

Zusammenfassung
Lufthygienische Entwicklung
in Vorarlberg
2000 – 2009

Dr. Jürg Thudium
Dr. Carine Chélala

28.12.2009 / 5239.80 V3

Oekoscience AG

Postfach 452
CH - 7001 Chur

Telefon: +4181 250 3310
science@oekoscience.ch

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
2. Untersuchungsgebiet	1
3. Entwicklung der Immissionen an NO_x, NO₂, PM₁₀, Ozon und CO	3
3.1. Interpretation der Immissionsentwicklung	3
3.2. NO _x -Immissionen von 2000 bis 2009	5
3.2.1. Trend der Jahresmittelwerte von NO _x	6
3.2.2. Trend auf Basis der Halbstundenwerte von NO _x	7
3.2.3. Tage mit hohen NO _x -Immissionen (Hochepisoden)	8
3.3. NO ₂ -Immissionen von 2000 bis 2009	9
3.3.1. Trend der Jahresmittelwerte von NO ₂	11
3.3.2. Trend auf Basis der Halbstundenwerte von NO ₂	12
3.3.3. Tage mit hohen NO ₂ -Immissionen (Hochepisoden)	13
3.4. PM ₁₀ -Immissionen von 2000 bis 2009	14
3.4.1. Trend der Jahresmittelwerte von PM ₁₀	15
3.4.2. Trend auf Basis der Halbstundenwerte von PM ₁₀ bei Feldkirch	17
3.4.3. Tage mit hohen PM ₁₀ -Immissionen (Hochepisoden)	18
3.5. Ozon-Immissionen von 2000 bis 2009	19
3.5.1. Trend der Jahresmittelwerte von Ozon	20
3.5.2. Trend auf Basis der Halbstundenwerte von Ozon	21
3.5.3. Tage mit hohen Ozon-Immissionen (Hochepisoden)	22
3.6. CO-Immissionen von 2000 bis 2009 bei Feldkirch	23
3.6.1. Verlauf der Jahresmittelwerte von CO	24
3.6.2. Trend der Jahresmittelwerte von CO	24
4. Meteorologische Parameter in Vorarlberg	25
4.1. Die Windgeschwindigkeit in Vorarlberg	25
4.2. Temperatur in Vorarlberg	25
4.2.1. Temperatur-Trend in Vorarlberg	25
4.2.2. Verlauf der Heizgradzahlen in Vorarlberg	26
4.3. Inversionshäufigkeit in Vorarlberg	26
5. Straßenverkehr im Vorarlberger Rheintal	27
5.1. Entwicklung des Straßenverkehrs 2003 - 2008	27
5.2. Effekt der Sperrung der Stadtstrasse (L190) in Dornbirn	30

6. Langjährige Zusammenhänge zwischen Immissionen und Inversionshäufigkeit	31
7. Der 'wetterbereinigte' Trend der Immissionen	32
7.1. Ergebnisse für die Jahresmittelwerte	34
7.2. Ozontrend im Sommerhalbjahr	36
8. Fazit	39

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1: Lage der Messstationen in Vorarlberg und Umgebung.	2
Abbildung 3.1: NO _x -Überblick für alle Messstationen, 2000-2009.	6
Abbildung 3.2: Absoluter und relativer NO _x -Trend pro Jahr für alle Stationen in Vorarlberg und Umgebung, 2000-2009.	6
Abbildung 3.3: NO _x -Trend und Relativer Trend pro Jahr und je Stationsgruppe in Vorarlberg und Umgebung, 2004-2009.	7
Abbildung 3.4: Relativer Tagesgang im Winter und 95%-Perzentil von NO _x (Halbstundenwerte), Feldkirch und Lustenau WR (2000-2009).	8
Abbildung 3.5 : Anzahl bzw. Mittelwerte der Tage mit NO _x >90%-Perzentil und Anzahl Phasen (mit ununterbrochener Folge von solchen Tagen) in Vorarlberg und Umgebung, 2000-2009.	9
Abbildung 3.6: NO ₂ -Überblick für alle Messstationen in Vorarlberg und Umgebung, 2000-2009.	10
Abbildung 3.7: Absoluter und relativer NO ₂ -Trend pro Jahr für alle Stationen in Vorarlberg und Umgebung, 2000-2009.	11
Abbildung 3.8: Absoluter und relativer NO ₂ -Trend pro Jahr und je Stationsgruppe in Vorarlberg und Umgebung, 2004-2009.	12
Abbildung 3.9: Relativer Tagesgang im Winter und 95%-Perzentil von NO ₂ (Halbstunden Werte), Feldkirch und Lustenau WR (2000-2009).	13
Abbildung 3.10: Anzahl bzw. Mittelwerte der Tage mit NO ₂ >90%-Perzentil und Anzahl Phasen (mit ununterbrochener Folge von solchen Tagen) in Vorarlberg und Umgebung, 2000-2009.	14
Abbildung 3.11: PM ₁₀ -Überblick für alle Messstationen: Jahresmittelwerte und Anzahl Tage > 50 µg/m ³ , 2000-2009.	15
Abbildung 3.12: Absoluter und relativer PM ₁₀ -Trend pro Jahr je Stationsgruppe in Vorarlberg und Umgebung, 2004-2009.	16
Abbildung 3.13: Jährlicher PM ₁₀ -Trend je Jahreszeit für alle Stationen in Vorarlberg und Umgebung, 2004-2009.	17

Abbildung 3.14: Absoluter und relativer Tagesgang im Winter und 95%-Perzentil von PM10 (Halbstundenwerte), Feldkirch (2000-2009).	18
Abbildung 3.15: Anzahl bzw. Mittelwerte der Tage mit PM10>90%-Perzentil in Vorarlberg und Umgebung, 2004-2009.	19
Abbildung 3.16: Jahresmittel und Sommerhalbjahresmittel von Ozon, alle Messstationen, 2000-2009.	20
Abbildung 3.17: Absoluter und relativer Ozon-Trend pro Jahr für alle Stationen für ganzes Jahr und im Sommer-Halbjahr in Vorarlberg und Umgebung, 2000-2009.	21
Abbildung 3.18: 95%-Perzentil von Ozon (Halbstundenwerte), 2000-2009.	22
Abbildung 3.19: Anzahl bzw. Mittelwerte der Tage mit Ozon>90%-Perzentil in Vorarlberg und Umgebung, 2000-2009.	23
Abbildung 3.20: CO-Jahresmittel bei Feldkirch, 2000-2009.	24
Abbildung 3.21: Absoluter und relativer CO-Trend pro Jahr für das Gesamtmittel und je Jahreszeit bei Feldkirch, 2000-2009.	24
Abbildung 4.1: Temperatur-Trend in Vorarlberg, 2000-2009 und 2004-2009.	25
Abbildung 4.2: Mittlere tägliche Heizgradzahl je Jahr in Vorarlberg, 2000-2009.	26
Abbildung 4.3: Mittelwerte der Inversionshäufigkeit je Jahreszeit und Gesamtjahr, TP Dornbirn-Gäbris, 2000-2009.	27
Abbildung 5.1: Leichtverkehr, schwerer Güterverkehr und Busse sowie Pkw mit Anhängern: Verlauf und jährlicher Trend im Vorarlberger Rheintal, 2003-2008.	29
Abbildung 5.2: NO _x -Emissionen (g/d) des Verkehrs: Verlauf und jährlicher Trend im Vorarlberger Rheintal, 2003-2008.	29
Abbildung 5.3: DTV auf der A14 bei Dornbirn (Zst. 714), 2003-2009. *2009: Nov 2008 – Okt 2009.	30
Abbildung 5.4: Gesamtverkehr, Schwerverkehr (SV*10) und Immissionen (NO _x , NO ₂ und PM10) in Dornbirn an der Stadtstrasse (L190), 2003-2008.	31
Abbildung 6.1: Jahresmittelwerte von NO _x und PM10 und der Inversionshäufigkeit, 2000-2009 (Inv. häuf.: TP Dornbirn-Gäbris).	32
Abbildung 7.1: Vergleich von gemessenen und berechneten Monatsmitteln von Ozon für vier Standorte, Sommerhalbjahre 2000 – 2009. Grün umrandet: Ausreißer.	38

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5.1: Verkehrsaufkommen und Immissionen an der Messstation Dornbirn Stadtstrasse 2007 und 2008:	31
Tabelle 7.1: Ergebnisse der multiplen linearen Regression der Immissionen von 2004 - 2009 mit dem Jahr, den Inversionshäufigkeiten und im Falle des PM10 der Wintertemperatur auf Basis der Jahreswerte.	35
Tabelle 7.2: Ergebnisse der multiplen linearen Regression der Ozon-Immissionen von 2000 - 2009 mit der Globalstrahlung, der Abweichung der Temperatur von der Norm und der NO ₂ -Immission; im Falle der im Tal befindlichen Stationen zusätzlich mit dem September-Effekt, im Falle der erhöhten Stationen zusätzlich mit dem Jahr. Basis Monatsmittel des Sommerhalbjahrs.	37

1. Einleitung

Die Entwicklung der Luftverschmutzung in einer Region hängt von verschiedenen Faktoren ab: Die ökonomische Entwicklung, die gesetzlichen Vorschriften, das Bewusstsein in der Bevölkerung, die Meteorologie und nicht zuletzt natürlich die getroffenen Maßnahmen zur Verbesserung der Luftqualität. In Vorarlberg sind diese Maßnahmen im "30+1"-Programm zusammengefasst worden, welches sich insbesondere um die PM10-Belastung kümmert.

In dieser Studie geht es darum, die lufthygienische Entwicklung in Vorarlberg in den 10 Jahren von 2000 – 2009 aufzuzeigen und zu prüfen, ob ein Effekt von Maßnahmen sichtbar geworden ist, jenseits der meteorologischen Zufälligkeiten. An manchen Messstellen sind die Messungen später begonnen worden; es wurde deshalb auch die kürzere Zeitphase 2004 – 2009 (6 Jahre) untersucht. Da dieser Bericht Ende Dezember 2009 fertig gestellt sein musste, betrifft das hier dargestellte Jahr 2009 die Phase von Dezember 2008 – November 2009.

Zunächst wird die Entwicklung der Messwerte untersucht unabhängig von der Betrachtung der Meteorologie. Dies erlaubt einen sehr direkten Zugang zum Verlauf der Messwerte. Später wird ein Verfahren angewandt um den Einfluss der Meteorologie zu eliminieren, so dass die emissionsseitigen Effekte hervortreten.

In dieser Studie werden sehr viele Messdaten ausgewertet; es handelt sich um 10 Messstellen und 10 Jahre. Um die Quintessenz verschiedener Untersuchungen herauszustellen, werden bisweilen relative Verläufe (in %) dargestellt; es ist für das Verständnis wichtig zu verstehen, was 100% jeweils bedeutet.

2. Untersuchungsgebiet

Um allfällige spezifische Effekte in Vorarlberg eher feststellen zu können, wurden auch zwei Messstellen in Baden-Württemberg einbezogen, die zwar noch zu diesem Teil Mitteleuropas gehören, aber weder meteorologisch noch maßnahmenseitig den Vorarlberger Gegebenheiten unterliegen. Von Vorarlberg sind sieben Immissionsmessstellen einbezogen worden, 5 weitere Temperaturmessstellen dienen der Ermittlung von vertikalen Temperaturprofilen zwecks Erfassung der Inversionen. Was die Entwicklung des Verkehrs anbetrifft, wurden Zählungen an sieben Strassen herangezogen.



Abbildung 2.1: Lage der Messstationen in Vorarlberg und Umgebung.

Die Immissionsmessstationen lassen sich in drei Gruppen bezüglich der Quellenposition einteilen: Straßennah, Hintergrund sowie erhöhter Hintergrund.

Für diese Studie wurden nur diejenigen Jahre (je Station und Komponente) verwendet, in welchen die Verfügbarkeit höher als 60% war – je Jahr und je Saison.

Folgende Faktoren mit einem gewichtigen Einfluss auf die gemessenen Immissionen sind zu erwähnen:

- Feldkirch : Ende 2001 – anfangs 2003 : Grosse Baustellen in der Nähe (Mc Donald, ca. 300 m, und beim III).
- Dornbirn : Ende Januar – Ende November 2008 : Teilweise Sperrung der Stadtstrasse wegen Bauvorhaben.
- Dornbirn: Stationsverlegung am 7.12.2002.
- Lustenau WR : Trocknen von Sand am Rheindamm in der Nähe im April 2007.
- Bludenz: Stationsverlegung Ende 2003; Auswertung der Parallelmessung an neuem und altem Standort zeigt erhebliche Unterschiede → die Messwerte von Bludenz (Herrengasse) können erst ab 2004 in die Untersuchungen eingehen.

3. Entwicklung der Immissionen an NO_x, NO₂, PM₁₀, Ozon und CO

In diesem Kapitel werden die Trends im Verlauf folgender Immissionskomponenten gezeigt: NO_x, NO₂, PM₁₀, Ozon und CO. Zu Beginn des Kapitels erfolgt eine Interpretation, die zuweilen auf mehrere Komponenten ausgreift.

3.1. Interpretation der Immissionsentwicklung

In diesem Kapitel wird die Entwicklung der Messwerte untersucht inklusive die variablen meteorologischen Einflüsse. Dies erlaubt einen sehr direkten Zugang zum Verlauf der Messwerte, erlaubt aber noch keine Aussage über einen meteorologisch 'bereinigten' Schadstoffverlauf.

Beim PM₁₀ zeigt sich eine generelle Abnahme in den letzten Jahren, welcher sich in allen Jahreszeiten zeigt. Bei der Anzahl Grenzwertüberschreitungen (Tage mit mehr als 50 µg/m³ PM₁₀) ist der Trend nur bei den straßennahen Stationen

eindeutig, da es bei den Hintergrundstationen auch etwas Zufall ist, ob die einzelnen Belastungstage den Grenzwert knapp über- oder unterschreiten.

Beim NO_x zeigen die meisten Stationen gleichbleibende Jahresmittel mit leicht abnehmender Tendenz; Feldkirch (Bärenkreuzung) und vor allem Bludenz zeigen deutlichere Abnahmen. Die jährlichen Trends je Messstation zeigen sich auch ungefähr in den einzelnen Jahreszeiten. Generell hat sich der mittlere Tagesgang des NO_x im Sommer akzentuiert.

Beim NO₂ zeigen die meisten Stationen ebenfalls gleichbleibende Jahresmittel mit leicht abnehmender Tendenz, Lustenau Wiesenrain und vor allem Bludenz (wie beim NO_x) zeigen deutliche Abnahmen. Feldkirch (Bärenkreuzung) zeigte während der ersten Hälfte der Dekade noch eine starke Zunahme, obwohl das NO_x abgenommen hat. Dies war zu erwarten, denn wegen des wachsenden Anteils direkt emittierten NO₂ bei modernen Dieselmotoren ist straßennah auch ein höherer Anteil der NO₂-Immission an der NO_x-Immission zu erwarten. Allerdings ist vor diesem Hintergrund nicht zu verstehen, wieso die beiden straßennahen Stationen Lustenau Zollamt und Höchst beim NO₂ nicht geringere Abnahmen als beim NO_x aufweisen, vor allem bei Höchst mit seinem hohen Anteil an Pkw. Dies kann im Rahmen dieser Studie nicht weiter geklärt werden. Generell hat sich beim NO₂ der mittlere Tagesgang im Laufe der Jahre mehr akzentuiert.

Beim Ozon zeigen die erhöhten Stationen eine Abnahme, die im urbanen Hintergrund liegenden Stationen zeigen keine Veränderung. Dies steht in Einklang mit der allgemeinen Beobachtung, dass im Zuge der allmählichen Verbesserung der Luftqualität das Ozon näher an die Städte rückt (luftchemische Prozesse).

Die mittlere Konzentration an CO hat sich in Feldkirch (Bärenkreuzung) im Laufe der Dekade etwa halbiert.

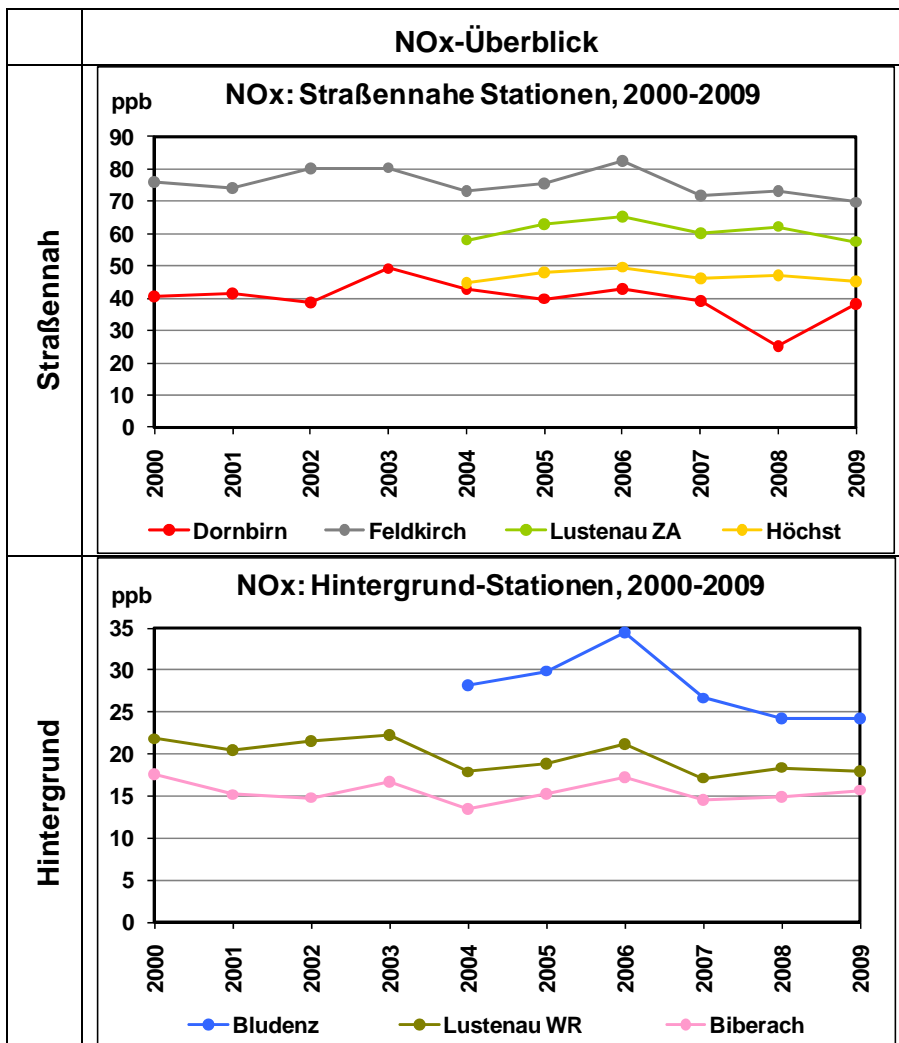
Von besonderem Interesse sind Phasen mit hohen Immissionen. Die **Anzahl Tage** mit sehr hohen NO_x- bzw. NO₂-Immissionen (die 10% höchstbelasteten Tage der gesamten Untersuchungsperiode) schwankt beträchtlich von Jahr zu Jahr, der jährliche **Mittelwert über diese Tage** ändert sich aber nur wenig. Dies bedeutet, dass es meteorologisch bedingt jährlich eine unterschiedliche Anzahl solcher Tage gibt, dass aber die Mechanismen, die zu diesen hohen Belastungen führen, sich über die Jahre nicht geändert haben. Für PM₁₀ gilt dies auch mit der Einschränkung, dass der Mittelwert der Hochbelastungstage im 2006, wo es am meisten solcher Tage gab, ebenfalls höher als in den anderen Jahren war. In geringerem Masse gilt dies auch für NO₂. Im Januar und Februar 2006 hat eine ganz spezielle Wetterlage zu hohen sekundär gebildeten PM₁₀-Konzentrationen geführt, und offensichtlich hat dies auch die photochemische NO₂-Bildung begünstigt.

Sowohl bei den Stickoxiden als auch beim PM10 zeigen sich erhöhte Werte in den beiden Jahren 2003 und 2006; dies hängt mit dem Inversionsauftreten zusammen (s. Kapitel 6).

3.2. NOx-Immissionen von 2000 bis 2009

Die Stickoxid-Immissionen (NOx und NO₂) wurden an allen 10 Messstationen gemessen.

Im Überblick zu den NOx-Jahresmitteln zeigen die Jahre 2003 und 2006 generell erhöhte Werte.



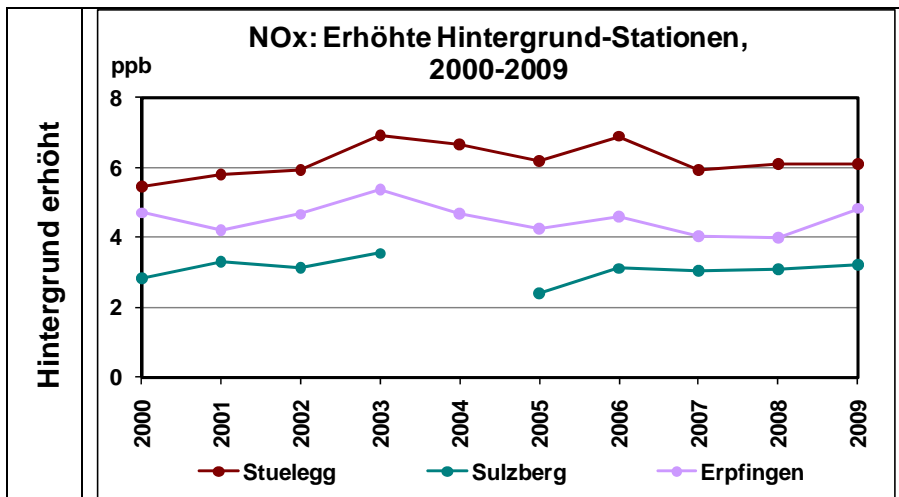


Abbildung 3.1: NOx-Überblick für alle Messstationen, 2000-2009.

3.2.1. Trend der Jahresmittelwerte von NOx

Es werden der absolute Trend (in Konzentrationsänderung/Jahr) und der relative Trend (in %/Jahr) angegeben. Wegen der Sperrung der Stadtstrasse im 2008 wird für Dornbirn kein Trend angegeben.

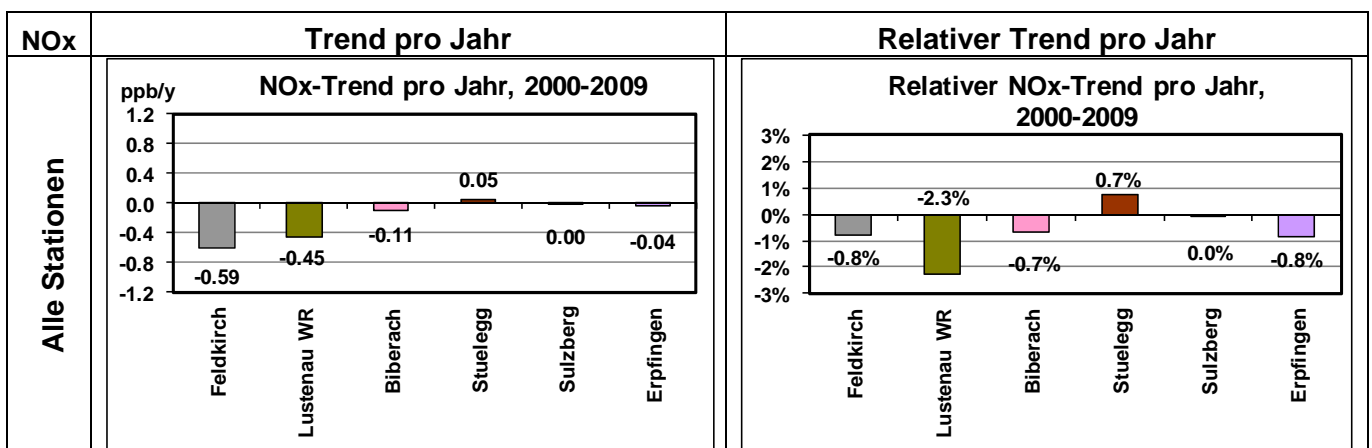
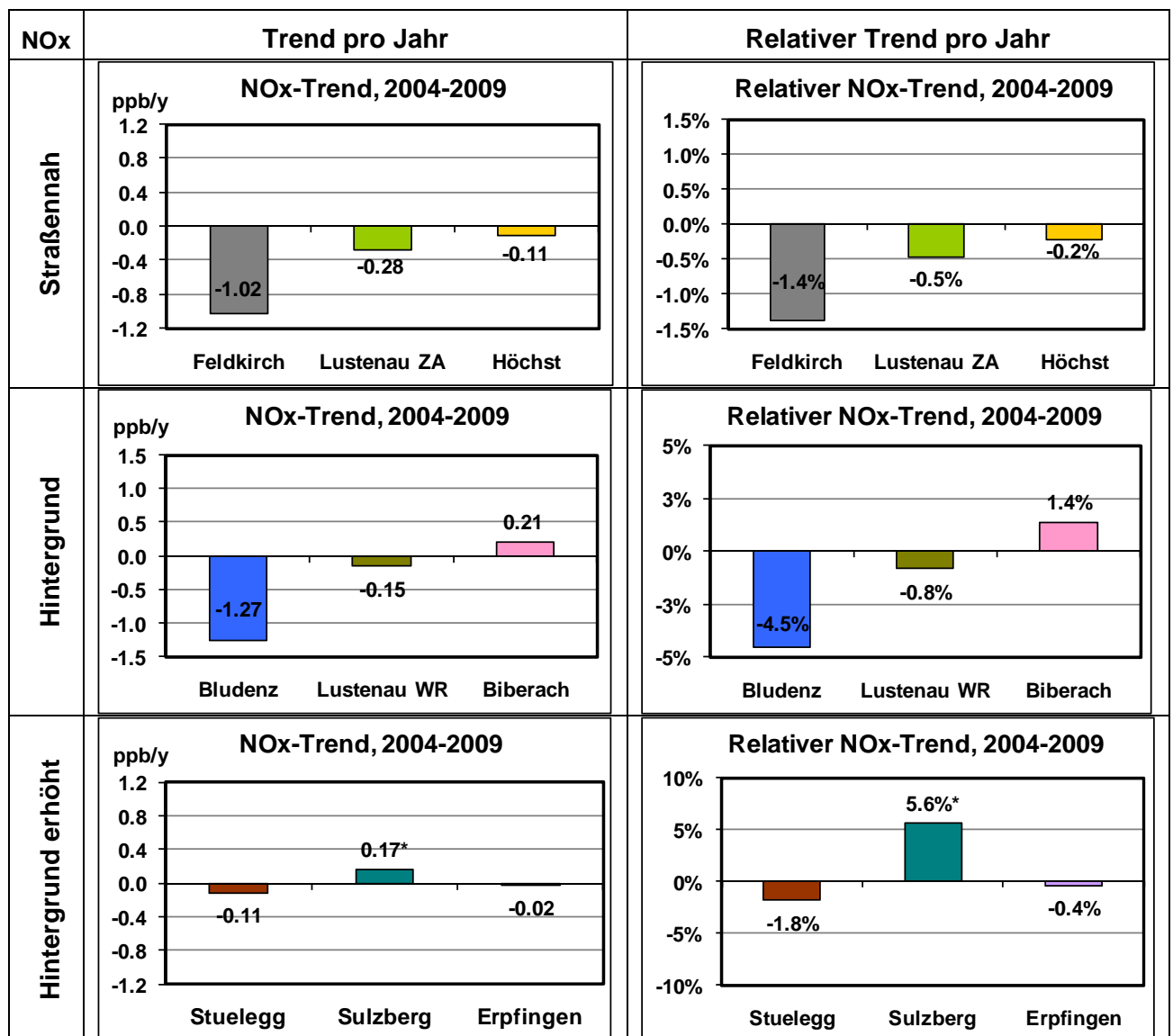


Abbildung 3.2: Absoluter und relativer NOx-Trend pro Jahr für alle Stationen in Vorarlberg und Umgebung, 2000-2009.



* Für Sulzberg sind die Daten für 2005-2009.

Abbildung 3.3: NOx-Trend und Relativer Trend pro Jahr und je Stationsgruppe in Vorarlberg und Umgebung, 2004-2009.

Einen herausragenden negativen Trend mit mehr als -1 ppb/Jahr weist Bludenz auf.

3.2.2. Trend auf Basis der Halbstundenwerte von NOx

In diesem Abschnitt werden die relativen Tagesgänge und die Perzentile auf Basis der Halbstundenwerte untersucht.

Für NOx werden grafisch zwei Beispiele für Feldkirch (straßennah) und Lustenau WR (Hintergrund) gegeben.

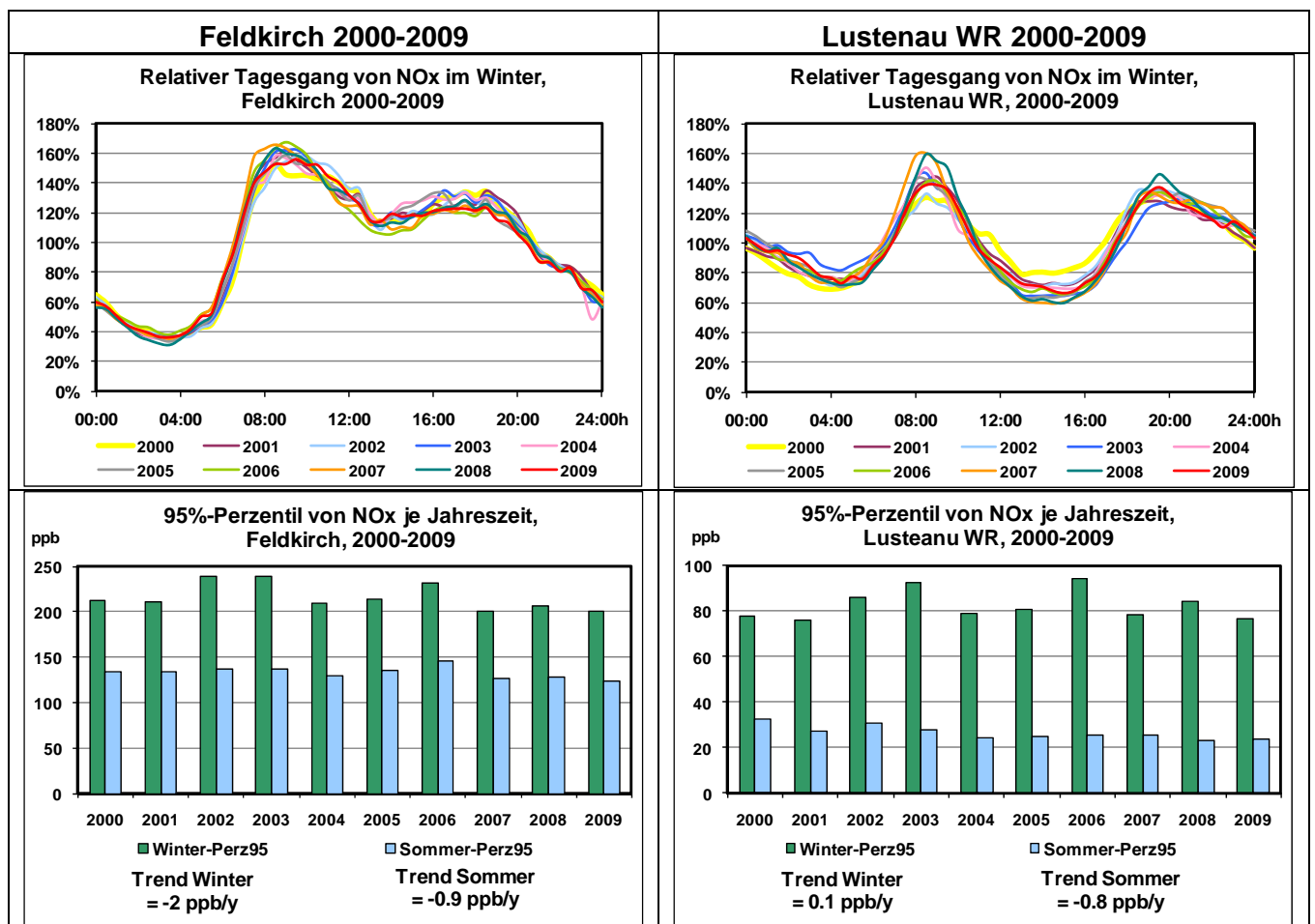


Abbildung 3.4: Relativer Tagesgang im Winter und 95%-Perzentil von NOx (Halbstundenwerte), Feldkirch und Lustenau WR (2000-2009).

In Lustenau WR wird das relative Minimum im Tagesverlauf im 2000 am Morgen erreicht, sonst am Nachmittag.

Generell haben sich die Minimumwerte (in % des Halbjahresmittels) eher erniedrigt und die Maximumwerte eher erhöht. Dies bedeutet, dass sich der mittlere Tagesgang verschärft hat. Im 2009 hat sich dieser Trend aber fast überall teilweise wieder zurückgebildet; nur im Sommerhalbjahr zeigen fast alle Stationen nach wie vor eine Verschärfung des Tagesganges.

3.2.3. Tage mit hohen NOx-Immissionen (Hochepisoden)

Die Anzahl der Tage, die zu den 10% der Tage mit den höchsten Immissionen über die gesamte Untersuchungsperiode gehören, schwankt stark von Jahr zu Jahr. Die Jahre 2003 und 2006 stechen hervor, bei den erhöhten Stationen nur 2003 **oder** 2006.

Die Mittelwerte dieser Tage schwankt hingegen nur sehr wenig von Jahr zu Jahr. Die Anzahl Phasen mit ununterbrochener Folge hoch belasteter Tage schwankt wiederum deutlich.

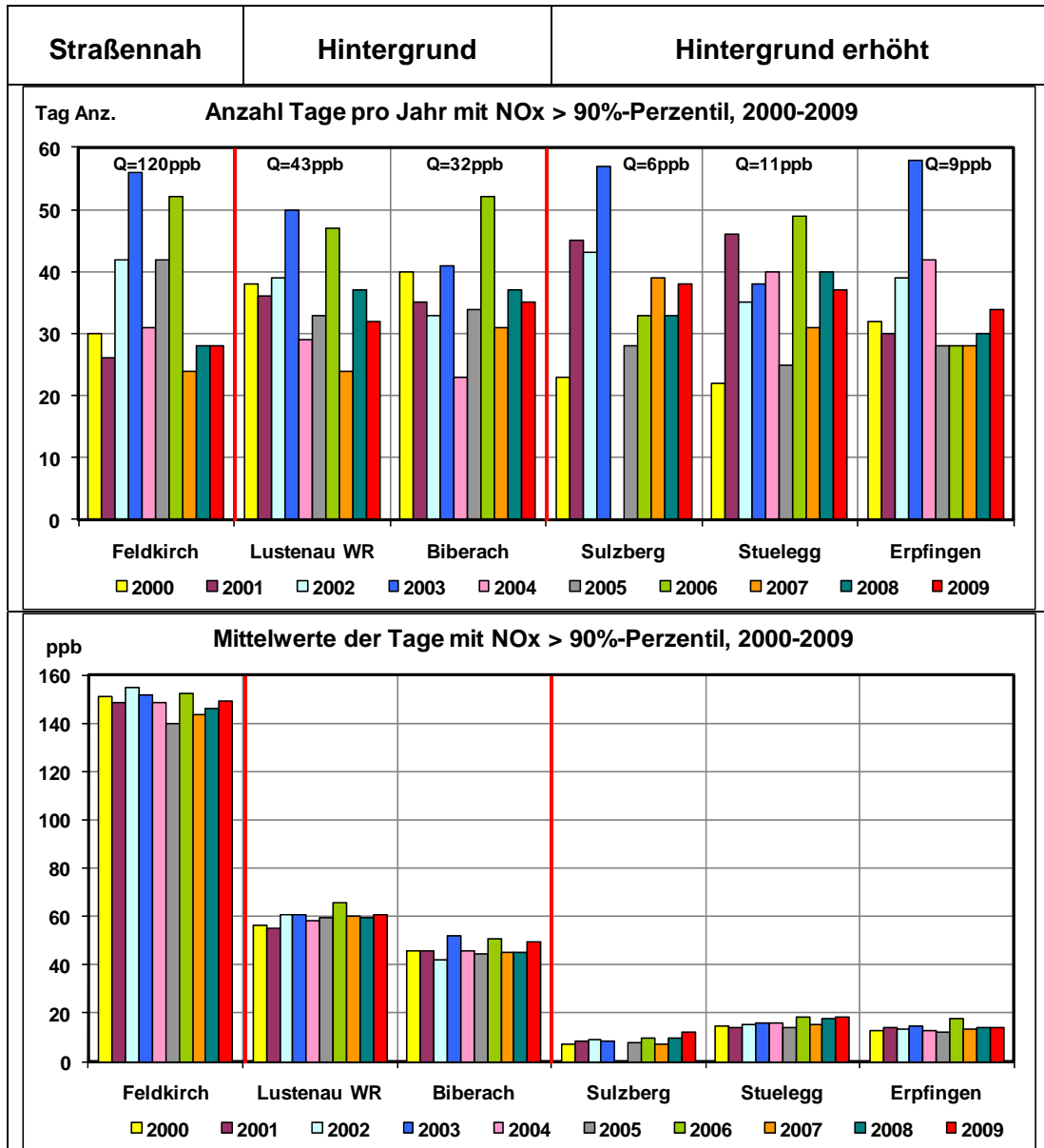


Abbildung 3.5 : Anzahl bzw. Mittelwerte der Tage mit NOx>90%-Perzentil und Anzahl Phasen (mit ununterbrochener Folge von solchen Tagen) in Vorarlberg und Umgebung, 2000-2009.

3.3. NO₂-Immissionen von 2000 bis 2009

Die Stickoxid-Immissionen (NO_x und NO₂) wurden an allen 10 Messstationen gemessen.

Im Überblick zu den NO₂-Jahresmitteln zeigen die Jahre 2003 und 2006 generell erhöhte Werte.

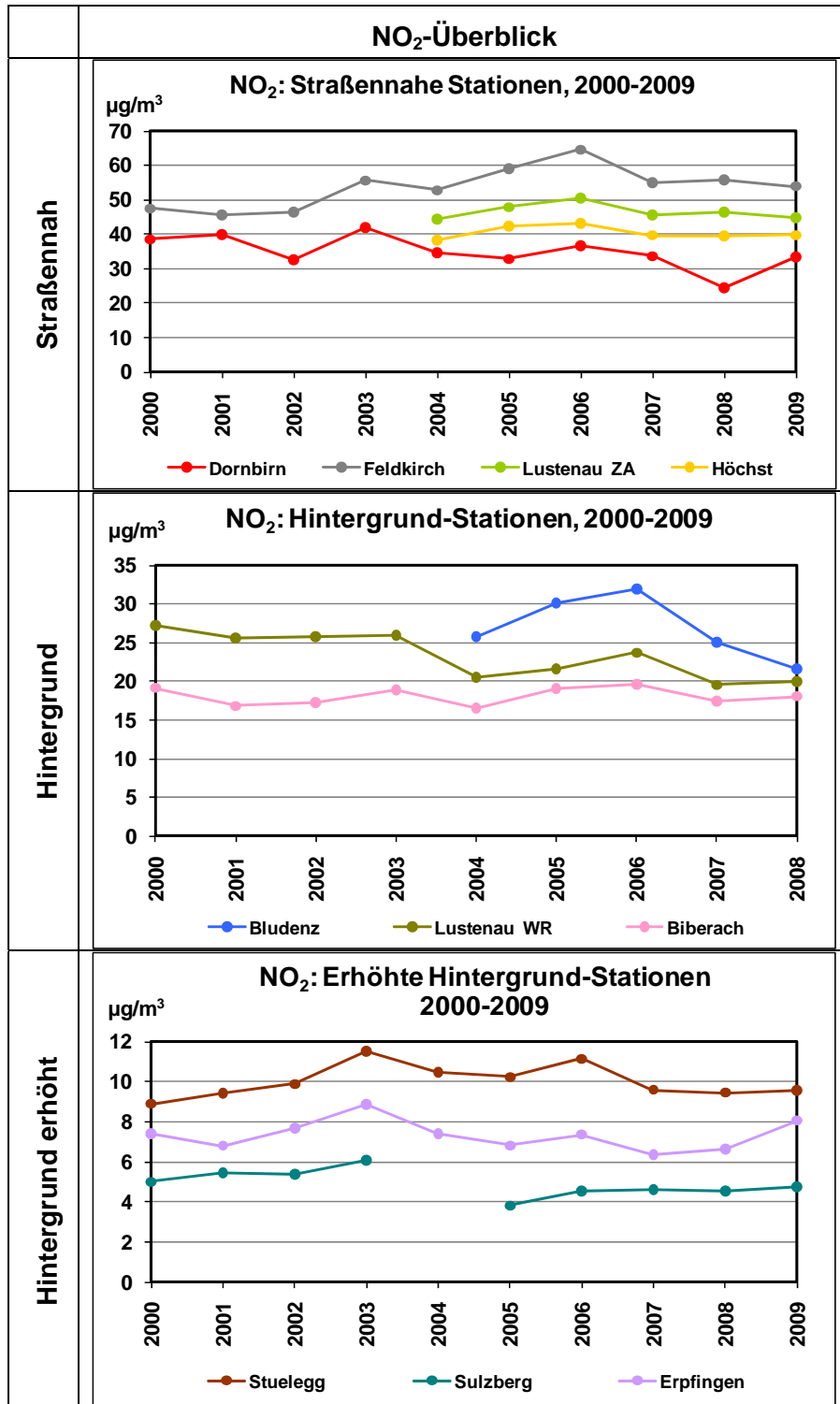


Abbildung 3.6: NO₂-Überblick für alle Messstationen in Vorarlberg und Umgebung, 2000-2009.

3.3.1. Trend der Jahresmittelwerte von NO₂

Es werden der absolute Trend (in Konzentrationsänderung/Jahr) und der relative Trend (in %/Jahr) angegeben. Wegen der Sperrung der Stadtstrasse im 2008 wird für Dornbirn kein Trend angegeben.

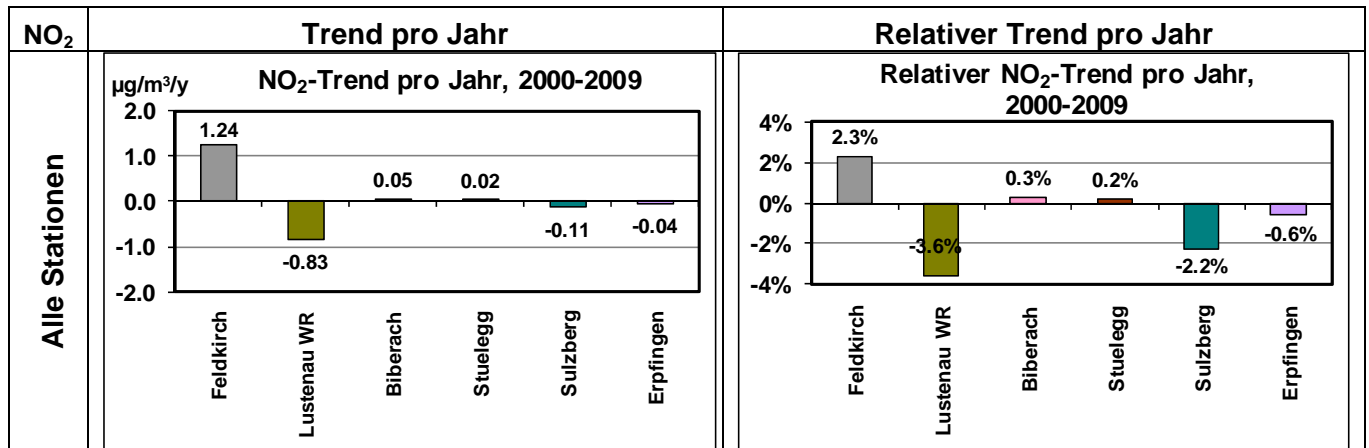
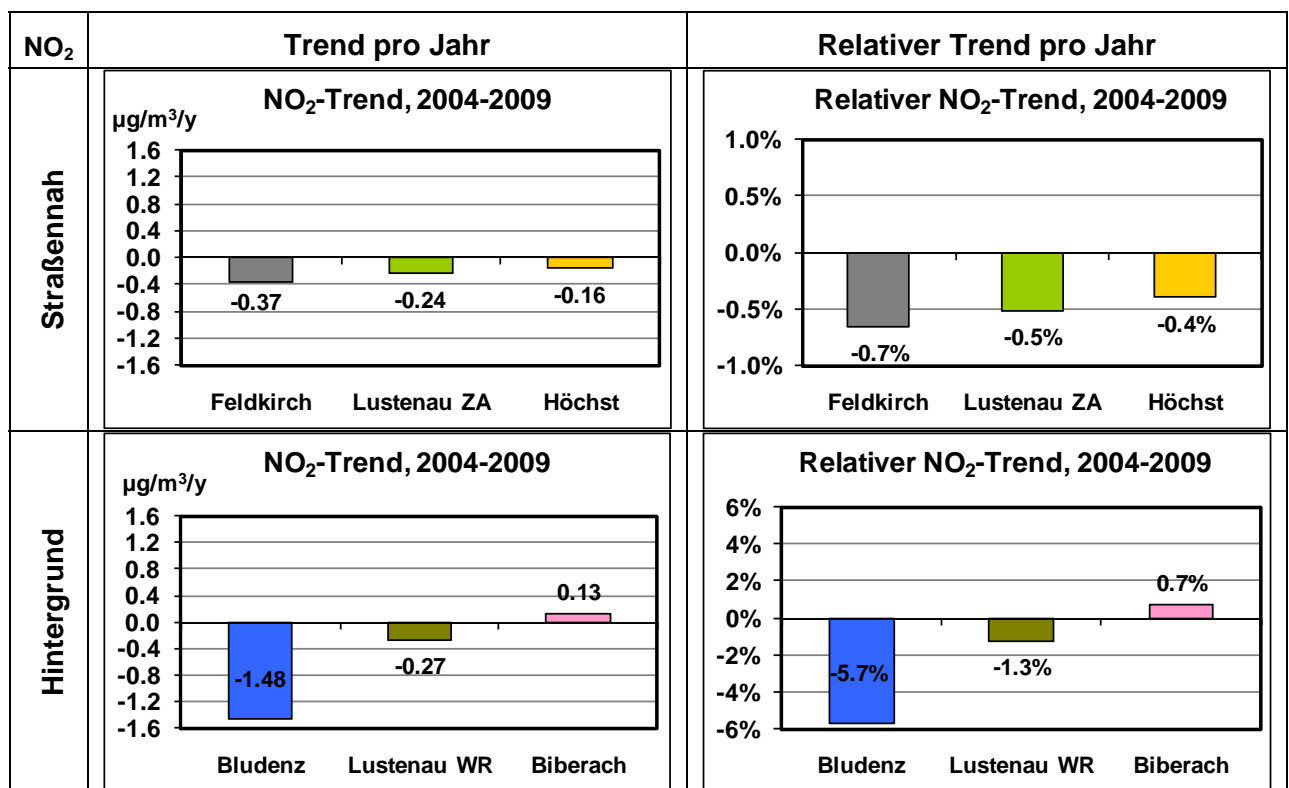
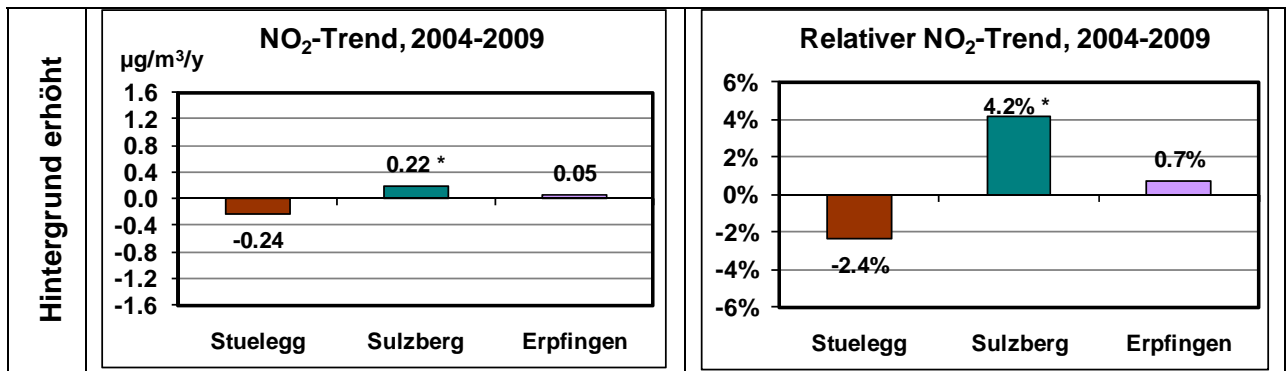


Abbildung 3.7: Absoluter und relativer NO₂-Trend pro Jahr für alle Stationen in Vorarlberg und Umgebung, 2000-2009.





* Für Sulzberg sind die Daten für 2005-2009.

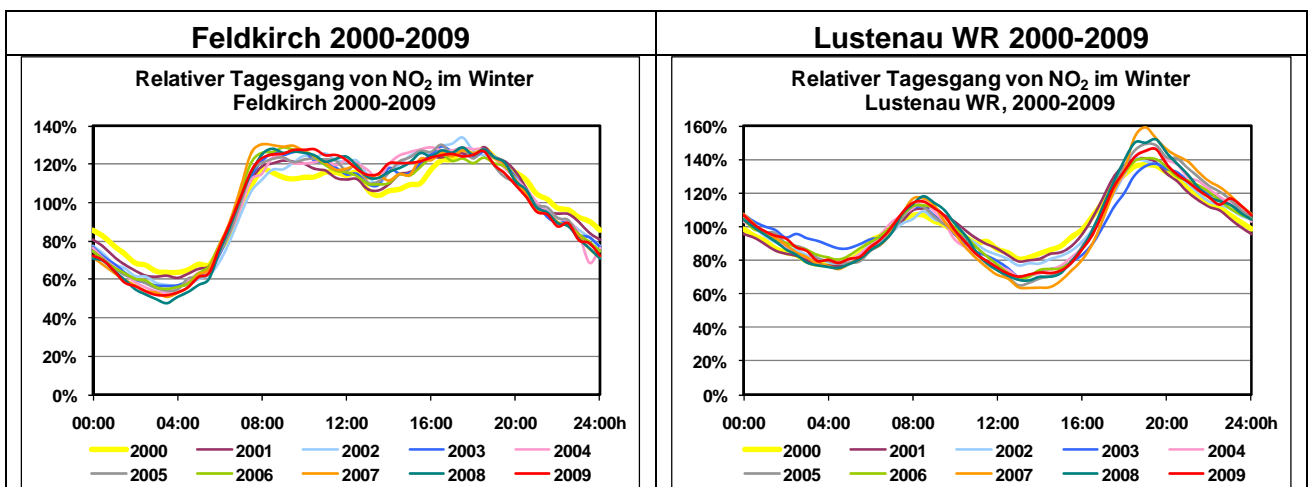
Abbildung 3.8: Absoluter und relativer NO₂-Trend pro Jahr und je Stationsgruppe in Vorarlberg und Umgebung, 2004-2009.

Einen herausragenden negativen Trend mit etwa -1.5 µg/m³/Jahr weist Bludenz auf. Die übrigen Stationen weisen für die 6-jährige Periode 2004 – 2009 keine signifikante Änderung aus. Für die 10-jährige Periode hingegen ergibt sich bei Feldkirch eine deutliche Zunahme von 1.2 µg/m³/Jahr und bei Lustenau WR eine Abnahme von 0.8 µg/m³/Jahr.

3.3.2. Trend auf Basis der Halbstundenwerte von NO₂

In diesem Abschnitt werden die relativen Tagesgänge und die Perzentile auf Basis der Halbstundenwerte untersucht.

Für NO₂ werden grafisch zwei Beispiele für Feldkirch (straßennah) und Lustenau WR (Hintergrund) gegeben.



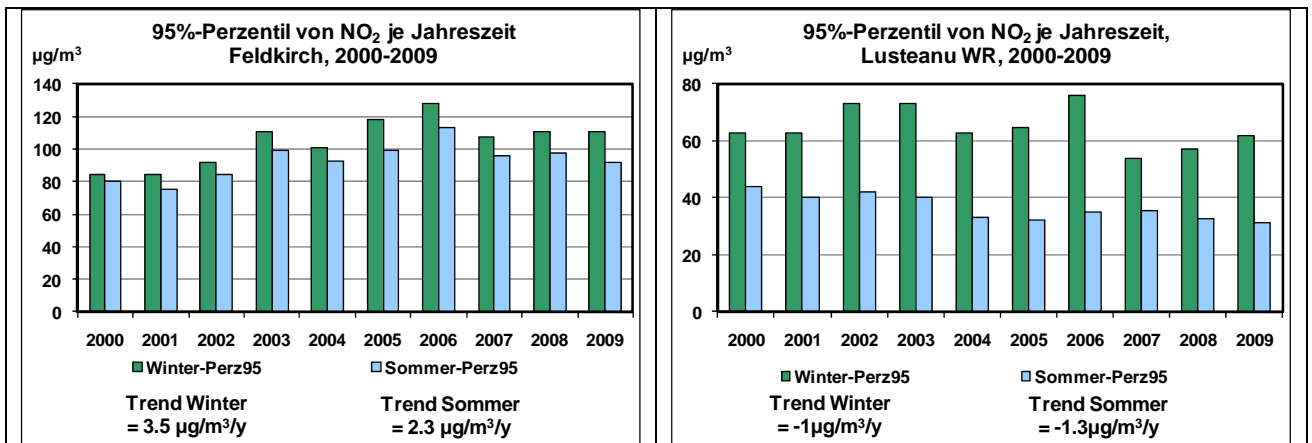


Abbildung 3.9: Relativer Tagesgang im Winter und 95%-Perzentil von NO₂ (Halbstunden Werte), Feldkirch und Lustenau WR (2000-2009).

In Lustenau WR wird das relative Minimum im Tagesverlauf im 2000 am Morgen erreicht, sonst am Nachmittag.

Generell haben sich die Minimumwerte (in % des Halbjahresmittels) erniedrigt und die Maximumwerte erhöht. Dies bedeutet, dass sich der mittlere Tagesgang verschärft hat, im Sommer mehr als im Winter.

3.3.3. Tage mit hohen NO₂-Immissionen (Hochepisoden)

Die Anzahl der Tage, die zu den 10% der Tage mit den höchsten Immissionen über die gesamte Untersuchungsperiode gehören, schwankt stark von Jahr zu Jahr. Die Jahre 2003 und 2006 stechen hervor.

Die Mittelwerte dieser Tage schwankt hingegen nur sehr wenig von Jahr zu Jahr. Die Anzahl Phasen mit ununterbrochener Folge hoch belasteter Tage schwankt wiederum deutlich.

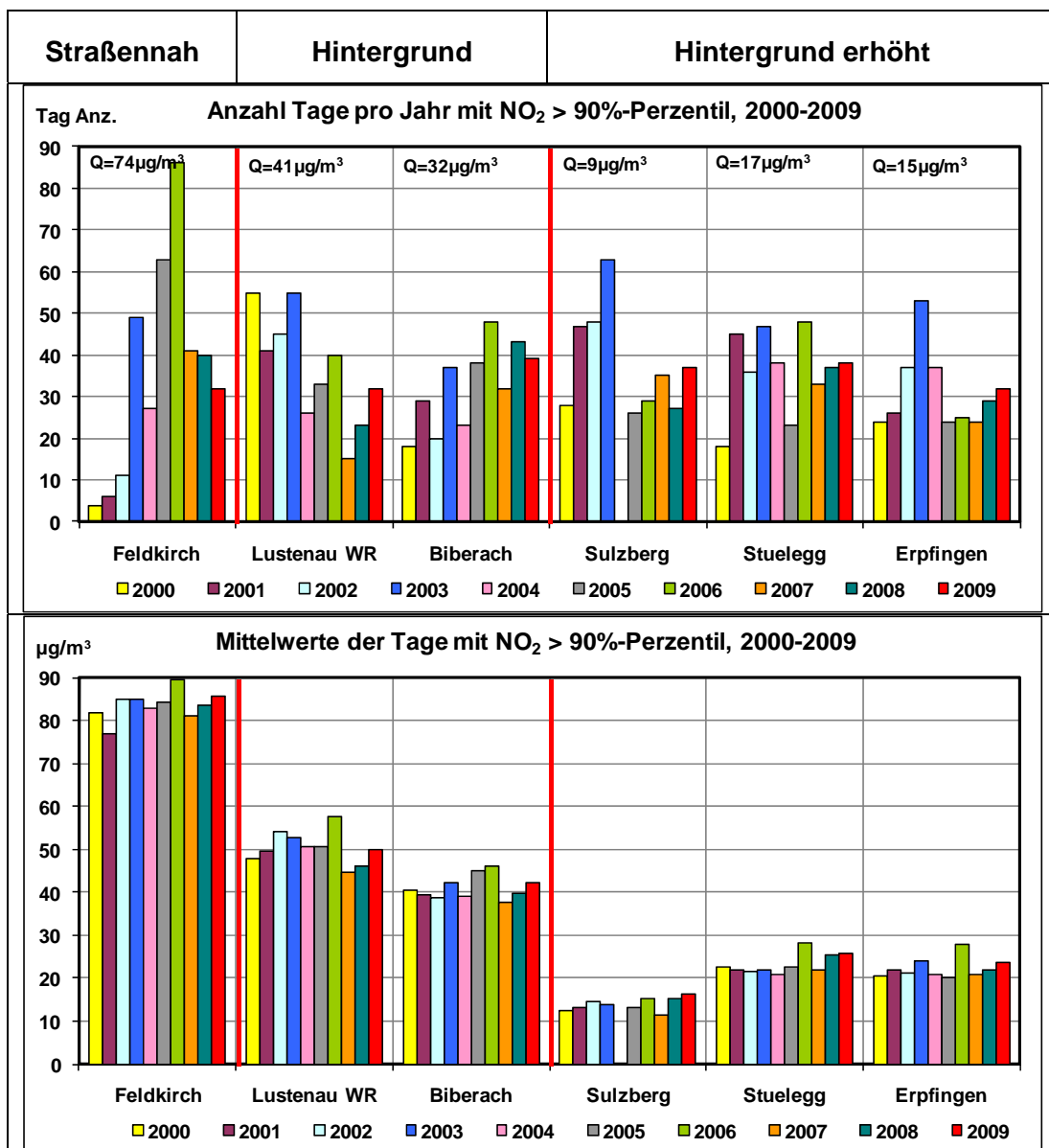


Abbildung 3.10: Anzahl bzw. Mittelwerte der Tage mit NO₂>90%-Perzentil und Anzahl Phasen (mit ununterbrochener Folge von solchen Tagen) in Vorarlberg und Umgebung, 2000-2009.

3.4. PM10-Immissionen von 2000 bis 2009

Die Feinstaubkonzentration (PM10) wird an 8 Stationen als Tagesmittelwert (mit Digitalgeräten) erfasst. An der Messstelle Feldkirch (Bärenkreuzung) werden zusätzlich auch die Halbstundenwerte seit 2000 kontinuierlich gemessen. Die Analysen auf Basis der Halbstundenwerte können deshalb nur für Feldkirch durchgeführt werden; die übrigen Untersuchungen werden auch für Feldkirch anhand der Digitalwerte durchgeführt.

Im Überblick zu den PM10-Jahresmitteln zeigen die Jahre 2003 und 2006 generell erhöhte Werte.

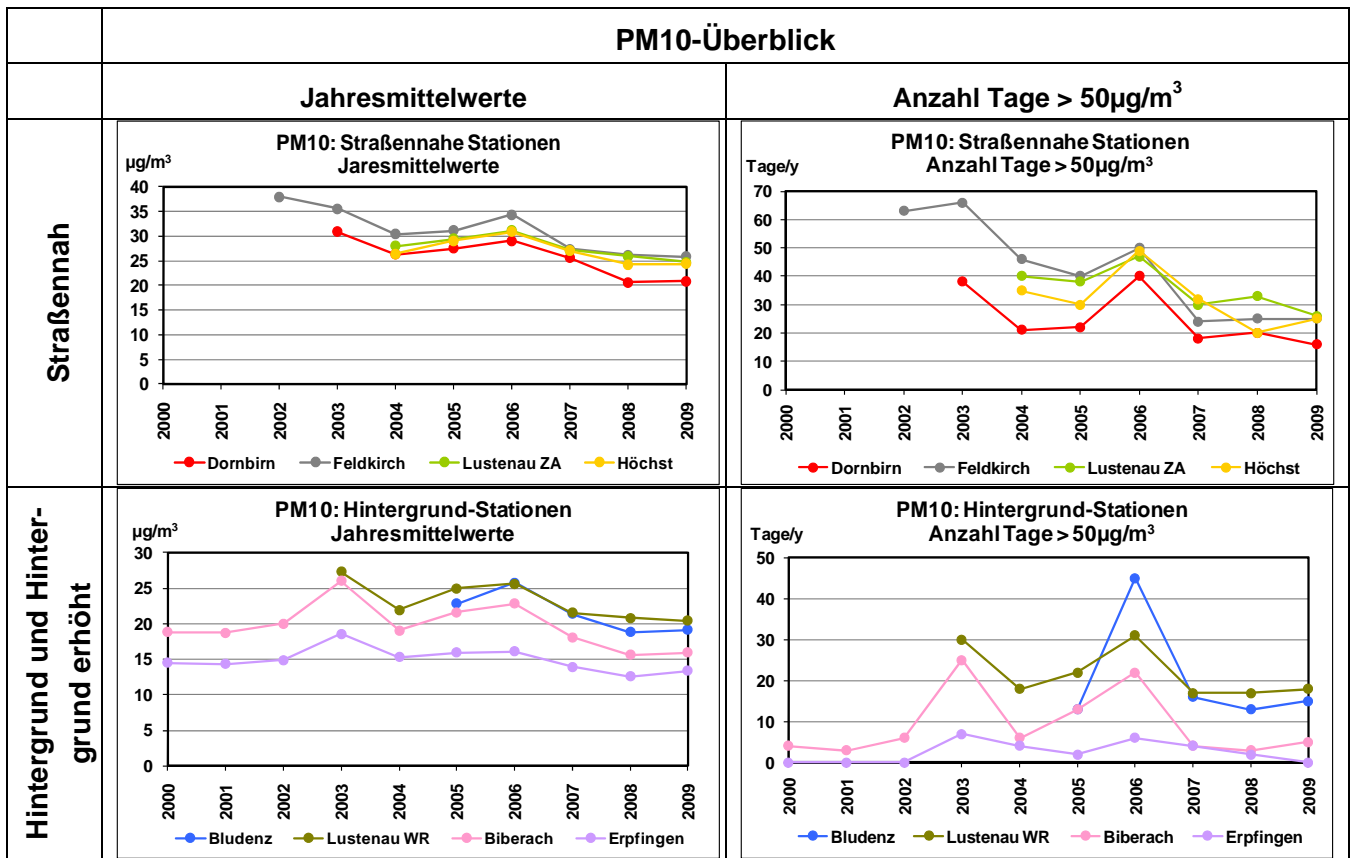
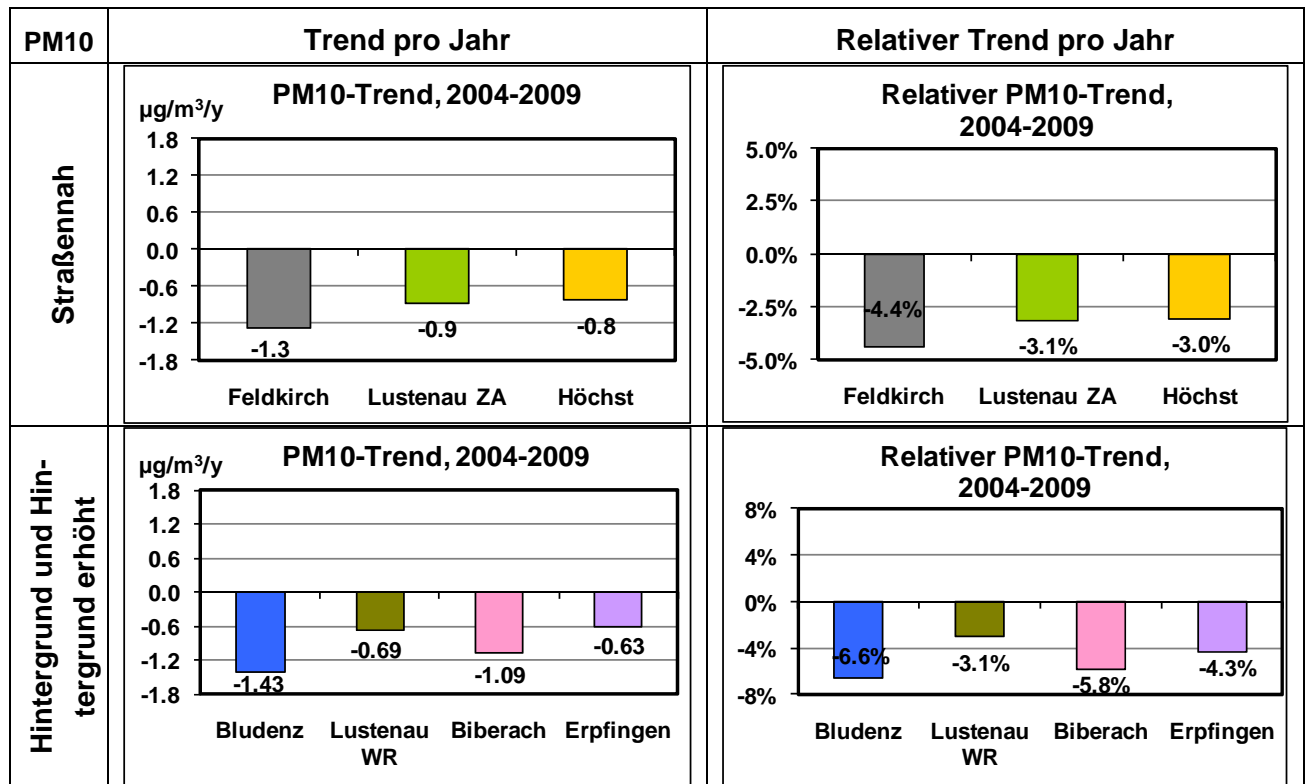


Abbildung 3.11: PM10-Überblick für alle Messstationen: Jahresmittelwerte und Anzahl Tage > 50 µg/m³, 2000-2009.

Die Anzahl Tage mit Grenzwertüberschreitung reagiert ähnlich wie die Jahresmittel auf Jahre mit schlechteren Ausbreitungsbedingungen. Sie schwanken aber deutlich mehr, vor allem bei den Hintergrundstationen.

3.4.1. Trend der Jahresmittelwerte von PM10

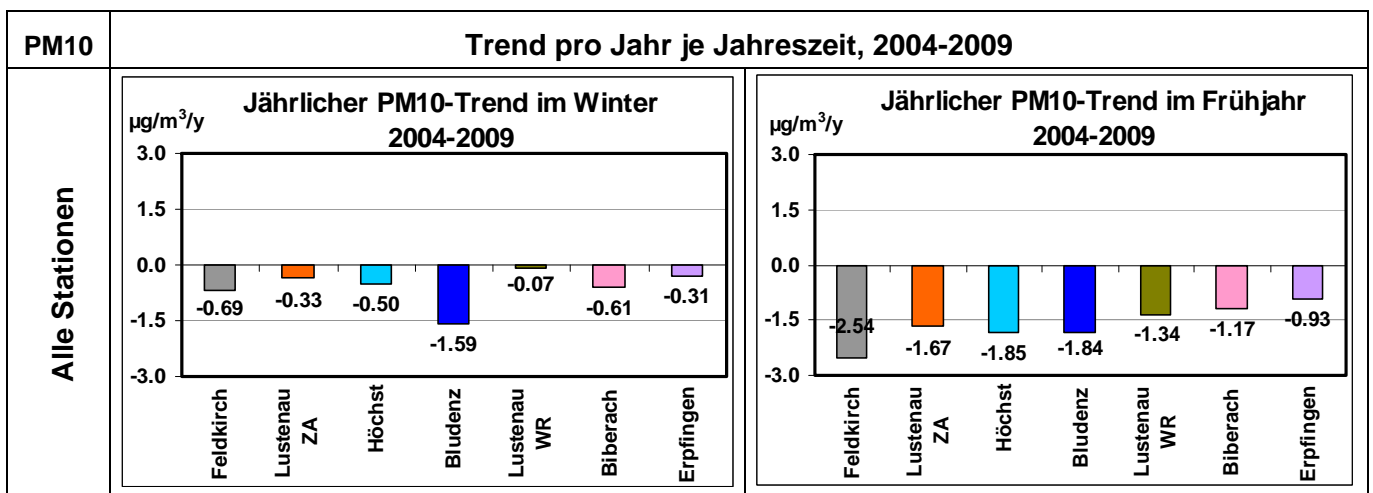
Beim PM10 wird auf Grund der Datenlage der Trend nur für die Periode **2004 – 2009** untersucht. Es werden der absolute Trend (in Konzentrationsänderung/Jahr) und der relative Trend (in %/Jahr) angegeben. Wegen der Sperrung der Stadtstrasse im 2008 wird für Dornbirn kein Trend angegeben.

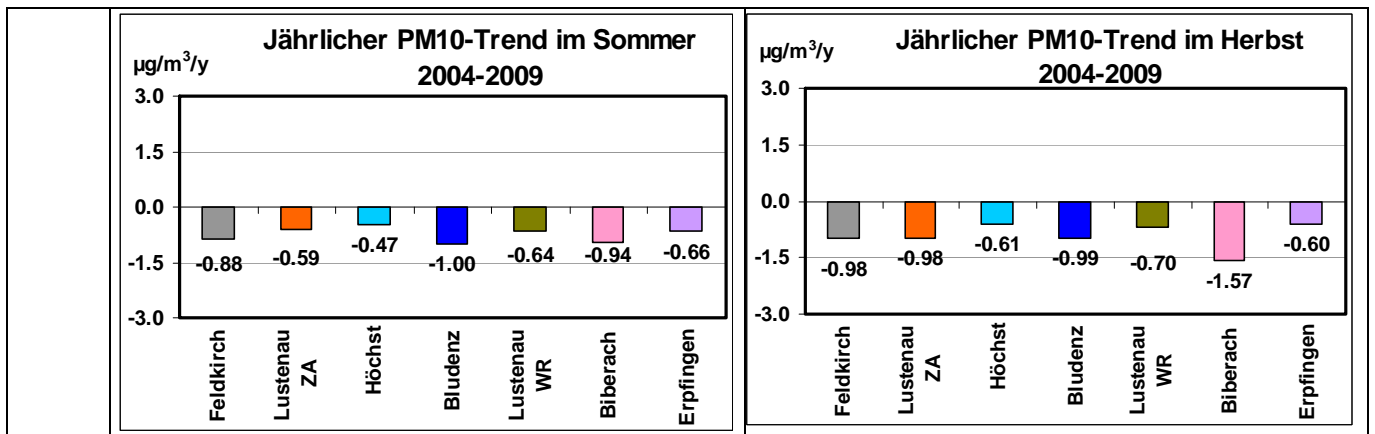


* Für Bludenz sind die Daten von 2005-2009.

Abbildung 3.12: Absoluter und relativer PM10-Trend pro Jahr je Stationsgruppe in Vorarlberg und Umgebung, 2004-2009.

Man findet durchwegs Trends zu abnehmenden Jahresmitteln.





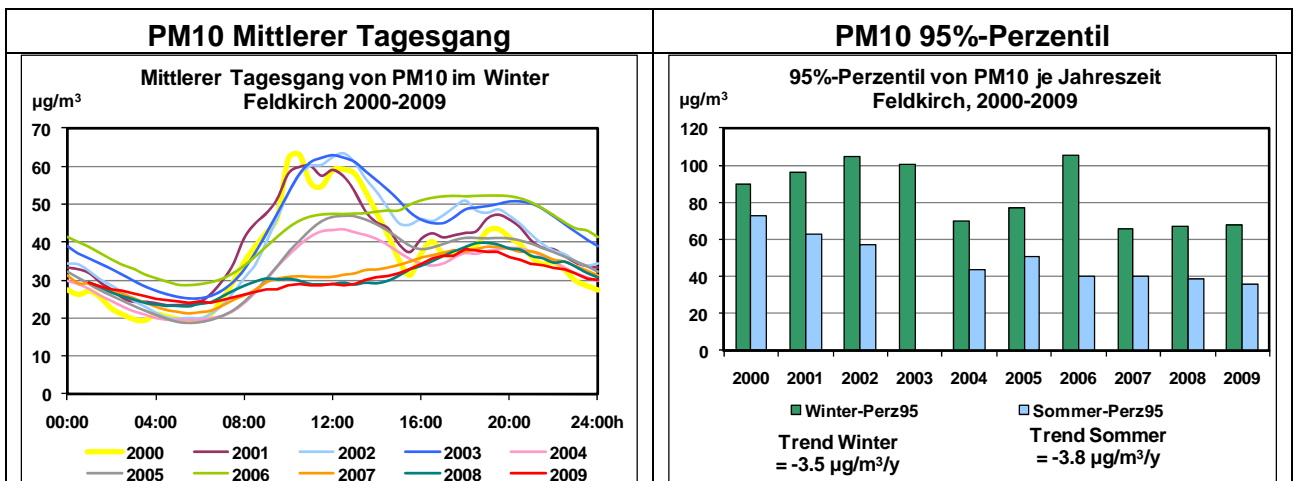
* Für Bludenz sind die Daten von 2005-2009.

Abbildung 3.13: Jährlicher PM10-Trend je Jahreszeit für alle Stationen in Vorarlberg und Umgebung, 2004-2009.

Im Frühjahr sind die jährlichen Abnahmen deutlich größer als zu den übrigen Jahreszeiten.

3.4.2. Trend auf Basis der Halbstundenwerte von PM10 bei Feldkirch

In diesem Abschnitt werden die relativen Tagesgänge und die Perzentile auf Basis der Halbstundenwerte untersucht. Zur Erklärung s. Ausführungen zu Beginn des Kapitels 3. Halbstundenwerte von PM10 stehen nur für Feldkirch seit 2000 zur Verfügung.



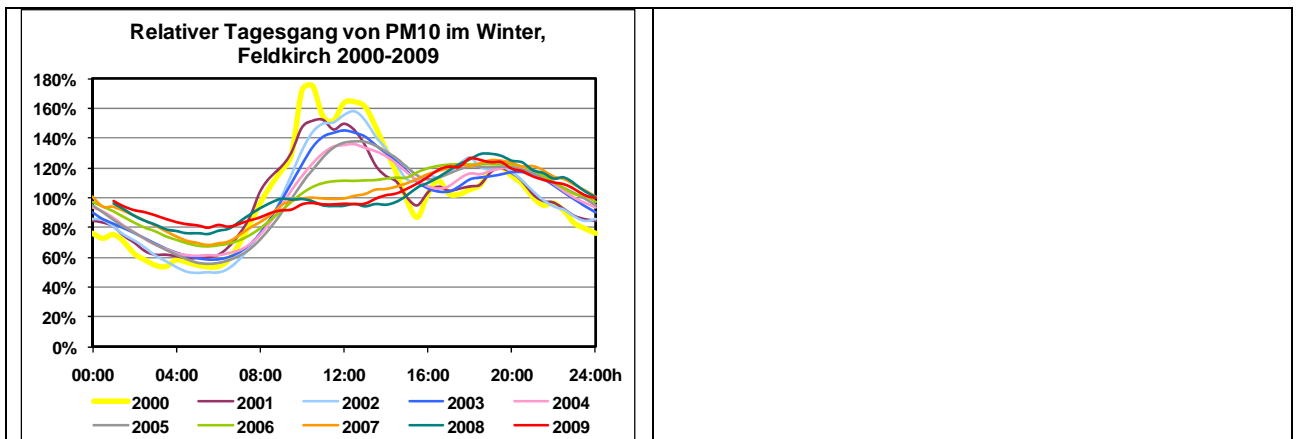


Abbildung 3.14: Absoluter und relativer Tagesgang im Winter und 95%-Perzentil von PM10 (Halbstundenwerte), Feldkirch (2000-2009).

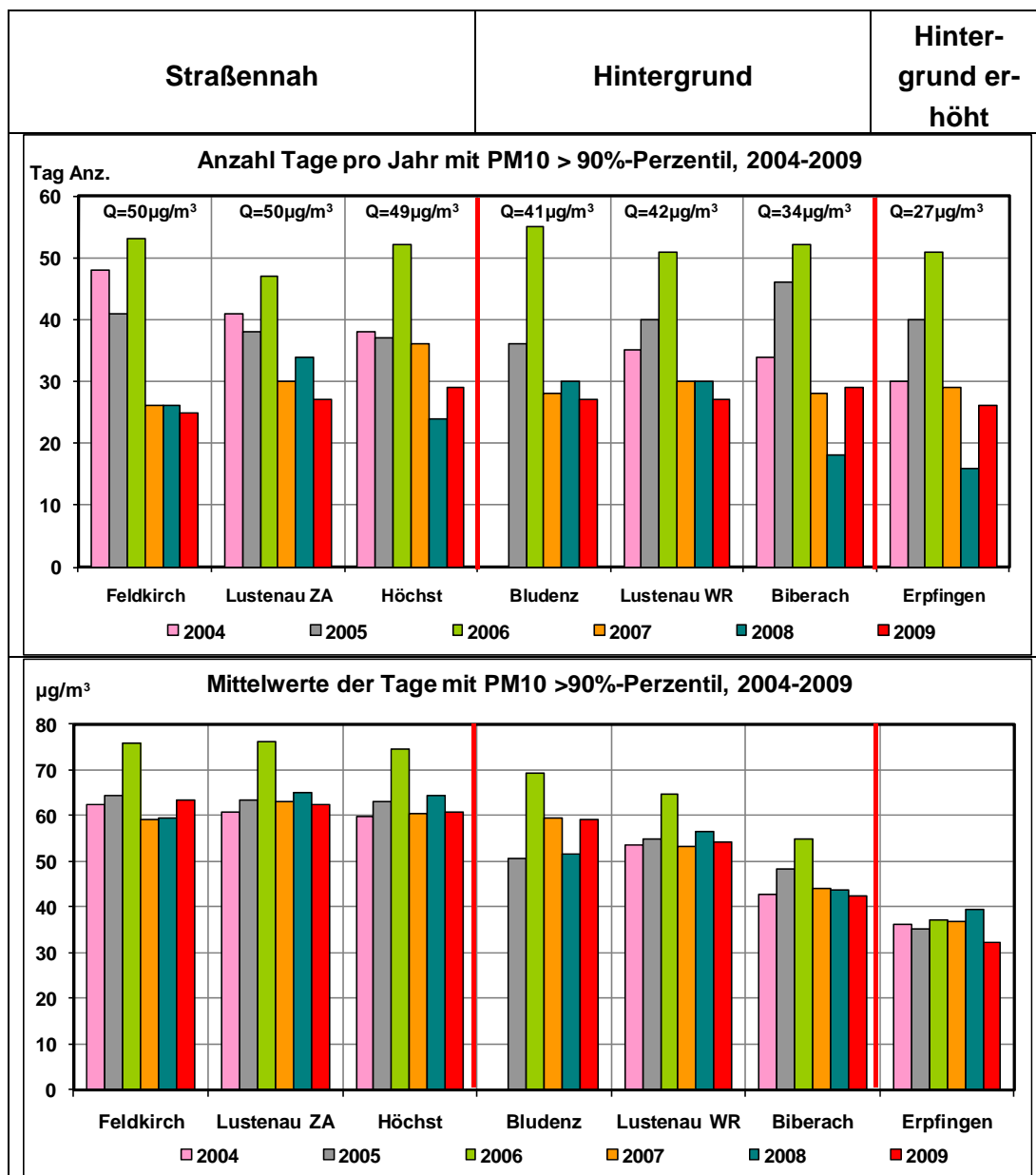
Im Sommer 2003 gab es einen größeren Datenausfall.

Der mittlere Tagesgang hat sich über die Jahre 2000 – 2009 markant verflacht. Dies kann im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter erklärt werden.

3.4.3. Tage mit hohen PM10-Immissionen (Hochepisoden)

Die Anzahl der Tage, die zu den 10% der Tage mit den höchsten Immissionen über die gesamte Untersuchungsperiode gehören, schwankt stark von Jahr zu Jahr. Das Jahr 2006 sticht hervor.

Die Mittelwerte dieser Tage sind wie bei den Stickoxiden ebenfalls ziemlich ähnlich von Jahr zu Jahr, außer dass 2006 auch heraus sticht. Die Anzahl Phasen mit ununterbrochener Folge hoch belasteter Tage schwankt stark, ohne dass eine Systematik erkennbar wäre.



* Für Bludenz sind die Daten für 2005-2009.

Abbildung 3.15: Anzahl bzw. Mittelwerte der Tage mit PM10>90%-Perzentil in Vorarlberg und Umgebung, 2004-2009.

3.5. Ozon-Immissionen von 2000 bis 2009

Ozon wird an den sechs Hintergrundstationen gemessen (und einige Jahre in Dornbirn, was aber nicht weiter ausgewertet wurde).

Im Überblick zu den Ozon-Jahresmitteln zeigt das Jahr 2003 generell erhöhte Werte.

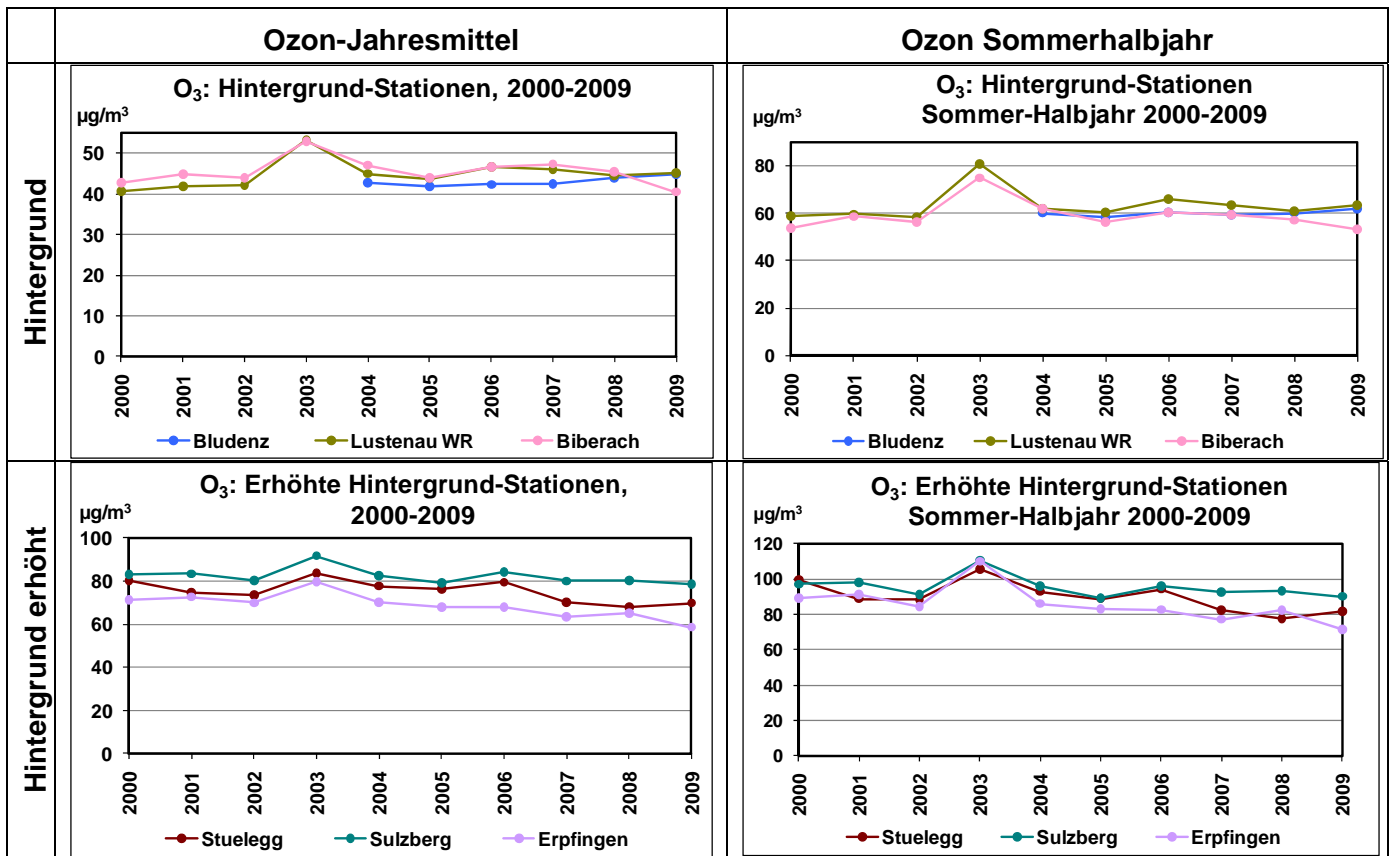


Abbildung 3.16: Jahresmittel und Sommerhalbjahresmittel von Ozon, alle Messstationen, 2000-2009.

3.5.1. Trend der Jahresmittelwerte von Ozon

Es werden der absolute Trend (in Konzentrationsänderung/Jahr) und der relative Trend (in %/Jahr) angegeben. Die Trends für das Gesamtjahr und das Sommerhalbjahr entsprechen sich durchwegs.

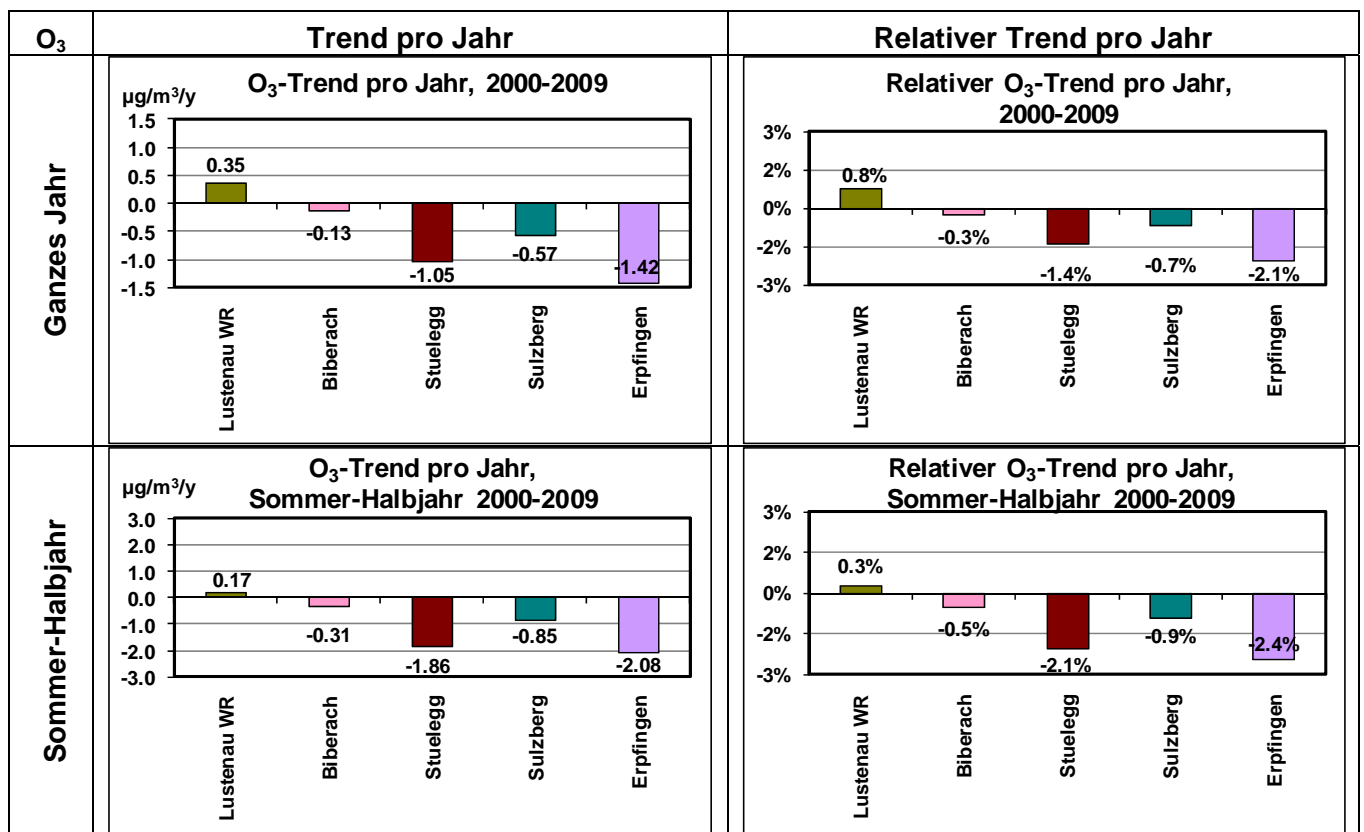


Abbildung 3.17: Absoluter und relativer Ozon-Trend pro Jahr für alle Stationen für ganzes Jahr und im Sommer-Halbjahr in Vorarlberg und Umgebung, 2000-2009.

Die erhöhten Stationen zeigen eine Ozonabnahme, die im urbanen Hintergrund liegenden Stationen zeigen keine Veränderung. Dies steht in Einklang mit der allgemeinen Beobachtung, dass im Zuge der allmählichen Verbesserung der Luftqualität das Ozon näher an die Städte rückt (luftchemische Prozesse).

3.5.2. Trend auf Basis der Halbstundenwerte von Ozon

In diesem Abschnitt werden die Perzentile auf Basis der Halbstundenwerte untersucht.

Es werden die Daten der Stationen Lustenau Wiesenrain, Stuelegg und Sulzberg herangezogen.

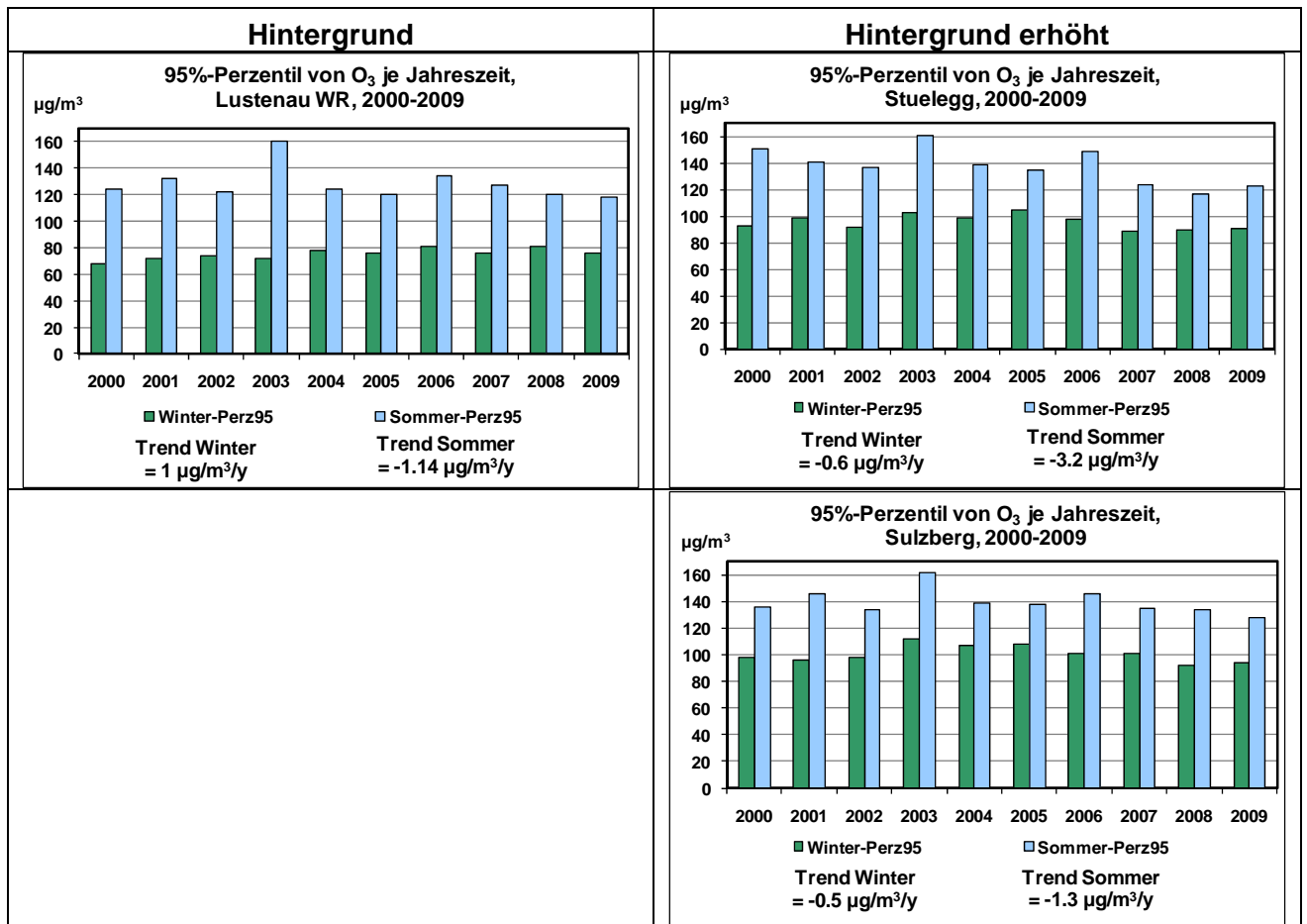


Abbildung 3.18: 95%-Perzentil von Ozon (Halbstundenwerte), 2000-2009.

Im Sommer haben sich die Perzentile generell verringert. Im Winter finden wir etwa gleichbleibende Perzentile bei den erhöhten Stationen, jedoch eine leichte Zunahme bei Lustenau Wiesenrain (WR).

3.5.3. Tage mit hohen Ozon-Immissionen (Hochepisoden)

Die Anzahl der Tage, die zu den 10% der Tage mit den höchsten Immissionen über die gesamte Untersuchungsperiode gehören, schwankt deutlich von Jahr zu Jahr. Das Jahr 2003 sticht sehr markant hervor.

Die Mittelwerte dieser Tage schwankt hingegen auch beim Ozon nur wenig von Jahr zu Jahr, selbst im 2003 war das Mittel dieser Tage nur wenig höher als in den übrigen Jahren. Die Anzahl Phasen mit ununterbrochener Folge hoch belasteter Tage schwankt wiederum deutlich, je nach meteorologischem Ablauf.

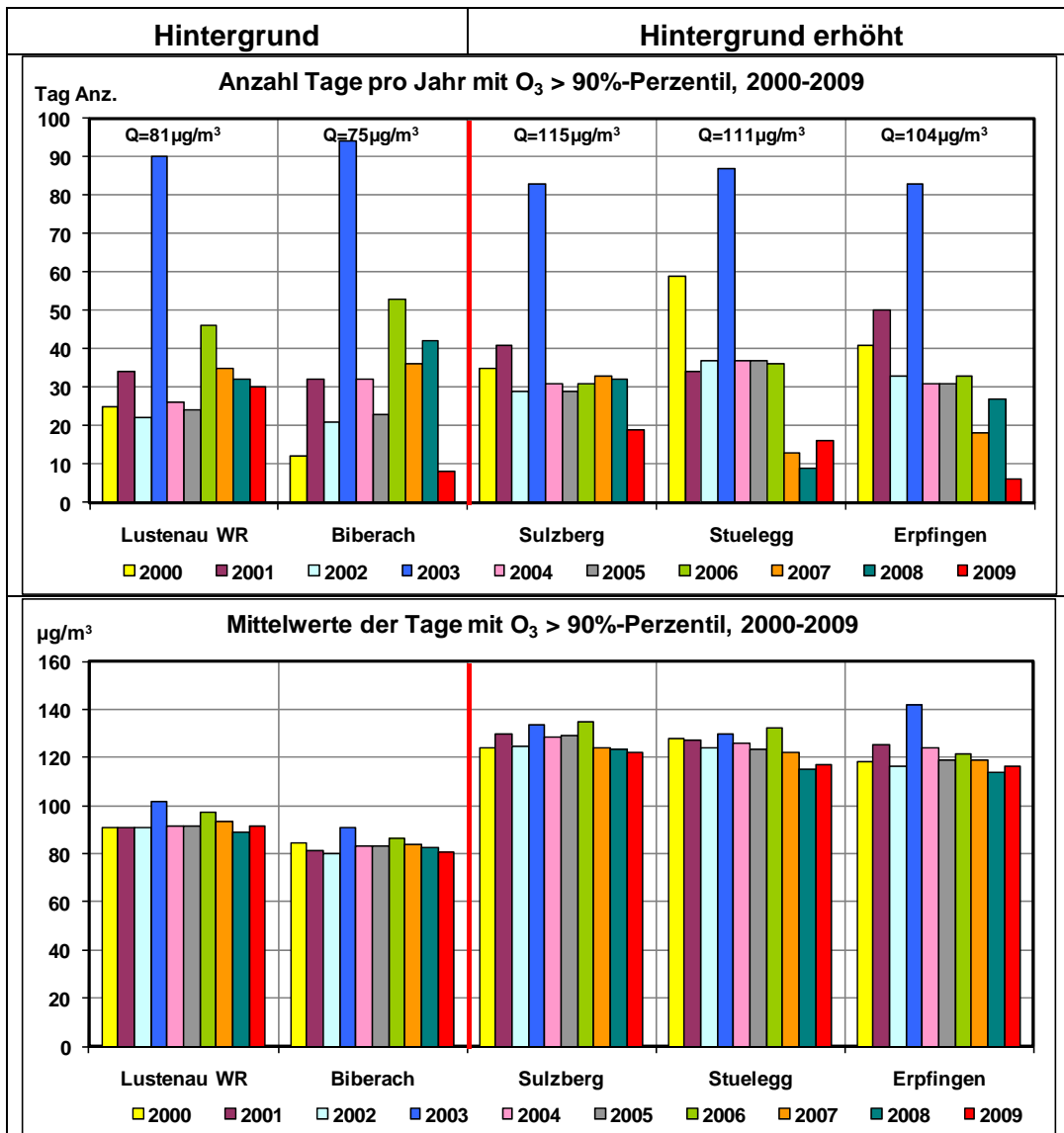


Abbildung 3.19: Anzahl bzw. Mittelwerte der Tage mit Ozon>90%-Perzentil in Vorarlberg und Umgebung, 2000-2009.

Die Anzahl Tage mit hohen Ozonimmissionen war im 2009 außer im urbanen Umfeld von Lustenau WR überall markant niedriger. Dieser 'Prozess' hatte sich auf der Stuelegg schon im 2007 vollzogen. Er kann im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter untersucht werden, ist aber sehr auffällig.

3.6. CO-Immissionen von 2000 bis 2009 bei Feldkirch

Die CO-Immissionen sind nur bei Feldkirch gemessen worden.

3.6.1. Verlauf der Jahresmittelwerte von CO

Die CO-Jahresmittel bewegten sich zwischen 0.5 und 1 mg/m³.

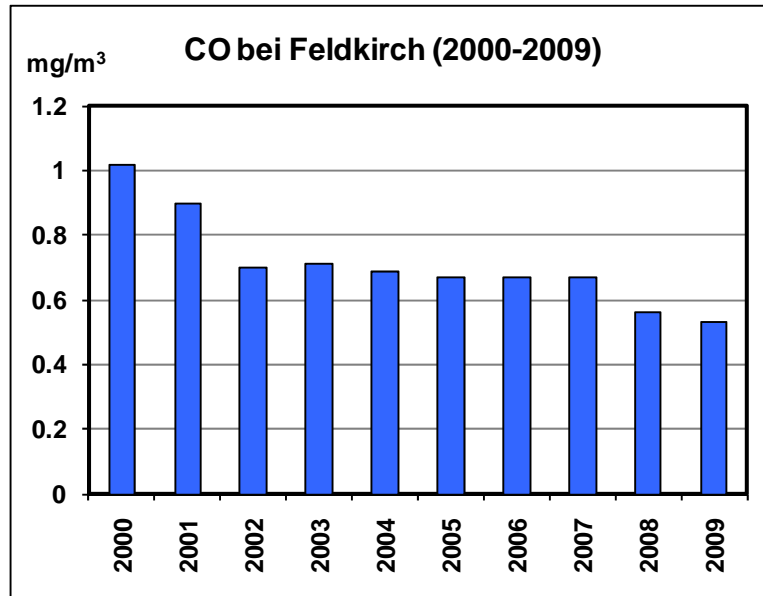


Abbildung 3.20: CO-Jahresmittel bei Feldkirch, 2000-2009.

3.6.2. Trend der Jahresmittelwerte von CO

Es werden der absolute Trend (in Konzentrationsänderung/Jahr) und der relative Trend (in %/Jahr) angegeben.

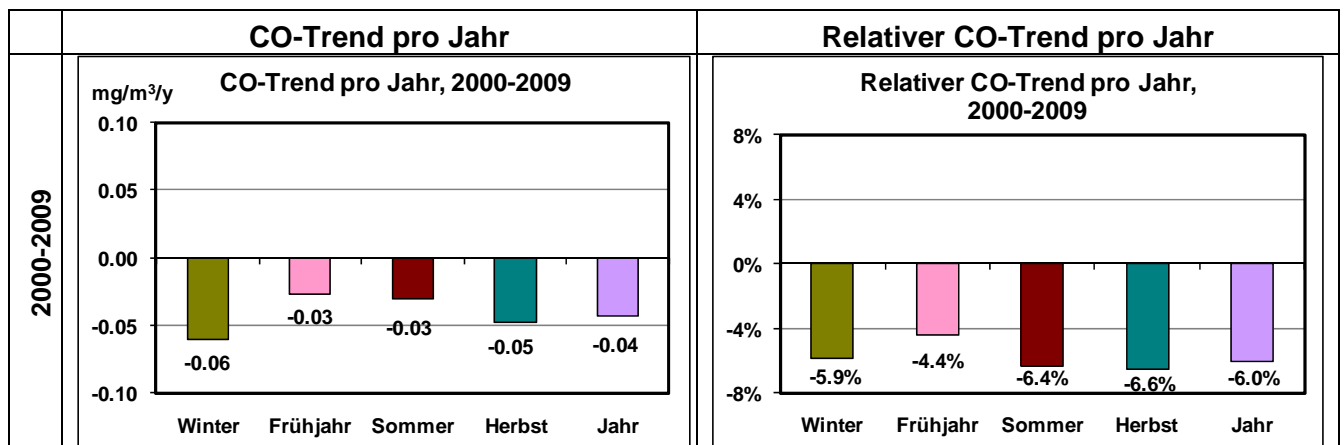


Abbildung 3.21: Absoluter und relativer CO-Trend pro Jahr für das Gesamtmittel und je Jahreszeit bei Feldkirch, 2000-2009.

Es zeigt sich ein markanter negativer Trend beim CO, welches sich von 2000 – 2009 etwa halbiert hat.

4. Meteorologische Parameter in Vorarlberg

Drei meteorologische Größen, die lufthygienisch relevant sind, wurden in dieser Studie untersucht: Die Windgeschwindigkeit, die Temperatur und die thermischen Inversionen.

4.1. Die Windgeschwindigkeit in Vorarlberg

Über die Jahre hat sich die mittlere Windgeschwindigkeit bei den Vorarlberger Messstationen kaum geändert.

4.2. Temperatur in Vorarlberg

Die Temperatur lag für sechs Stationen vor.

4.2.1. Temperatur-Trend in Vorarlberg

Alle Messstationen weisen auf eine Erwärmung hin, vor allem in der zweiten Hälfte der Dekade. Diese Erwärmungsraten sind jedoch stark von den temporären meteorologischen Gegebenheiten abhängig und wesentlich höher als der langfristigen globalen Klimaerwärmung entsprechen würde. Das bedeutet, auch wenn ein paar kühlere Jahre folgen würden, wäre damit der langfristige Trend noch keineswegs gebrochen.

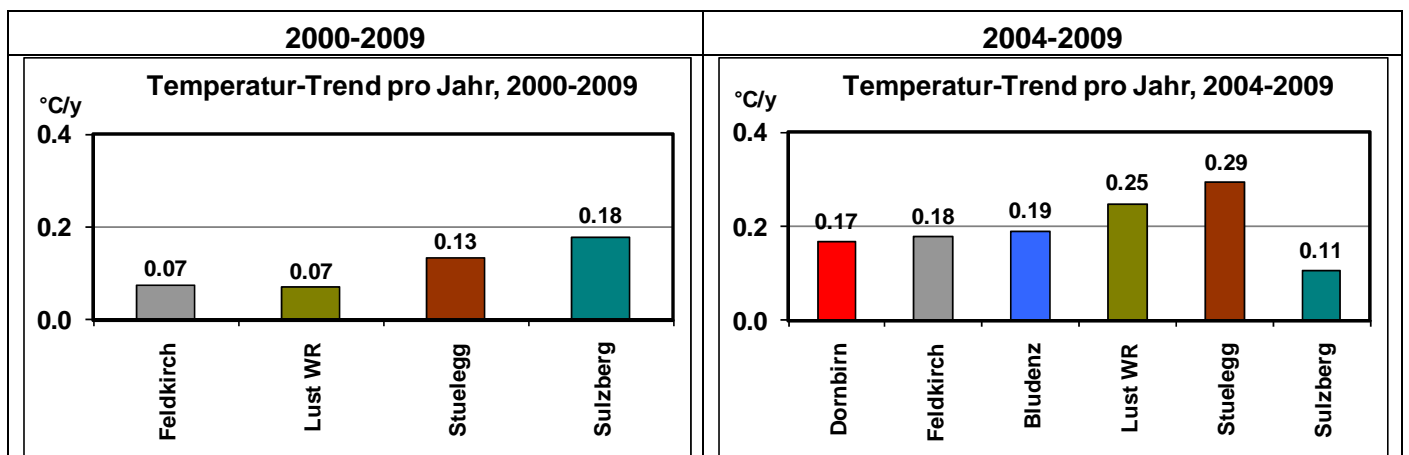


Abbildung 4.1: Temperatur-Trend in Vorarlberg, 2000-2009 und 2004-2009.

4.2.2. Verlauf der Heizgradzahlen in Vorarlberg

Die Heizgradzahl (HGZ) ist ein Maß für die aufgewendete Heizenergie und damit auch eine indirekte lufthygienische Maßzahl. Sie ist ein Tageswert, und zwar die positive Differenz der Tagesmitteltemperatur zu 12 °C, sofern diese geringer ist als 12 °C; ansonsten ist sie null.

Der Verlauf der mittleren täglichen Heizgradzahl je Jahr ist wesentlich unruhiger als der Temperaturverlauf, da es bei der HGZ stark auf kalte Episoden ankommt. Tendenziell hat jedoch die HGZ etwas abgenommen, für eine effektive Aussage zur Entwicklung der Heizgradzahl müssten längere Messreihen der Temperatur untersucht werden.

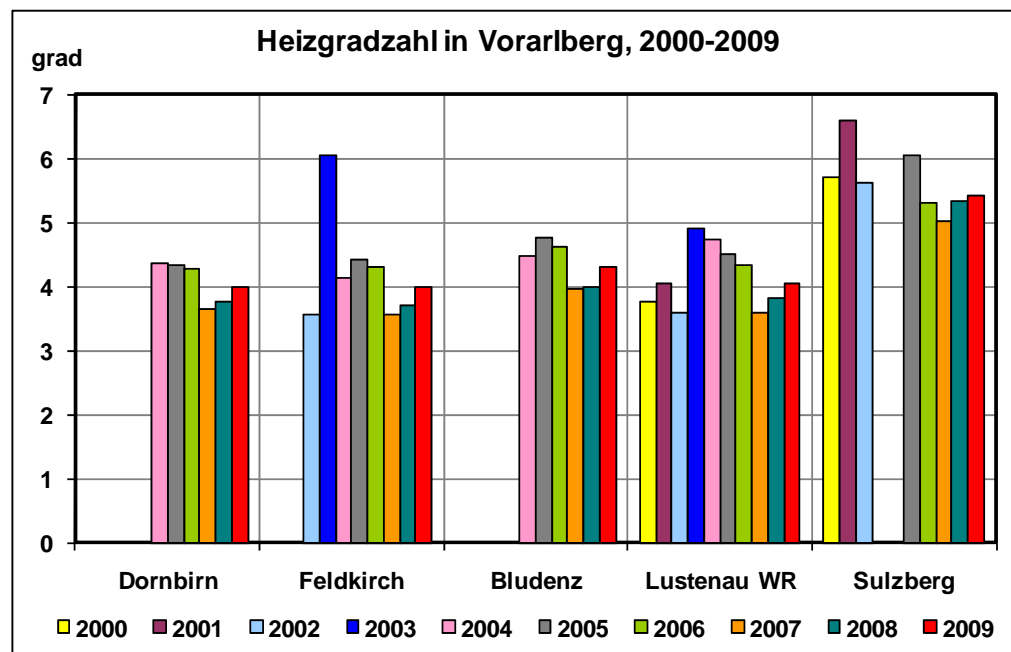


Abbildung 4.2: Mittlere tägliche Heizgradzahl je Jahr in Vorarlberg, 2000-2009.

4.3. Inversionshäufigkeit in Vorarlberg

Es wurde das Temperaturprofil Dornbirn ARA-Gäbris (1240 m ü.M.) verwendet. Die Häufigkeit von Inversionen im Profil Dornbirn-Gäbris ist ein guter Indikator für das Auftreten dieses für die Immissionen wichtigen Einflussfaktors.

Die Inversionshäufigkeit schwankt von Jahr zu Jahr deutlich, besonders markant in den einzelnen Jahreszeiten. Die Jahre 2003 und 2006 stechen mit erhöhten Inversionshäufigkeiten hervor.

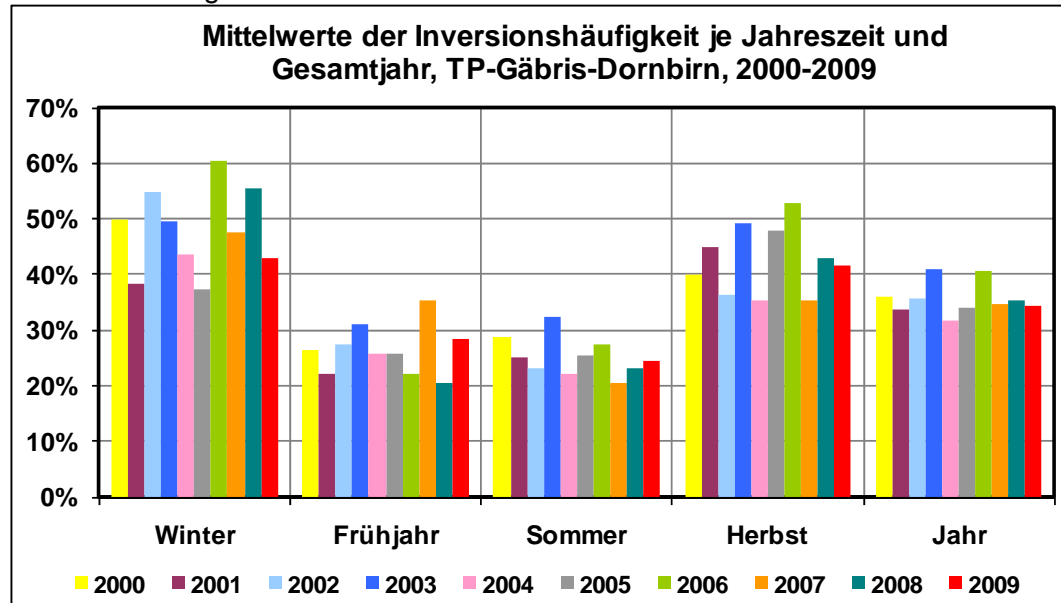


Abbildung 4.3: Mittelwerte der Inversionshäufigkeit je Jahreszeit und Gesamtjahr, TP Dornbirn-Gäbris, 2000-2009.

5. Straßenverkehr im Vorarlberger Rheintal

5.1. Entwicklung des Straßenverkehrs 2003 - 2008

Insgesamt wurden 7 Verkehrszählstellen in die Untersuchungen einbezogen, die alle in einem Bezug zu entsprechenden Immissionsmessstellen stehen, bzw. bei einer Zählstelle handelt es sich um die Autobahn A14.

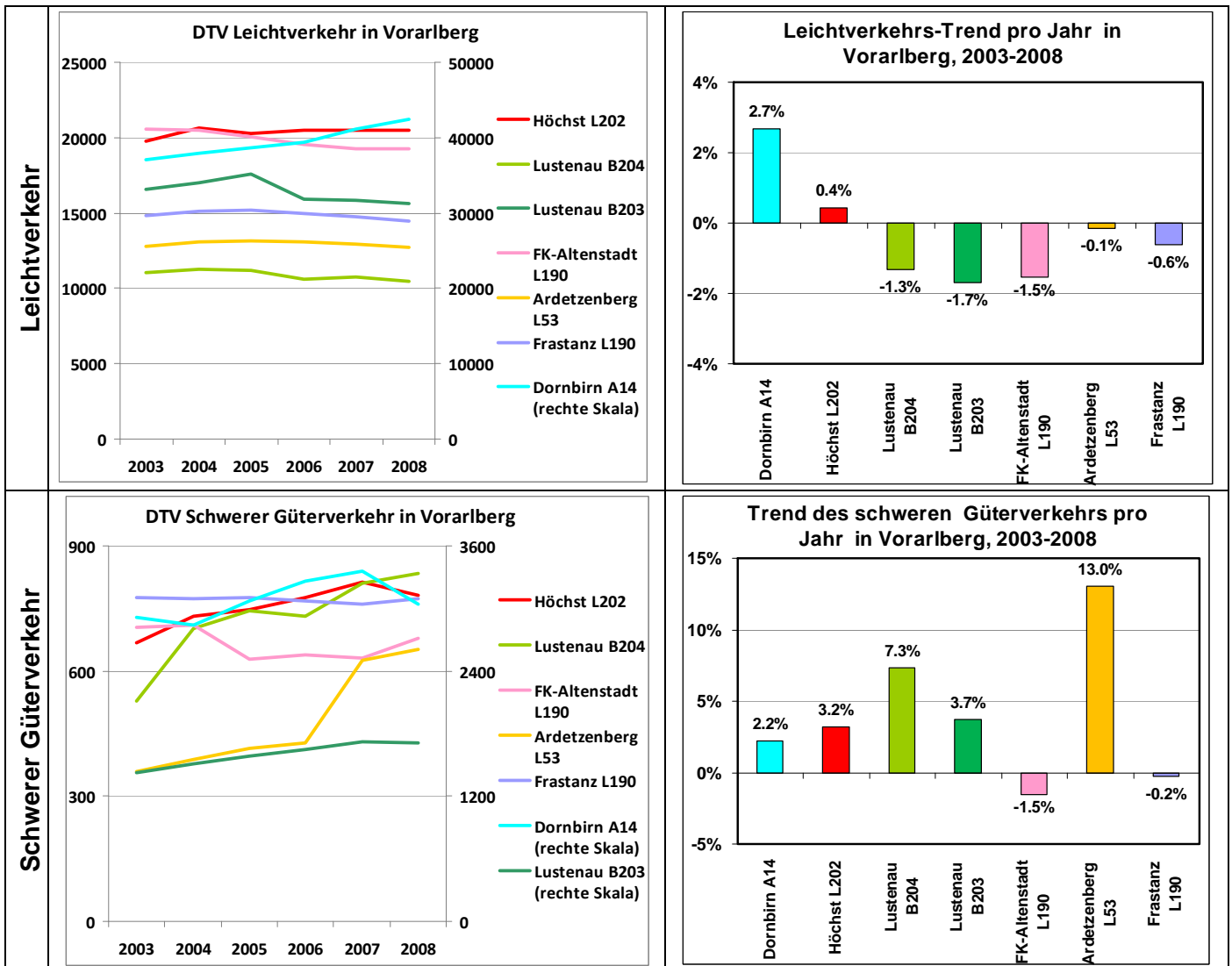
Auf der A14 hat der Gesamtverkehr in den letzten sechs Jahren deutlich zugenommen, auf den anderen Straßenabschnitten hat sich der Gesamtverkehr nur wenig geändert.

Betrachtet man jedoch die einzelnen Fahrzeugkategorien, so differenziert sich das Bild.

Beim Leichtverkehr (im Wesentlichen Pkw) finden wir auf der A14 ein deutliches Wachstum, ansonsten mit Ausnahme von Höchst durchwegs Abnahmen.

Beim schweren Güterverkehr finden wir mit zwei Ausnahmen deutliche Zunahmen. Auf der L190 bei Altenstadt ergibt sich eine Abnahme, vermutlich wegen des eingeführten *road pricing* für Lastwagen; bei Frastanz blieb der schwere Güterverkehr stabil. Die Zunahmen wurden im 2008 – vor allem in den letzten Monaten – gebremst; zum Teil ergaben sich geringere Werte als 2007.

Markante Zunahmen haben alle Straßenabschnitte mit Ausnahme des Ardetzenbergtunnels bei den Bussen und Pkw mit Anhängern erfahren.



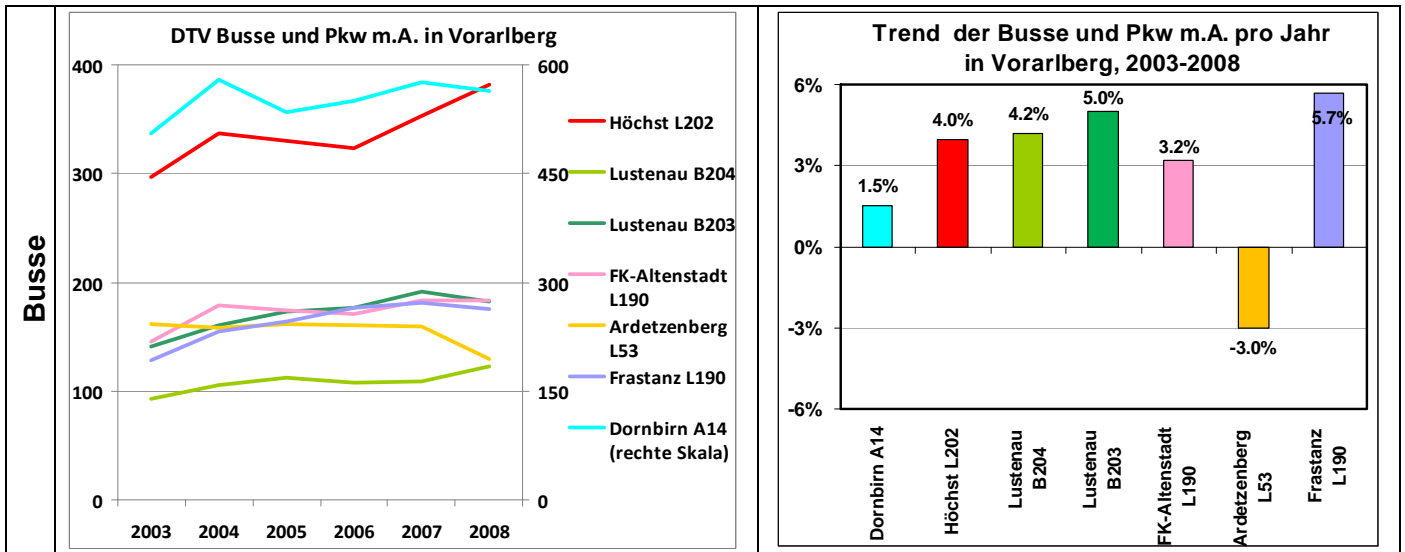


Abbildung 5.1: Leichtverkehr, schwerer Güterverkehr und Busse sowie Pkw mit Anhängern: Verlauf und jährlicher Trend im Vorarlberger Rheintal, 2003-2008.

Aus den kategorienbezogenen Verkehrszahlen wurden die Stickoxid-Emissionen des Straßenverkehrs abgeschätzt.

Die Strassen rund um die Bärenkreuzung in Feldkirch weisen sowohl Zunahmen als auch Abnahmen auf; die Gesamtwirkung auf die Immissionen kann von daher nicht direkt bestimmt werden. Die Autobahn A14 weist eine kleine Abnahme trotz der Verkehrszunahme auf, da sich die Emissionsfaktoren dort stärker reduziert haben. Bei Höchst und Lustenau Zollamt ergeben sich leichte Emissionszunahmen.

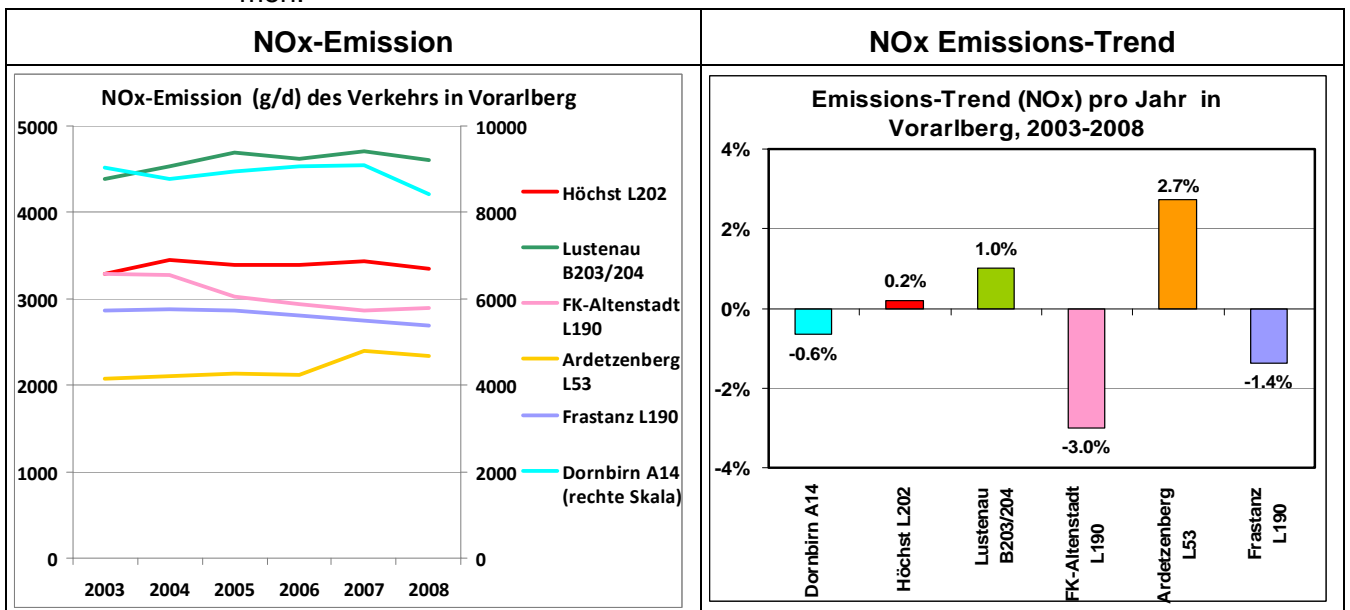


Abbildung 5.2: NOx-Emissionen (g/d) des Verkehrs: Verlauf und jährlicher Trend im Vorarlberger Rheintal, 2003-2008.

Zum Zeitpunkt der Berichterstellung lagen Verkehrsdaten für 2009 nur für die A14 und dort nur in den Kategorien <3.5 t und >3.5 t zulässiges Gesamtgewicht vor. Ein Vergleich mit den sonst verwendeten Fahrzeugkategorien war deshalb nicht möglich. In der Summe aller Fahrzeuge jedoch hat sich gezeigt (s. Abbildung 5.3), dass der Gesamtverkehr auf der A14 auch im 2009 weiter gewachsen ist. Die Zahlen für Fahrzeuge >3.5 t lassen jedoch vermuten, dass der Schwerverkehr im 2009 abgenommen hat.

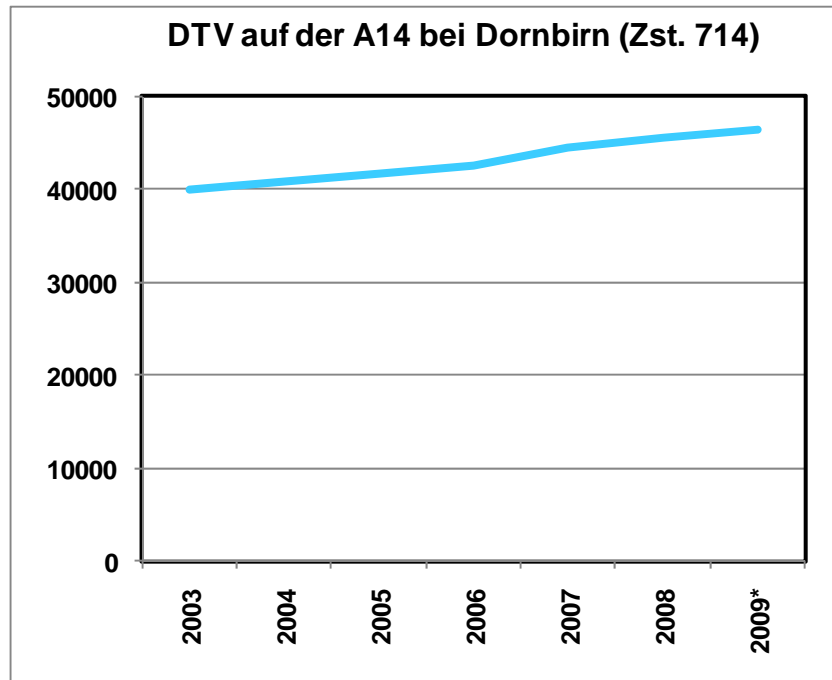


Abbildung 5.3: DTV auf der A14 bei Dornbirn (Zst. 714), 2003-2009. *2009: Nov 2008 – Okt 2009.

5.2. Effekt der Sperrung der Stadtstrasse (L190) in Dornbirn

Von Ende Januar bis Ende November 2008 wurde die Stadtstrasse in Dornbirn wegen eines Bauvorhabens teilweise gesperrt. Das Verkehrsaufkommen hat sich in diesem Jahr markant reduziert. Obwohl die nicht mehr auf der Stadtstrasse fahrenden Fahrzeuge wohl nur zum kleinen Teil nicht mehr gefahren sind, sondern sich einen anderen Weg in der Umgebung gesucht haben, sind die Immissionen an der Station an der Stadtstrasse ebenfalls deutlich gesunken (s. nächste Tabelle und nächste Abbildung). Verkehrsmaßnahmen können also einen beträchtlichen und direkt messbaren Effekt auf die Schadstoffbelastung der Luft haben. In der nachfolgenden Abbildung ist der Schwerverkehr aus Gründen der Erkennbarkeit mit dem Faktor 10 multipliziert worden.

Tabelle 5.1: Verkehrsaufkommen und Immissionen an der Messstation Dornbirn Stadtstrasse 2007 und 2008:

Dornbirn L190 (Stadtstrasse)	2007	2008	Abnahme
Gesamtverkehr [DTV]	18169	6388	-65%
SV [DTV]	708	222	-69%
NOx [ppb]	39.2	25.2	-36%
NO ₂ [µg/m ³]	33.6	24.4	-28%
PM10 [µg/m ³]	25.6	20.7	-19%

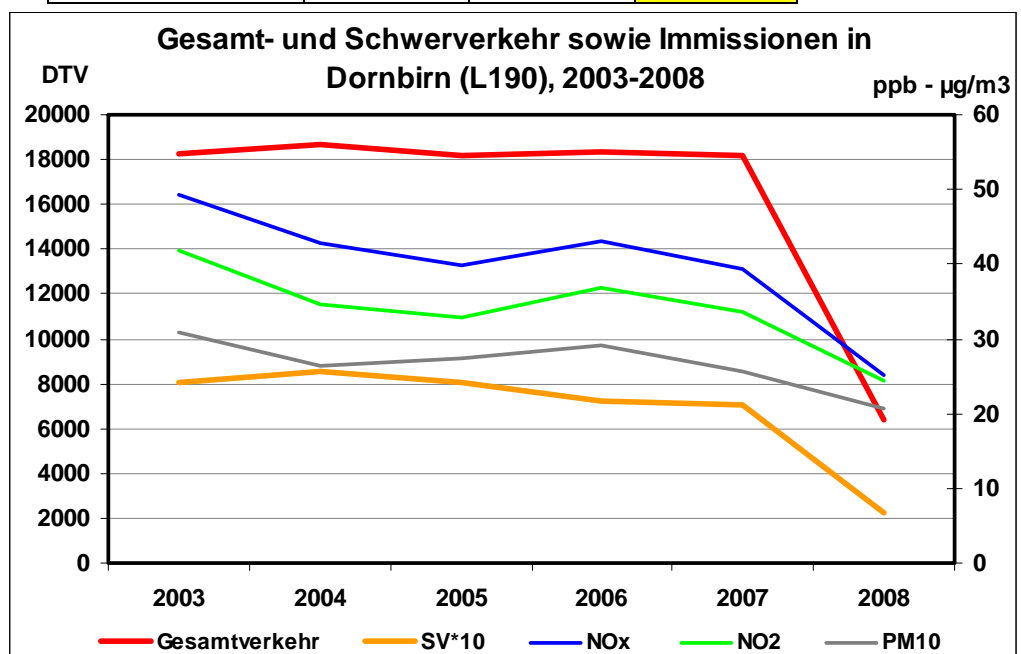


Abbildung 5.4: Gesamtverkehr, Schwerverkehr (SV*10) und Immissionen (NOx, NO₂ und PM10) in Dornbirn an der Stadtstrasse (L190), 2003-2008.

6. Langjährige Zusammenhänge zwischen Immissionen und Inversionshäufigkeit

Inversionen halten Immissionen in Bodennähe zurück und gehen deshalb mit erhöhten Immissionen einher. In diesem Kapitel wird der Zusammenhang zwischen Immissionen (NOx und PM10) und Inversionshäufigkeit visualisiert, einerseits auf der Basis von Jahresmittelwerten, andererseits je Jahreszeit.

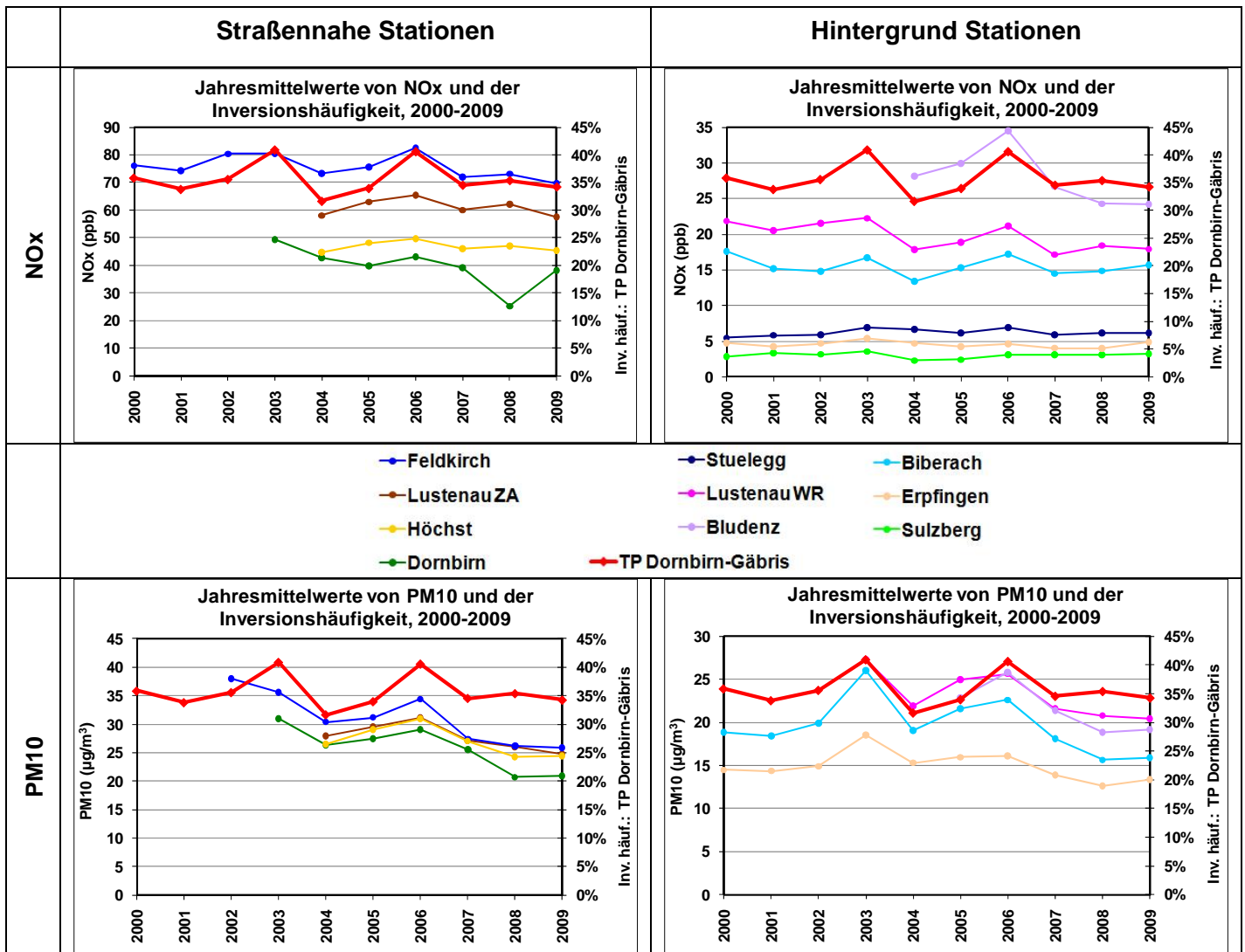


Abbildung 6.1: Jahresmittelwerte von NOx und PM10 und der Inversionshäufigkeit, 2000-2009 (Inv. häufig.: TP Dornbirn-Gäbris).

Die bei der Inversionshäufigkeit herausragenden Jahre 2003 und 2006 zeigen sich auch im Immissionsverlauf. Mehr Inversionen bedeuten also grundsätzlich auch mehr Immissionen.

7. Der 'wetterbereinigte' Trend der Immissionen

In Kapitel 3 wurden die Trends der Immissionen in Vorarlberg und einigen benachbarten Stationen direkt ausgehend von den Messwerten aufgezeigt. Insgesamt zeigt sich beim PM10 eine abnehmende, bei den Stickoxiden eine etwa

gleichbleibende Tendenz mit Variationen nach unten und oben. Es liegt auf der Hand, dass meteorologische Einflüsse sich auch auf die festgestellten Trends auswirken können, zumal die Messreihen der Immissionen nicht so lange sind. Um diese Einflüsse (zeitlicher Trend und Inversionen) voneinander zu trennen, ist eine multiple lineare Regression auf der Basis der Jahreswerte durchgeführt worden, beim PM10 noch ergänzt um den Einfluss der durchschnittlichen Wintertemperatur.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Ergebnisse für die Immissionen von NO_x, NO₂, PM10, Ozon und CO für alle 10 untersuchten Stationen, soweit gemessen.

Es bedeuten:

Imm.änd./y (= α): Die durchschnittliche jährliche Änderung der Immission (Jahrestrend) ohne Inversionseinfluss, quasi 'wetterbereinigt', denn die Inversionen stellen den wichtigsten meteorologischen Einflussfaktor für die Immissionen dar.

Imm.änd. von 0 - 100% Inv. (= β): Die durchschnittliche Immissionsänderung von 0 auf 100% Inversionshäufigkeit. Ein Wert von z.B. 80 ppb würde bedeuten, dass an der betreffenden Messstation eine Erhöhung der Inversionshäufigkeit um 1% die Immission im Durchschnitt um 0.8 ppb erhöhen würde.

Imm.änd. pro °C (= γ): Die durchschnittliche Immissionsänderung pro °C der Wintertemperatur. Ein Wert von z.B. -0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ würde bedeuten, dass an der betreffenden Messstation eine Erhöhung der durchschnittlichen Wintertemperatur um 1 °C die Immission im Durchschnitt um 0.4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ verringern würde.

Sockel (= ϵ): Der Betrag der Immission, der nicht auf einen zeitlichen Trend oder auf den Einfluss der Inversionshäufigkeit zurückgeführt werden kann. Das sind konstante Quellen, Grundbelastungen, andere meteorologische Einflüsse, lokale temporäre Quellen.

Korrelation: Korrelationskoeffizient. Wird fett gedruckt, wenn ≥ 0.86 , was eine hohe Korrelation in dem Sinne bedeutet, dass mehr als $\frac{3}{4}$ ($\rightarrow r^2$) der Variation der Immission den verwendeten Einflussfaktoren zugeschrieben werden können. Nur für diese Fälle wird von einem 'wetterbereinigten' zeitlichen Trend gesprochen.

Std.Abw: Die Standardabweichung zwischen Messwerten und anhand der Regression berechneten Werten der Immission.

rel.Std.Abw: Die prozentuale Standardabweichung, bezogen auf das Gesamtmit-tel der Immission über alle Jahre. Ein Maß für die Qualität der linearen Regression.

Es wurden zwei verschiedene lineare Regressionen durchgeführt: Einerseits auf Basis der Jahresmittelwerte für die Phase 2004 – 2009 für NO_x, NO₂, PM10, Ozon und CO (Kap. 7.1); andererseits auf Basis der Monatsmittelwerte für das Ozon in den Sommerhalbjahren. Diese letztere Regression wird im Kapitel 7.2 erklärt.

7.1. Ergebnisse für die Jahresmittelwerte

Die in Tabelle 7.1 dargelegten Ergebnisse werden im Folgenden kommentiert.

Kommentar:

- Mit drei Ausnahmen weisen die Stationen im Vorarlberger Rheintal und Bludenz für NO_x, NO₂ und PM₁₀ hohe bis sehr hohe Korrelationskoeffizienten zwischen 0.86 und 0.99 auf. Die relativen Standardabweichungen liegen mit einer Ausnahme bei lediglich 1 - 4%. Die lineare Regression ist also aussagekräftig.
- Auch für die Stickoxide an den erhöht liegenden Stationen Stuelegg und Sulzberg trifft dies zu. Die sechsjährige Messphase hat im Vergleich zur fünfjährigen zu einer deutlichen Erhöhung der Korrelationskoeffizienten geführt. Auch an diesen Stationen führen Inversionen überwiegend zu erhöhten Immissionen.
- Die beiden Stationen in Deutschland weisen bei den Stickoxiden insgesamt ungenügende Korrelationskoeffizienten auf. Beim PM₁₀ sind diese Koeffizienten zwar auch hoch, die relativen Standardabweichungen sind jedoch mehr als doppelt so groß wie bei den Vorarlberger Stationen. PM₁₀ ist einerseits eine überregionale Größe, und auch in Deutschland sind Maßnahmen gegen die Feinstaubbelastung ergriffen worden. Auf der anderen Seite liegen diese beiden Stationen nur bisweilen in der gleichen Inversionsschicht wie das Vorarlberger Rheintal; sie reagieren mehr auf die dortigen lokalen Verhältnisse.
- Dass die Immissionen an den erhöht liegenden und weit entfernten Stationen weniger gut berechnet werden können, ist eine Stärke des Regressionsmodells: Es bildet offensichtlich die lokalen Verhältnisse für die Vorarlberger Tallagen am besten ab.
- Die PM₁₀-Belastung hat 'wetterbereinigt' an den Stationen in den Vorarlberger Tallagen um 1 – 1.5 µg/m³ pro Jahr abgenommen. Die NO_x-Belastung weist eine nur angedeutete abnehmende Tendenz von 0 – (-1) ppb/Jahr auf. Bei Feldkirch und Bludenz ist die Abnahme deutlicher. Ähnlich hat die NO₂-Belastung überall mit 0 – (-0.8) µg/m³ pro Jahr kaum abgenommen, außer in Bludenz mit -1.8 µg/m³ pro Jahr.
- Im Trend bis 2008 wies Feldkirch noch eine NO₂-Zunahme an der Bärenkreuzung aus; dies entsprach den Erwartungen, da sich der Anteil direkt emittierten NO₂ bei den Diesel-Pkw in den letzten Jahren stark erhöht hat. Der NO₂-Anteil am gesamten NO_x an der Bärenkreuzung ist vor allem von 2002 – 2005 stark gestiegen (von 30 auf 40%); seit 2005 verharrt er bei ca. 40%, so dass nun an allen Stationen der NO₂-Trend in gedämpfter Form dem NO_x-Trend folgt. In gedämpfter Form deshalb, weil der **relative** NO₂-Anteil mit abnehmendem NO_x grundsätzlich steigt.

Tabelle 7.1: Ergebnisse der multiplen linearen Regression der Immissionen von 2004 - 2009 mit dem Jahr, den Inversionshäufigkeiten und im Falle des PM10 der Wintertemperatur auf Basis der Jahreswerte.

Lineare Regression der Immissionen mit der Zeit [Jahr] und der Inversionshäufigkeit [%]		Dornbirn	Feldkirch	Höchst	Lustenau Zollamt	Bludenz	Lustenau Wiesenr.	Biberach	Stuelegg	Sulzberg	Erpfingen
NOx	Imm.änd. [ppb/y]	-1.0	-1.5	-0.6	-0.3	-1.6	-0.3	0.1	-0.1	0.2	0.0
	Imm.änd. von 0 - 100% Inv. [ppb]	31.9	135.0	88.6	55.4	100.4	43.2	36.5	7.2	6.9	0.1
	Sockel [ppb]	35.4	36.5	33.6	29.3	3.0	5.3	1.7	4.7	-0.9	4.5
	Korrelation	0.87	0.99	0.85	0.86	0.98	0.93	0.93	0.84	0.96	0.85
	Std.Abw. [ppb]	0.8	0.4	1.4	0.8	0.9	0.4	0.4	0.2	0.1	0.3
	rel.Std.Abw.	2%	1%	2%	2%	3%	2%	3%	3%	2%	6%
NO2	Imm.änd. [$\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{y}$]	-0.3	-0.8	-0.5	-0.3	-1.8	-0.4	0.0	-0.3	0.2	0.1
	Imm.änd. von 0 - 100% Inv. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	37.5	138.7	70.9	50.1	92.6	42.2	27.1	14.4	6.5	-0.2
	Sockel [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	23.0	13.5	24.7	25.0	5.1	8.8	8.4	6.9	0.6	6.8
	Korrelation	0.82	0.95	0.93	0.80	0.91	0.95	0.77	0.98	0.90	-0.73
	Std.Abw. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0.6	1.0	0.7	1.0	1.7	0.5	0.5	0.2	0.1	0.5
	rel.Std.Abw.	2%	2%	2%	3%	6%	2%	3%	2%	2%	7%
PM10	Imm.änd. [$\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{y}$]	-1.4	-1.4	-1.0	-1.0	-1.1	-0.7	-1.2			-0.6
	Imm.änd. von 0 - 100% Inv. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	62.4	67.6	51.3	59.3	54.9	44.5	53.0			14.5
	Imm.änd. pro °C [$\mu\text{g}/\text{m}^3/^\circ\text{C}$]	0.3	-0.5	-0.1	-0.2	-0.2	-0.4	-0.4			-0.3
	Sockel [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	12.8	15.0	16.4	12.7	9.9	12.1	8.3			13.6
	Korrelation	0.98	0.996	0.97	0.90	0.96	0.93	0.94			0.96
	Std.Abw. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	0.3	1.1	1.1	0.5	0.6	1.0	2.0			1.3
	rel.Std.Abw.	1%	4%	4%	2%	3%	4%	10%			8%
Ozon	Imm.änd. [$\mu\text{g}/\text{m}^3/\text{y}$]					0.5	0.0	-0.9	-2.3	-0.8	-2.1
	Imm.änd. von 0 - 100% Inv. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]					-13.0	22.1	23.5	70.9	44.6	30.6
	Sockel [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]					44.3	37.4	42.6	64.0	70.2	68.6
	Korrelation					0.67	0.64	0.03	0.999	0.73	0.88
	Std.Abw. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]					0.6	0.6	1.5	1.4	0.8	1.1
	rel.Std.Abw.					1%	1%	3%	2%	1%	2%
CO	Imm.änd. [$\text{mg}/\text{m}^3/\text{y}$]		-0.03								
	Imm.änd. von 0 - 100% Inv. [mg/m^3]		0.45								
	Sockel [mg/m^3]		0.69								
	Korrelation		0.81								
	Std.Abw. [mg/m^3]		0.02								
	rel.Std.Abw.		3%								

- Zum Ozon kann keine Aussage gemacht werden; dessen Konzentration hängt zwar auch vom Inversionsgeschehen ab, aber noch stärker von der

Temperatur und Einstrahlung. Es sei grundsätzlich auf den entsprechenden Abschnitt in Kapitel 3 und auf Kapitel 7.5 verwiesen.

- Beim CO in Feldkirch wird die starke Abnahme gut wiedergegeben. Allerdings liegt hier der Bestimmungsfehler relativ hoch; dies dürfte vor allem daran liegen, dass viele Messungen im Bereich der Messempfindlichkeit des Gerätes gemacht werden.
- Alle Stationen weisen eine hohe Empfindlichkeit gegenüber dem Inversionsgeschehen auf; besonders hoch ist sie für Stickoxide bei Bludenz und Feldkirch. Dies steht in Einklang mit den Ergebnissen eines entsprechenden Untersuchungsprojektes im Gebiet von Bludenz-Bürs.
- Wie schon im Abschnitt 'Erläuterungen' ausgeführt, gibt das Regressionsmodell selbst keine Begründung für die beim PM10 vorgefundene deutliche Abnahme in den letzten Jahren. Es sind jedenfalls nicht die Inversionshäufigkeit und nicht die Wintertemperaturen. Es ist naheliegend, getroffene Maßnahmen (globale/regionale/individuelle) dafür verantwortlich zu machen. Es wäre allerdings sehr wünschenswert, aufgrund von Abklärungen zur Umsetzung partikelbezogener Maßnahmen eine zumindest halbquantitative Abschätzung zur Emissionsminderung durchzuführen.

7.2. Ozontrend im Sommerhalbjahr

Hohe Ozonimmissionen kommen im Sommerhalbjahr vor. In diesem Kapitel werden die Monatsmittelwerte des Ozons im Sommerhalbjahr auf meteorologische und lufthygienische Größen zurückgeführt. Ozon ist auch im Winterhalbjahr lufthygienisch bedeutsam, u.a. für die Konversion von NO in NO₂; im Winterhalbjahr sind aber die Ozon bestimmenden atmosphärischen Vorgänge anders als im Sommerhalbjahr, insbesondere haben dann die herangeführten Ozonmengen eine größere Bedeutung.

Das Prinzip der angewandten linearen Regression wird auch hier angewandt. Es werden die insgesamt 60 Monate der Sommerhalbjahre von 2000 – 2009 für die Stationen Lustenau Wiesenrain, Bludenz, Stuelegg und Sulzberg betrachtet. In verschiedenen Tests hat sich herausgestellt, dass die regionale Globalstrahlung (gemessen in Lustenau Wiesenrain) und die regionale Temperaturabweichung von der Norm (gemessen bei Feldkirch ZAMG) den größten Einfluss auf die durchschnittliche monatliche Ozonkonzentration ausüben, gefolgt von der lokalen NO₂-Konzentration.

Für die erhöht liegenden Messstationen wurde als vierte Variable der zeitliche Trend eingeführt (Änderung/Monat, wobei die Monate auch über den Winter

durchgezählt wurden, von April 2000 bis September 2009 also 114 Monate), denn diese Stationen weisen einen deutlich negativen Trend des Ozons auf. Bei den anderen Stationen wurde der September als vierte Variable eingeführt; im September ist die bodennahe Atmosphäre oft schon wieder stabiler geschichtet, vor allem nachts, was sich in einer Verringerung des Ozongehaltes äußert.

Die nächste Tabelle zeigt die Ergebnisse der linearen Regression für Ozon im Sommerhalbjahr.

Tabelle 7.2: Ergebnisse der multiplen linearen Regression der Ozon-Immissionen von 2000 - 2009 mit der Globalstrahlung, der Abweichung der Temperatur von der Norm und der NO₂-Immission; im Falle der im Tal befindlichen Stationen zusätzlich mit dem September-Effekt, im Falle der erhöhten Stationen zusätzlich mit dem Jahr. Basis Monatsmittel des Sommerhalbjahrs.

Lineare Regression der Ozon-Immissionen mit der Zeit [Jahr; September] und meteorologischen Größen[Globalstrahlung; Temperatur-Abweichung]						Bludenz	Lustenau Wiesenr.		Stuelegg	Sulzberg	
Ozon Sommer- halbjahr	Imm.änd. mit Globalstrahlung [($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/(W/m^2)]					0.20	0.17		0.20	0.20	
	Imm.änd. mit Abw. v. Normtemp. [($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/(°C)]					1.5	2.2		2.4	2.2	
	Imm.änd. mit NO ₂ -Konz. [($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/($\mu\text{g}/\text{m}^3$)]					0.5	-0.1		1.3	0.9	
	Imm.änd. für September [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]					-15.8	-15.2				
	Imm.änd. pro Monat seit Apr 2000 [($\mu\text{g}/\text{m}^3$)/Monat]								-0.14	-0.06	
	Sockel [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]					15.5	32.0		45.3	54.1	
	Korrelation					0.93	0.90		0.86	0.83	
	Std.Abw. [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]					4.9	6.5		7.4	7.3	
	rel.Std.Abw.					8%	10%		8%	8%	

Kommentar:

- Die Korrelationskoeffizienten erreichen Werte von 0.83 – 0.93. Bei den erhöhten Stationen können also etwa 70%, bei den im Tale liegenden etwa 85% der monatlichen Variabilität im Sommerhalbjahr der letzten 10 Jahre mit den oben erläuterten vier Variablen beschrieben werden.
- Den größten unbeschriebenen Effekt dürfte die Heranführung von Ozon haben, was sich bei den erhöhten Stationen mehr auswirkt.
- Den größten Einfluss hat die Globalstrahlung; ihr Einfluss auf die Ozonkonzentration ist bei allen Stationen sehr ähnlich.
- Ein Einfluss der Temperatur (Abweichung von der Norm) ist bei allen Stationen in ebenfalls ähnlicher Masse zu erkennen; höhere Temperaturen führen zu mehr Ozon.

- An den erhöhten Stationen sowie in Bludenz wächst das Ozon mit dem NO₂ an (im Sommerhalbjahr!). Die Stickoxide haben hier zur Ozonproduktion beigetragen. Bei Lustenau Wiesenrain hingegen ist der quellennahe Effekt etwa gleichwertig, dass mehr NO₂ mehr Ozon verbraucht hat (bei der Konversion aus NO).
- Die beiden im Tale liegenden Stationen zeigen eine deutliche Ozonminderung im Frühherbst.
- An den erhöhten Stationen hat das Ozon im Sommerhalbjahr in den letzten zehn Jahren um 7 – 16 µg/m³ abgenommen; diese Abnahme kann **nicht** auf die Globalstrahlung, die Temperatur oder die lokale NO₂-Konzentration zurückgeführt werden. Am wahrscheinlichsten erscheint eine Änderung in der Menge herangeführten Ozons. Dies könnte teilweise auch mit einer Änderung der sommerlichen Strömungsfelder über Mitteleuropa zusammenhängen.

Die folgende Abbildung mit dem Vergleich zwischen gemessenen und berechneten Ozon-Monatsmitteln zeigt die gute Berechenbarkeit der Ozon-Immissionen in Vorarlberg. Bei einzelnen Ausreißern (grün umrandet) müssen spezielle lokale Effekte gewirkt haben. Grundsätzlich werden mit dieser Berechnung die außerordentlich hohen Ozonkonzentrationen im Sommer 2003 nur unvollständig abgebildet; die extremen Verhältnisse in mehreren Phasen jenes Sommers können durch Monatsmittel nicht hinreichend beschrieben werden.

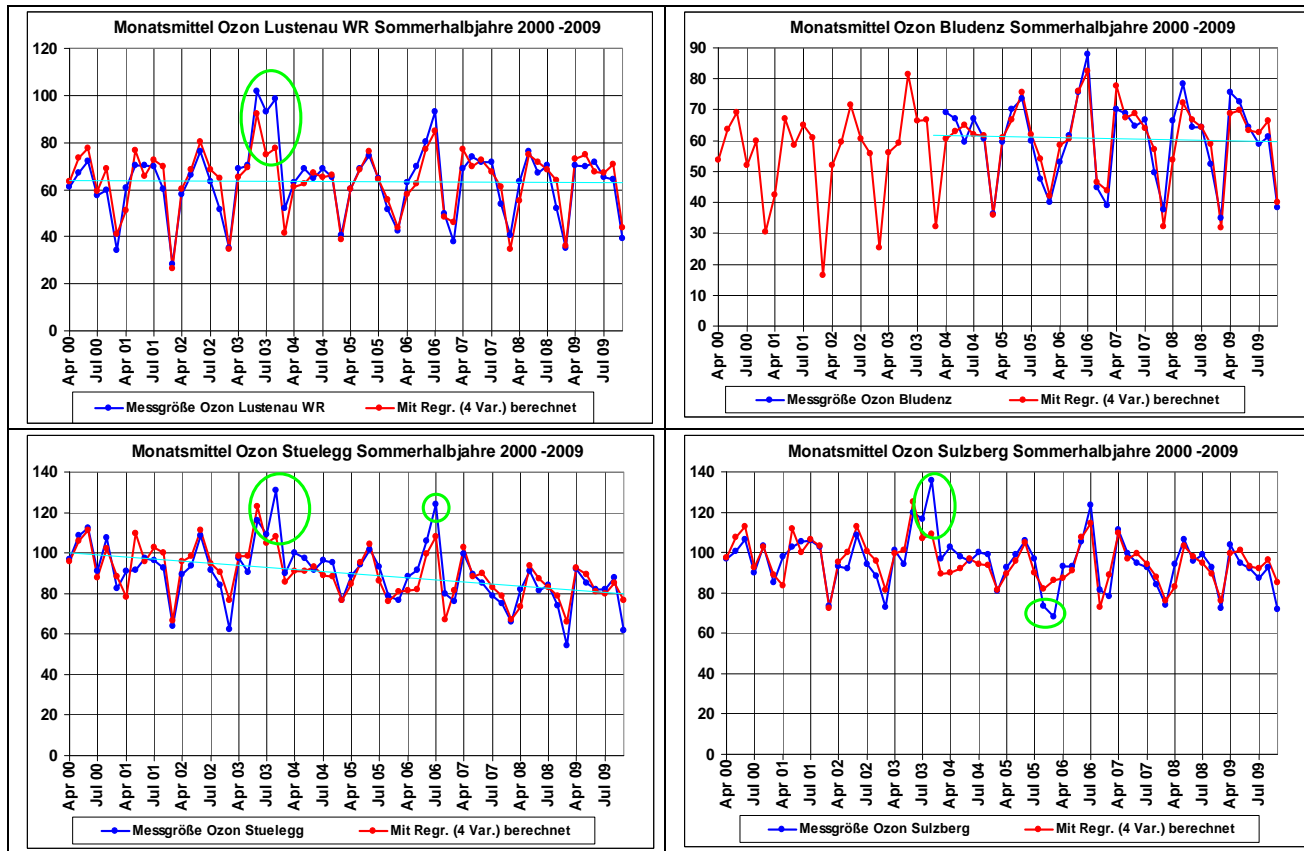


Abbildung 7.1: Vergleich von gemessenen und berechneten Monatsmitteln von Ozon für vier Standorte, Sommerhalbjahre 2000 – 2009. Grün umrandet: Ausreißer.

8. Fazit

Die PM10-Belastung hat 'wetterbereinigt' an den Stationen in den Vorarlberger Tallagen um 1 – 1.5 µg/m³ pro Jahr abgenommen. Die NO_x-Belastung weist eine nur schwach abnehmende Tendenz von 0 bis -1 ppb/Jahr auf. Bei Feldkirch und Bludenz ist die Abnahme deutlicher. Ähnlich hat die NO₂-Belastung überall mit 0 bis -0.8 µg/m³ pro Jahr wenig abgenommen, mit Ausnahme von Bludenz.

Im Trend bis 2008 wies Feldkirch noch eine NO₂-Zunahme an der Bärenkreuzung aus; dies entsprach den Erwartungen, da sich der Anteil direkt emittierten NO₂ bei den Diesel-Pkw in den letzten Jahren stark erhöht hat. Der NO₂-Anteil am gesamten NO_x an der Bärenkreuzung ist jedoch vor allem von 2002 – 2005 stark gestiegen (von 30 auf 40%); seit 2005 verharret er bei ca. 40%, so dass nun an allen Stationen der NO₂-Trend in gedämpfter Form dem NO_x-Trend folgt.

Der Einfluss der Inversionen auf die Schadstoffbelastung ist hoch. In den Jahren 2003 und 2006 gingen häufigere Inversionslagen mit erhöhten Immissionen einher. Mit Hilfe linearer Regressionen konnte dieser Einfluss rechnerisch sichtbar gemacht werden.

Die Ozonkonzentration im Sommerhalbjahr wird vor allem von der Globalstrahlung und der Temperatur sowie vom lokalen NO₂-Gehalt beeinflusst. Die erhöhten Stationen weisen einen abnehmenden Trend auf, der nicht durch die drei erwähnten Einflussgrößen verursacht worden ist. Am wahrscheinlichsten erscheint hier eine Änderung in der Menge herangeführten Ozons. Bei den im Tale liegenden Stationen hat sich die Ozonkonzentration im Sommerhalbjahr in den letzten 10 Jahren kaum verändert.

Es hat sich gezeigt, dass das Vorhandensein langjähriger Messreihen für das Verständnis der lufthygienischen Entwicklung sehr wichtig ist.