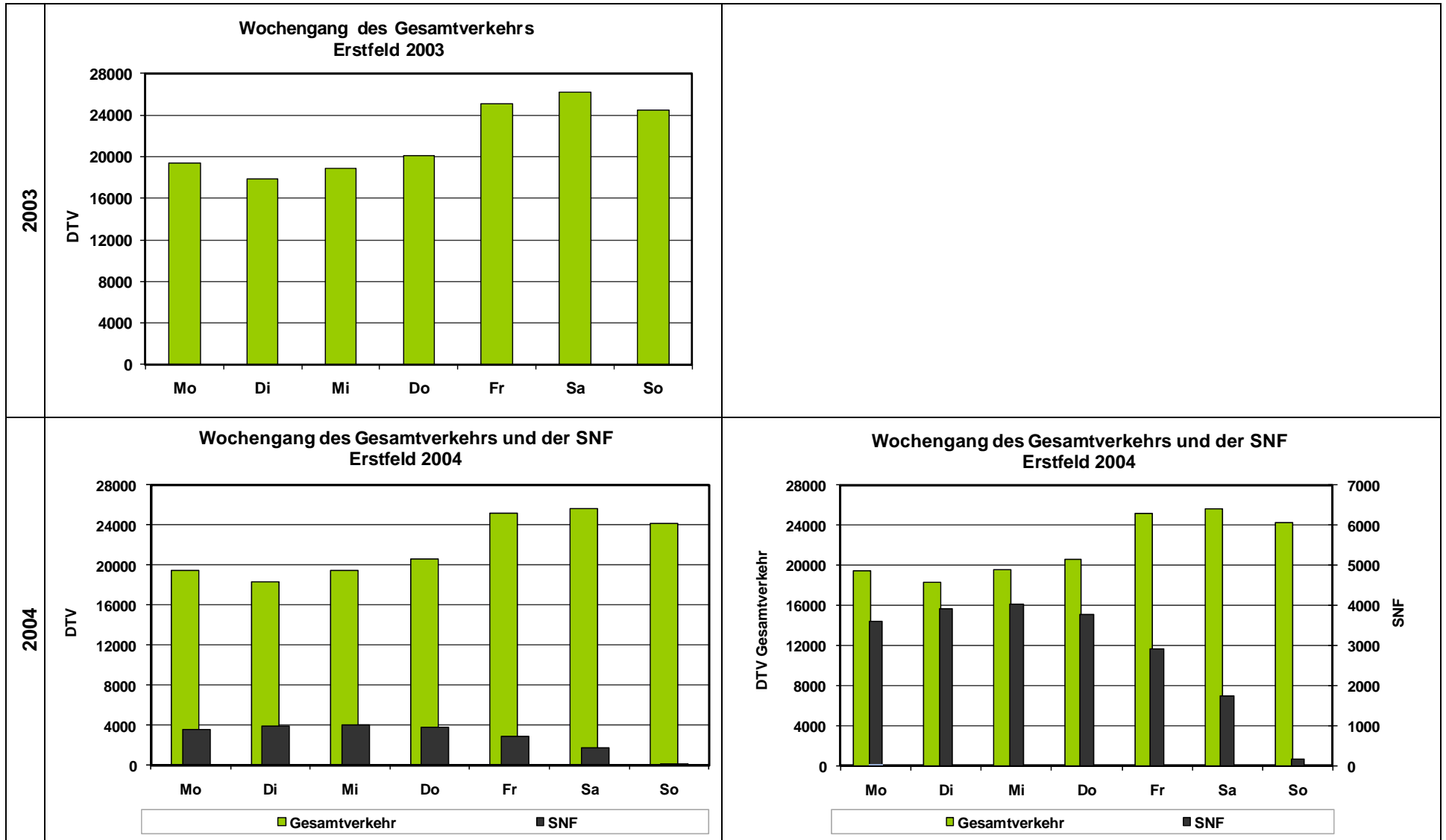


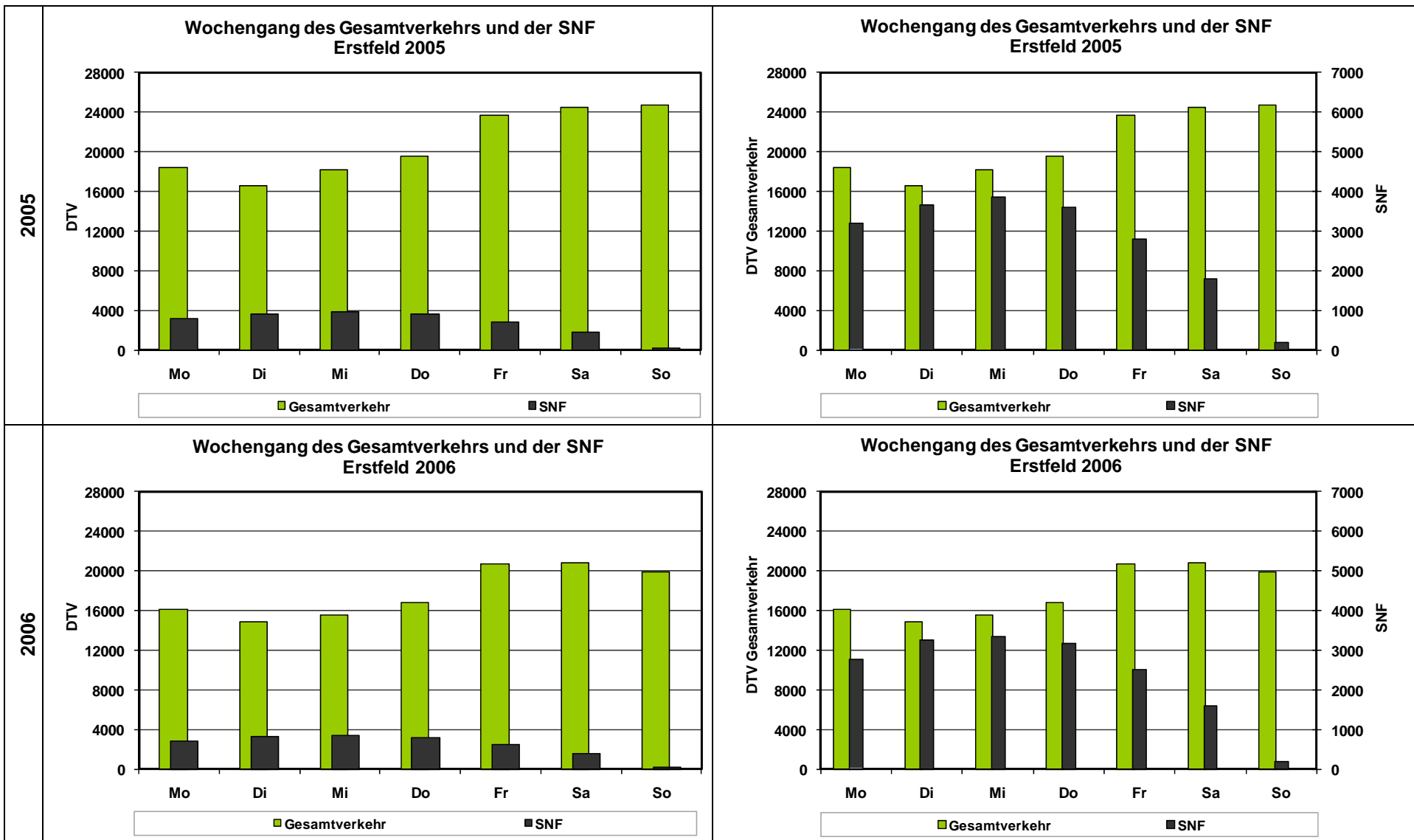


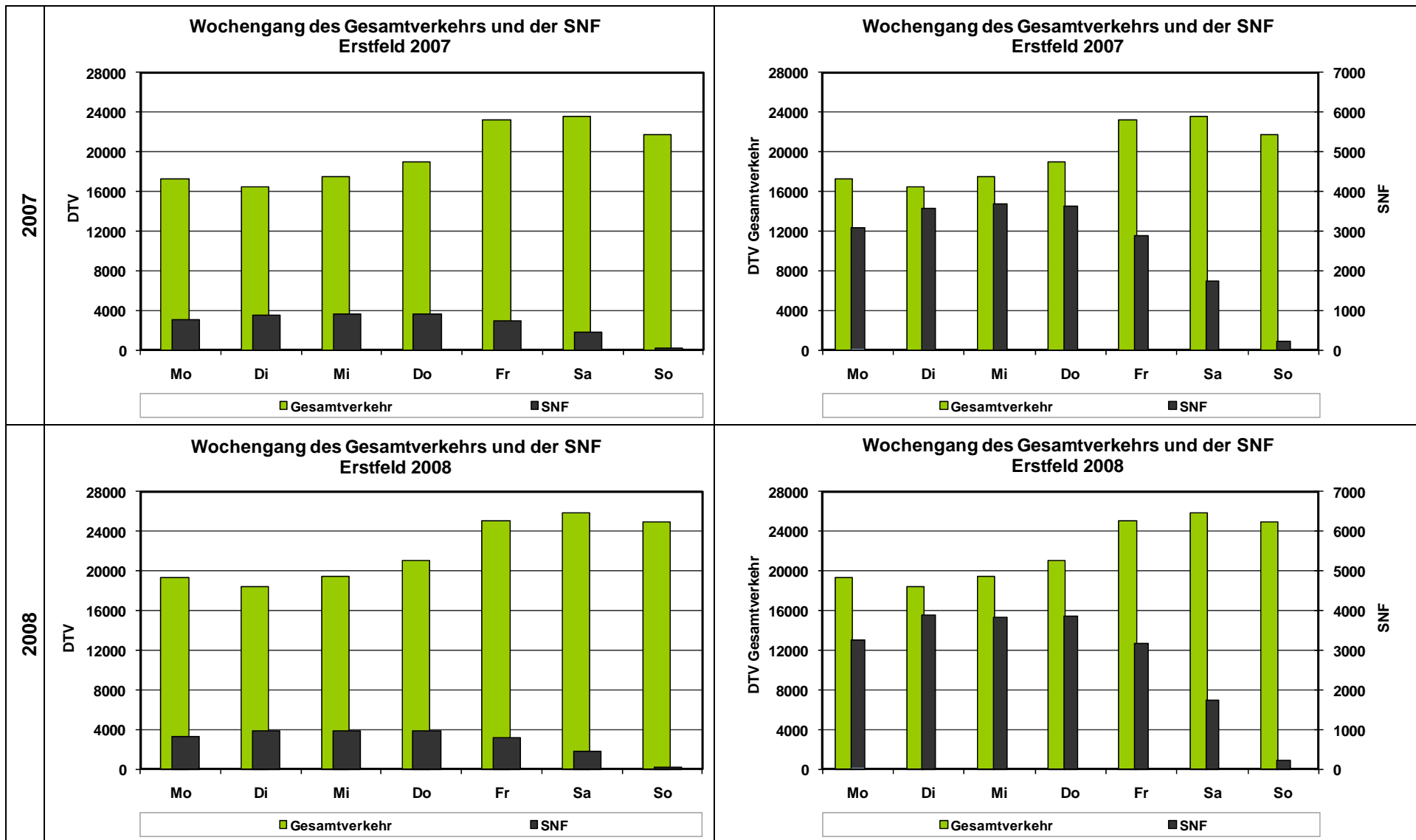


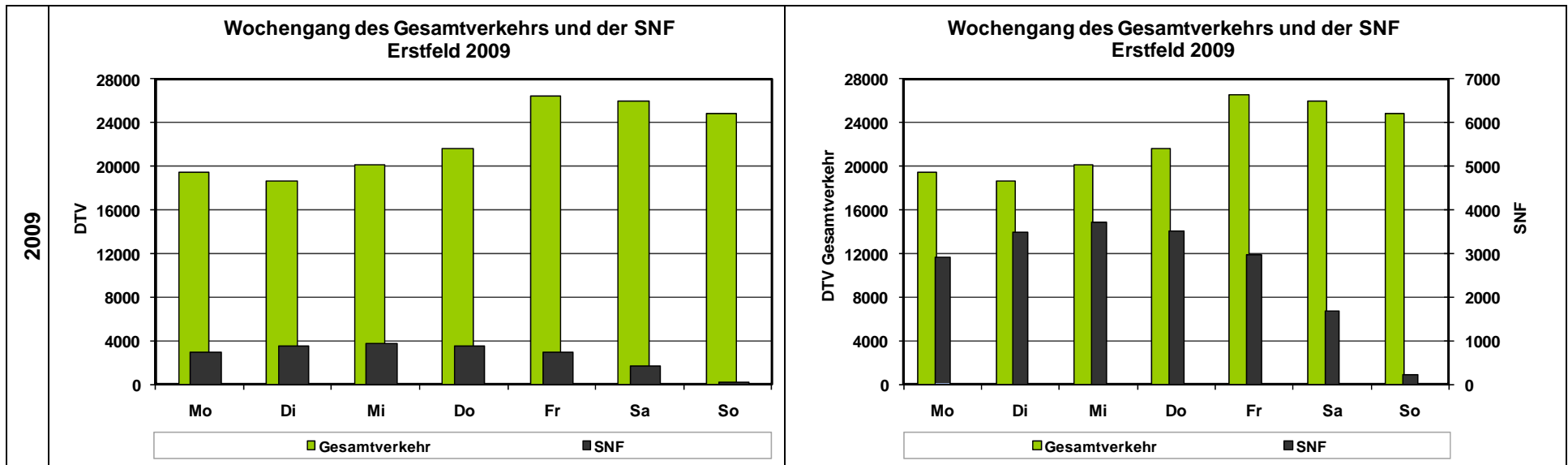


9.4. Verkehr bei Erstfeld 2003 – 2009

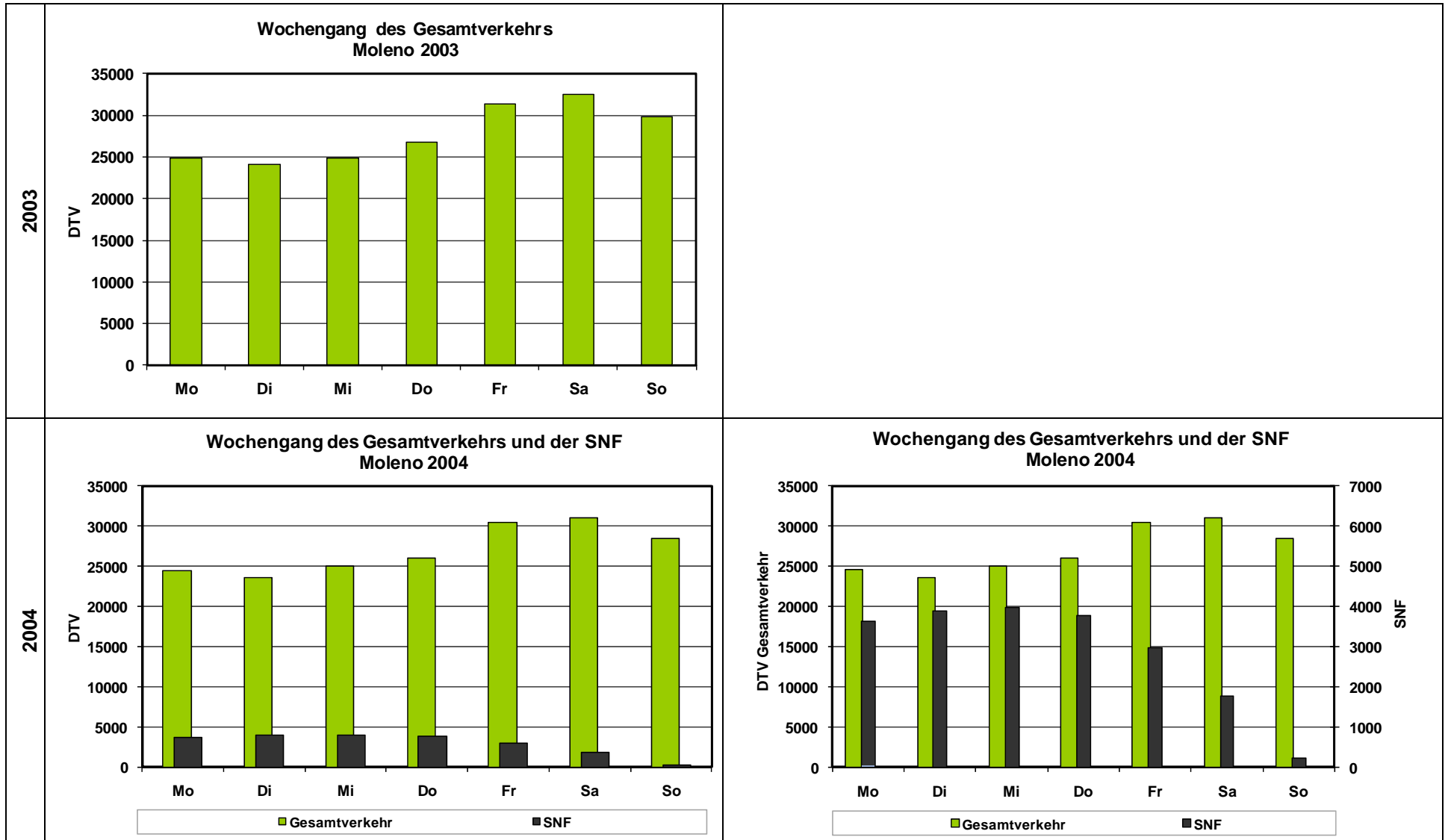


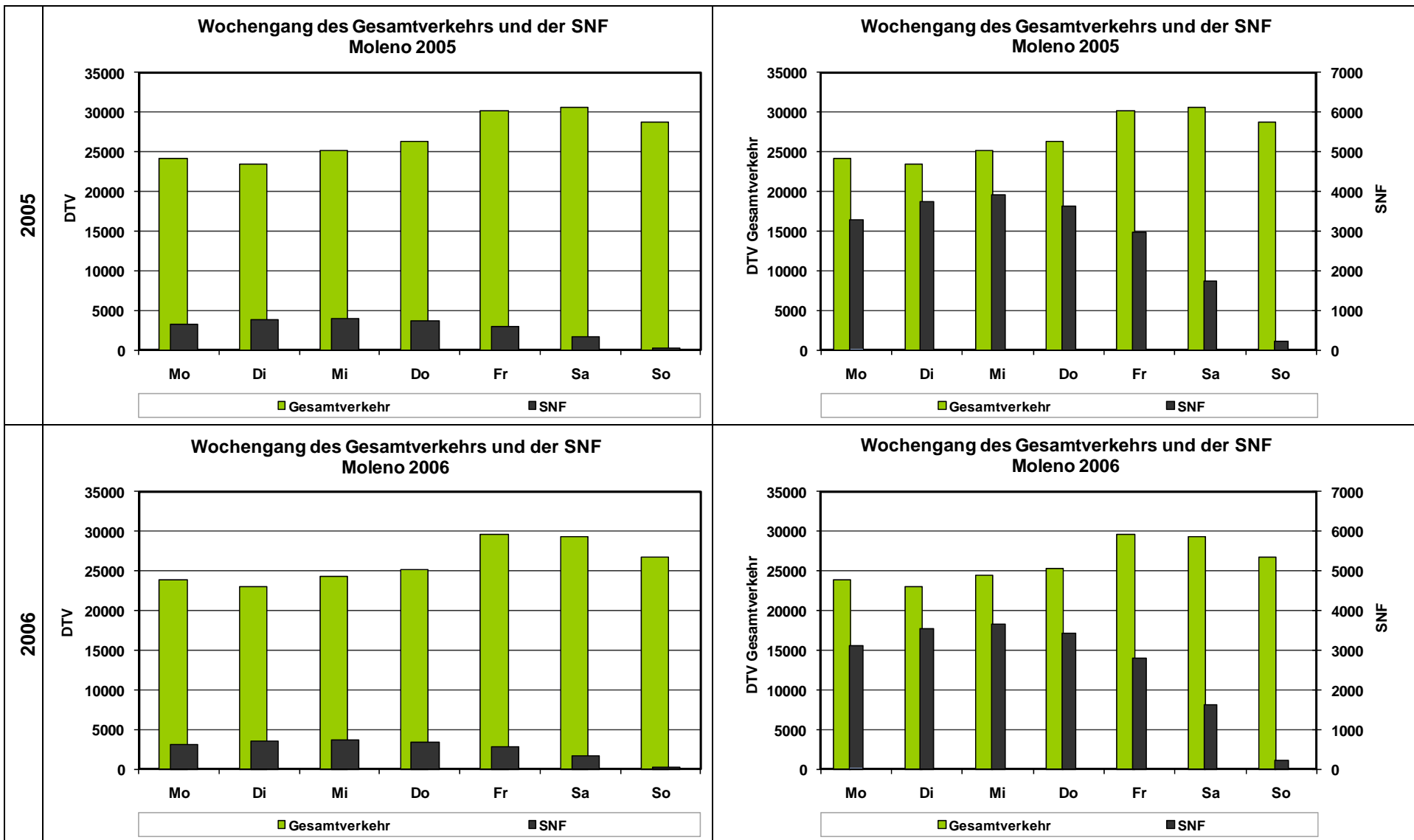


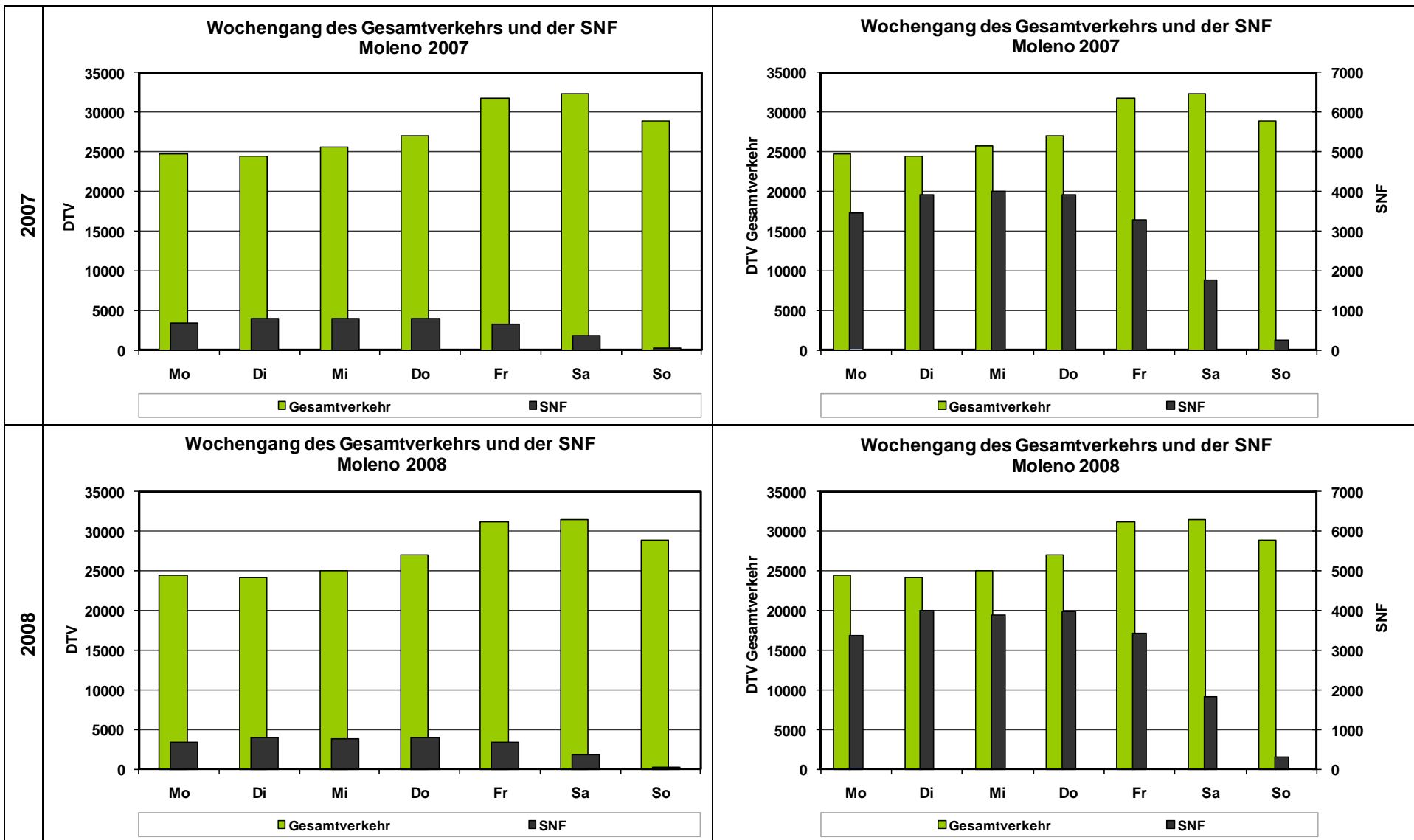


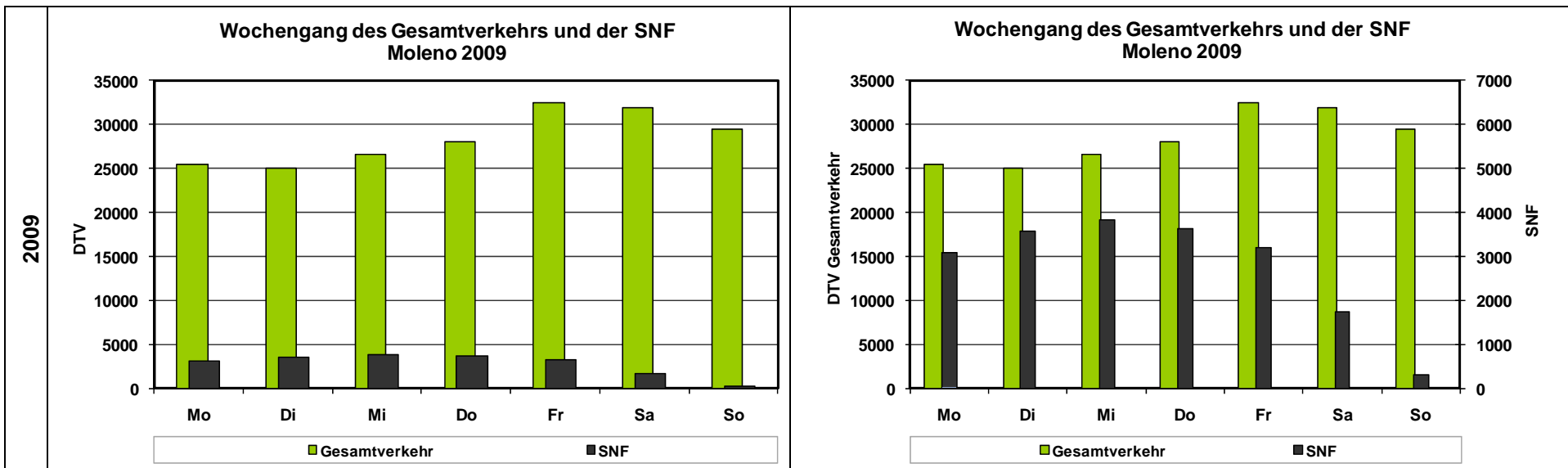


9.5. Verkehr bei Moleno 2003 – 2009









9.6. Verkehr bei Rothenbrunnen 2003 – 2009

