Ermittlung von saisonbereinigten PM_{10}-Mittelwerten des Winterhalbjahres auf Basis der Daten 2003/2004 – 2011/2012

Endbericht Oktober 2012

Univ.-Prof. DI Dr. Ernst Stadlober
DI Brigitte Pfeiler

Institut für Statistik
Technische Universität Graz
8010 Graz, Kopernikusgasse 24/III

Auftraggeber: Magistrat Graz, Umweltamt

Dieser Bericht darf nur vollinhaltlich, ohne Weglassen und Hinzufügen, veröffentlicht werden. Sollte er auszugsweise abgedruckt oder vervielfältigt werden, so ist die schriftliche Genehmigung der Ersteller einzuholen.

Graz, 22. Oktober 2012

Inhaltsverzeichnis

1 Grundlagen und Ausgangspunkt **1**

1.1 Datenmaterial 3

2 Explorative Analyse der Wintersaisonen 03/04 bis 11/12 **5**

2.1 Saisonale Mediane der Messparameter 5

2.2 Boxplotserien der Tagesmittelwerte 7

2.3 Kategorisierung bzgl. Inversion, Windgeschwindigkeit & Monate 23

2.4 Boxplotserien nach Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion & Quartal . . 23

2.5 Boxplotserien nach Inversion, Windgeschwindigkeit & Tage 29

2.6 Boxplotserien nach Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion & Tagestyp . 30

3 Evaluierung des Grazer Prognosemodells **35**

3.1 Grundlagen und Ausgangspunkt 35

3.2 Datenmaterial 35

3.3 Prognosemodelle 35

4 Modelle für Wintermittelwerte PM_{10} **37**

4.1 Univariate Analyse der Daten auf Tagesebene 37

4.2 Zusammenhangsanalyse und Modellierung der Wintermittelwerte 48

4.3 Regressionsmodelle für PM_{10}_WMW 56

4.4 Neuberechnung des Modells für PM_{10}_WMW 62

4.5 Kalibrierung von PM_{10} Graz-Nord 67

4.6 Prognose für die Anzahl der Überschreitungstage 71

4.7 Saisonbereinigte PM_{10}_WMW 74

5 Zusammenfassung **79**

A Berechnung der Werte in Graz-Mitte 2009/2010 **81**

B Straßenstreuung in Graz 82

C Modelle der Winternormierung 83

Literaturverzeichnis 85

Tabellenverzeichnis

1.1 Basisdaten 4

2.1 Mediane 6
2.2 Kreuztabelle bzgl. Wintersaison und Frosttage 12
2.3 Kreuztabelle bzgl. Wintersaison und Frosttage 13
2.4 Kreuztabelle bzgl. Wintersaison und Inversion 15
2.5 Kreuztabelle bzgl. Wintersaison und Inversion 16
2.6 Kreuztabelle bzgl. Wintersaison und Niederschlag 18
2.7 Kreuztabelle bzgl. Wintersaison und Inversionstage 20
2.8 Kreuztabelle bzgl. Wintersaison und Inversionstage 21

4.1 Korrelationen der Wintermittelwerte, bzw. -summen 55
4.2 Korrelationen zwischen PM_{10} und Streuungsarten 63
4.3 Mittelwerte der Wintersaison 2011/2012 67
4.4 Korrelationen der Messstellen bzgl. PM_{10} 68
4.5 Mittelwerte WS 03/04 - WS 11/12 74

Abbildungsverzeichnis

2.1 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte 8
2.2 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte ≤ 200 µg/m^3 8
2.3 Boxplotserien der Lufttemperatur-Tagesmittelwerte 9
2.4 Boxplotserien der Windgeschwindigkeits-Tagesmittelwerte 10
2.5 Boxplotserien der Spitzenwindgeschwindigkeits-Tagesmittelwerte 11
2.6 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Frosttage 13
2.7 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Frosttage 14
2.8 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Inversion 16
2.9 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Inversion 17
2.10 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Niederschlag 19
2.11 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Inversionstage 20
2.12 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Inversionstage 22
2.17 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Quartal in G-DB 24
2.18 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Quartal in G-M 26
2.19 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Quartal in G-S 27
2.20 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Quartal in G-N 29
2.25 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Tagestyp in G-DB 31
2.26 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Tagestyp in G-M 32
2.27 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Tagestyp in G-S 33

2.28 Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Tagestyp in G-N 34

4.1 Verteilungen von PM_{10} bzgl. WS und Messort 38
4.2 Verteilungen von Lufttemperatur bzgl. WS und Messort 40
4.3 Verteilungen von Wind bzgl. WS und Messort 41
4.4 Verteilungen von Spitzenwind bzgl. WS und Messort 43
4.5 Verteilungen von deltatemp bzgl. WS und Messort 44
4.6 Anzahl der Frosttage bzgl. WS und Messorte 45
4.7 Anzahl der Niederschlagstage bzgl. WS und Messorte 46
4.8 Anzahl der Inversionstage bzgl. WS und Messorte 47
4.9 Anzahl der Überschreitungstage bzgl. WS und Messorte 48
4.10 PM_{10} und Temperaturparameter 50
4.11 PM_{10}, Wind, Spitzenwind und Niederschlagstage 52
4.12 PM_{10}, Überschreitungs- und Inversionstage 54
4.13 PM_{10}, Lufttemperatur, Frost-, Inversions-, Niederschlagstage und Spitzenwind 55
4.14 PM_{10}_WMW gegen Modell-berechnete Werte 57
4.15 Q-Q-Plots der standardisierten Residuen von Modell 6 (2012) 58
4.16 Q-Q-Plots der standardisierten Residuen von Modell 7 (2012) 59
4.17 Sequenzplots der Modelle 6 und 7 (2012) 60
4.18 Q-Q-Plots der standardisierten Residuen von Modell 8 (2012) 61
4.19 Sequenzplot und Liniendiagramme von Modell 8 (2012) 62
4.20 PM_{10}, Straßenstreuungsarten 64
4.21 Q-Q-Plots der standardisierten Residuen von Modell 9 (2012) 65
4.22 Sequenzplot und Liniendiagramme von Modell 9 (2012) 66
4.23 Kalibrierung von PM_{10}_GN nach PM_{10}_GM 68
4.24 PM_{10}-WMW von Graz-Nord vor und nach der Skalierung 69
4.25 Sequenzplot von Modell 9 mit allen 4 Messorten 70
4.26 Sequenzplot mit Graz-Nord 71
4.27 95%-Toleranzbereich für Überschreitungstage, falls $PM10_{pr}$=44,8 72
4.28 95%-Toleranzbereich für Überschreitungstage, falls $PM10_{pr}$=47,7 73
4.29 Saisonbereinigte Wintermittelwerte $PM10_{sb}$ 75
4.30 Saisonbereinigte Wintermittelwerte $PM10_{sb(11/12)}$ 76

4.31 PM_{10}-WMW und saisonbereinigte WMW für alle Orte und WS 77
4.32 PM_{10}-WMW und saisonbereinigte WMW für alle Orte und WS 78

1 Grundlagen und Ausgangspunkt

Die folgenden Untersuchungen bauen auf die vom Institut für Statistik seit 2003 durchgeführten Feinstaubstudien auf (siehe Endberichte im Auftrag der Stadt Graz, 12/2003, 04/2004, 11/2004, 12/2004, Endbericht EU-Life Projekt KAPA-GS, 10/2007, Ermittlung von saisonbereinigten PM_{10}-Mittelwerten des Winterhalbjahres, 09/2008, 05/2009, 05/2010, 07/2011).

Im ersten Teil des Berichts wird zunächst eine explorative Analyse der Daten vom 1.1.2003 bis 31.3.2012 für die Messorte Graz-Don Bosco, Graz-Mitte, Graz-Süd und Graz-Nord durchgeführt. Dabei wird der PM_{10}-Verlauf in Abhängigkeit von meteorologischen Faktoren wie Temperaturinversion, Lufttemperatur, Windgeschwindigkeit, Spitzenwindgeschwindigkeit und Niederschlag unter Berücksichtigung des Wochenendeffekts analysiert.

Auf Basis der Daten von 2003/2004-2010/2011 (8 Saisonen) der drei Messorte **Graz-Don Bosco**, **Graz-Mitte** und **Graz-Süd** wurde **2011** folgendes Regressionsmodell für den Wintermittelwert PM_{10} errechnet und analysiert:

$$\mathtt{PM10}_{\mathtt{pr}} = -135{,}656 + 36{,}411*\mathtt{spitzenwind[m/s]} + 0{,}284*\mathtt{frosttage[Tage]} + 4{,}939*\mathtt{niederschlag[\%]} - 1{,}094*\mathtt{niederschlag[\%]}*\mathtt{spitzenwind[m/s]} + 0{,}333*\mathtt{inversionstage(lufttemperatur<3°C)[Tage]};$$

$$\mathtt{se} = 4{,}3;\ r^2_{\mathtt{corr}} = 0{,}71;\ \mathtt{n} = 24$$

bzw. **OHNE Graz-Mitte** (8 Saisonen, 2 Messorte):

$$PM10_{pr} = 157{,}859 + 40{,}263*spitzenwind[m/s] + 0{,}315*frosttage[Tage] + 5{,}111*niederschlag[\%] - 1{,}171*niederschlag[\%]*spitzenwind[m/s] + 0{,}55*inversionstage(lufttemperatur<3°C)[Tage];$$
$$se = 3{,}54;\ r^2_{corr} = 0{,}79;\ n = 16$$

Nach Hinzunahme des Winters 2011/2012 (9. Saison) erhalten wir folgendes Regressionsmodell:

$$PM10_{pr} = -87{,}292 + 24{,}558*spitzenwind[m/s] + 0{,}289*frosttage[Tage] + 3{,}684*niederschlag[\%] - 0{,}754*niederschlag[\%]*spitzenwind[m/s] + 0{,}172*inversionstage(lufttemperatur<3°C)[Tage];$$
$$se = 6{,}56;\ r^2_{corr} = 0{,}35;\ n = 27$$

bzw. **OHNE Graz-Mitte** (9 Saisonen, 2 Messorte):

$$PM10_{pr} = -31{,}181 + 14{,}699*spitzenwind[m/s] + 0{,}299*frosttage[Tage] + 2{,}018*niederschlag[\%] - 0{,}451*niederschlag[\%]*spitzenwind[m/s] + 0{,}088*inversionstage(lufttemperatur<3°C)[Tage];$$
$$se = 7{,}62;\ r^2_{corr} = 0{,}05;\ n = 18$$

Beide Modelle weisen einen deutlichen Rückgang des Anpassungsgrades auf. Zusätzlich verlieren die erklärenden Variablen größtenteils ihre Signifikanz ($p > 0,05$). Verwendet man für die lineare Regressionsanalyse mit den selben erklärenden Variablen lediglich die Messorte **Graz-Süd** und **Graz-Nord**, so ergibt sich folgendes Modell:

$$PM10_{pr} = 31{,}089 + 0{,}298*spitzenwind[m/s] - 0{,}008*frosttage[Tage] + 1{,}927*niederschlag[\%] - 0{,}365*niederschlag[\%]*spitzenwind[m/s] + 0{,}335*inversionstage(lufttemperatur<3°C)[Tage];$$
$$se = 6{,}86;\ r^2_{corr} = 0{,}52;\ n = 18$$

Da der Toleranzbereich mit $\pm 14,5$ sehr breit ausfällt und das PM_{10}-Niveau in Graz-Nord unter dem der anderen drei Messstellen liegt musste mit den drei Messorten **Graz-Don Bosco**, **Graz-Mitte** und **Graz-Süd** ein neues Modell errechnet werden. Dabei wurden die Kovariablen `Niederschlag*Spitzenwind` und `Inversionstage (Lufttemperatur < 3°C)` gegen die `Splittstreuung` ausgetauscht und es ergibt sich folgendes Modell:

$$\mathtt{PM10_{pr}} = 35{,}647 + 2{,}88*\mathtt{spitzenwind[m/s]} + 0{,}141*\mathtt{frosttage[Tage]} - 0{,}466*\mathtt{niederschlag[\%]} + 0{,}003*\mathtt{splitt[t]};$$
$$\mathtt{se} = 4{,}68;\ r^2_{\mathtt{corr}} = 0{,}67;\ \mathtt{n} = 27$$

Damit ist es möglich den gemessenen PM_{10}_WMW von Graz-Don Bosco, Graz-Mitte oder Graz-Süd einer zukünftigen Wintersaison mit der Bandbreite der Prognose zu vergleichen. Liegt der gemessene Wert innerhalb der Bandbreite, dann kann man davon ausgehen, dass keine signifikante Änderung der PM_{10}-Belastung gegenüber den vergangenen Wintersaisonen vorliegt. Ist der gemessene Wert kleiner als die Bandbreite angibt, dann deutet das auf eine signifikante Reduktion der PM_{10}-Belastung hin, die durch andere Faktoren verursacht ist.

Mit Hilfe des Modells wird eine Saisonbereinigung der Wintermittelwerte von Graz-Don Bosco, Graz-Mitte und Graz-Süd („Normwert“ = 50,5 µg/m^3) vorgeschlagen. Eine mögliche Kalibrierung der TMW von Graz-Nord bzgl. Graz-Mitte wird ebenfalls aufgezeigt.

1.1 Datenmaterial

Die Daten wurden von der Homepage der Steiermärkischen Landesregierung „LUIS“ `http://www.umwelt.steiermark.at/cms/ziel/2054533/DE/` heruntergeladen und beinhalten folgende Messungen für den Zeitraum **01.01.2003 00:00 Uhr - 31.03.2012 24:00 Uhr**:

Anmerkungen zu den Basisdaten:

- Die Messstelle „Tiergartenweg“ in **Graz-Süd** wurde am 25.04.2003 errichtet und die Temperaturmessung begann am 05.04.2006 um 13:00 Uhr.

Tabelle 1.1: Basisdaten

Merkmal	Einheit	Graz-Don Bosco	Graz-Mitte	Graz-Nord	Graz-Ost	Graz-Süd	Graz-West	Oeversee	Kalkleiten
Feinstaub PM10 (STBK 10)	**µg/m³**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**	**x**		
Kohlenmonoxid (CO)	mg/m³	x	x			x			
Stickstoffmonoxid (NO)	µg/m³	x	x	x	x	x	x		
Stickstoffdioxid (NO2)	µg/m³	x	x	x	x	x	x		
Stickstoffoxide (NOx)	ppb	x	x	x	x	x	x		
Ozon (O3)	µg/m³			x		x			
Schwefeldioxid (SO2)	µg/m³	x		x		x	x ³)		
Lufttemperatur (LUTE)	°C	x	x	x		x	x		x ²)
Luftfeuchtigkeit (LUFE)	%	x	x	x		x	x		
Windgeschwindigkeit (WIGE)	m/s	. ¹)	. ¹)	x		x	x ¹)	x ¹)	
Spitzenwindgeschwindigkeit (SPG)	m/s	. ¹)	. ¹)	x		x	x ¹)	x ¹)	
Niederschlagsmenge (NIED)	l/m²			x					

¹) Die Windgeschwindigkeit aus Oeversee wird für Graz-Mitte, die von Graz-West für Graz-Don Bosco verwendet.
²) Die Lufttemperatur aus Kalkleiten wird für den Temperaturunterschied verwendet (Inversion).
³) Messzeitraum: 01.02.1987 - 03.03.2010

NOx: Sammelbezeichnung für die gasförmigen Oxide des Stickstoffs
ppb: parts per billion (Teile pro Milliarde) = 10^(-9)

≫ Die Messstelle **Graz-Mitte** in der Landhausgasse wurde am **11.12.2009** um 06:30 Uhr außer Betrieb und unter dem Namen „Graz-Mitte Gries“ in der Feuerbachgasse am **18.02.2010** um 00:00 Uhr neu in Betrieb genommen (68 Tage Messausfall).

≫ Die Werte für `PM10`, `Lufttemperatur`, `Überschreitungs-`, `Frost-` und `Inversionstage` der Wintersaison **09/10** in **Graz-Mitte** wurden für die Analysen ab Seite 48 mittels Durchschnittsbildungen und Kalibrierung der übrigen Messorte und Saisonen berechnet (siehe Excel-Tabelle im Anhang A auf Seite 81).

≫ Die Messung des `Niederschlags` an der Messstelle **Graz-Nord** fiel vom **26.11.2010** bis **4.2.2011** (71 Tage) aus. Da die Messungen danach ebenfalls nicht zu stimmen scheinen, wurde für die Saison 2010/2011 die Anzahl der Niederschlagstage von der Internetseite der **ZAMG**[1] entnommen (Messstelle Graz-Thalerhof).

[1] `http://www.zamg.ac.at/klima/klima_monat/niederschlagssummen/`

2 Explorative Analyse der Wintersaisonen 03/04 bis 11/12

2.1 Saisonale Mediane der Messparameter

Im Überblick betrachten wir die **Durchschnittswerte** = **Mediane** der Parameter `PM10`, `Lufttemperatur`, `Windgeschwindigkeit` und `Spitzenwindgeschwindigkeit` für die 9 Wintersaisonen an 4 Grazer Messstellen.

- `PM10` (an allen Messstellen): Die höchste Belastung wurde in der Saison 05/06 registriert, gefolgt von den Saisonen 03/04 & 04/05. Die niedrigste Belastung weist die Saison 08/09 auf, gefolgt von der aktuellen Wintersaison 11/12 mit einem Wert von 36,69 µg/m^3. Die Saisonen 06/07, 07/08, 09/10 & 10/11 liegen mit ähnliche Niveaus in der Mitte.

- `Lufttemperatur`: Der mildeste Winter war in Saison 06/07 mit einem Median über alle Messstationen von +6,3 °Celsius. In der strengsten Wintersaison 05/06 sinkt dieser Wert auf +1,3 °Celsius ab. Die aktuelle Wintersaison 11/12 liegt mit 3,43 °C etwas unter dem langjährigen Mittel.

- `Wind-/Spitzenwindgeschwindigkeit`: Die Messorte haben unterschiedliche Niveaus in den Windgeschwindigkeiten: Graz-Don Bosco hat das niedrigste Niveau (etwa die Hälfte von Graz-Nord), gefolgt von Graz-Süd, Graz-Mitte und Graz-Nord. Tendenziell haben die Saisonen 05/06, 08/09, 09/10 & 10/11 am wenigsten und die Saisonen 03/04, 04/05, 06/07 & 07/08 am meisten Wind zu verzeichnen. Die aktuelle Wintersaison 11/12 liegt mit einer mittleren Windgeschwindigkeit von 0,52 m/s und einer Spitzenwindgeschwindigkeit von 4,08 m/s nahe dem langjährigen Mittel.

Tabelle 2.1: Mediane

Bericht

Median

Ort	Saison (Winter)	PM10 (µg/m³)	Lufttemperatur (°C)	Windgeschwindigkeit (m/s)	Spitzenwindgeschwindigkeit (m/s)
Graz-Don Bosco	2003/2004	55,75	2,62	0,45	3,97
	2004/2005	57,64	2,74	0,49	3,70
	2005/2006	58,47	1,07	0,47	3,70
	2006/2007	43,86	6,13	0,42	3,92
	2007/2008	43,40	4,21	0,47	4,14
	2008/2009	33,81	3,50	0,44	3,61
	2009/2010	42,61	3,38	0,44	3,39
	2010/2011	47,85	3,46	0,44	3,44
	2011/2012	39,81	3,07	0,46	3,97
	Insgesamt	45,91	3,46	0,45	3,79
Graz-Mitte	2003/2004	46,88	3,52	0,66	4,14
	2004/2005	48,34	3,79	0,63	4,06
	2005/2006	54,29	1,74	0,63	3,88
	2006/2007	41,64	6,88	0,67	4,23
	2007/2008	37,59	4,95	0,71	4,14
	2008/2009	34,21	4,27	0,69	4,14
	2009/2010	*30,20*	*7,11*	0,47	3,35
Graz-Mitte Gries	2010/2011	35,85	4,33	0,52	3,35
	2011/2012	35,69	4,27	0,54	3,61
	Insgesamt	39,41	4,61	0,61	3,97
Graz-Süd	2003/2004	49,17		0,55	3,80
	2004/2005	49,73		0,55	3,78
	2005/2006	55,11		0,47	3,70
	2006/2007	41,86	5,76	0,47	3,97
	2007/2008	45,59	3,87	0,52	3,78
	2008/2009	35,23	3,29	0,48	3,65
	2009/2010	44,11	2,98	0,45	3,55
	2010/2011	45,68	3,17	0,45	3,59
	2011/2012	42,99	2,92	0,51	3,81
	Insgesamt	45,13	3,74	0,49	3,75
Graz-Nord	2003/2004	34,19	2,74	0,80	4,77
	2004/2005	36,89	3,02	0,77	4,77
	2005/2006	40,37	1,17	0,71	4,52
	2006/2007	31,01	6,08	0,78	5,04
	2007/2008	29,79	4,11	0,72	4,55
	2008/2009	26,71	2,77	0,67	4,55
	2009/2010	30,42	3,47	0,66	4,53
	2010/2011	31,21	3,44	0,65	4,53
	2011/2012	29,68	3,19	0,59	4,55
	Insgesamt	31,70	3,44	0,71	4,56
Insgesamt	2003/2004	45,50	2,93	0,61	4,17
	2004/2005	46,61	3,10	0,63	4,16
	2005/2006	52,78	1,34	0,55	3,97
	2006/2007	39,71	6,27	0,59	4,32
	2007/2008	38,27	4,35	0,60	4,15
	2008/2009	32,69	3,50	0,57	3,97
	2009/2010	37,21	4,18	0,49	3,73
	2010/2011	40,36	3,51	0,50	3,70
	2011/2012	36,69	3,43	0,52	4,08
	Insgesamt	40,16	3,80	0,56	4,06

2.2 Boxplotserien der Tagesmittelwerte

Messparameter PM_{10}

Die **Mediane der TMW** über alle 9 Wintersaisonen sind wie folgt. Der Verkehrsspot Graz-Don Bosco (G-DB) weist mit 45,91 µg/m^3 den höchsten Wert auf, gefolgt vom Gewerbegebiet Graz-Süd (G-S) mit 45,13 µg/m^3 und dem Zentrum Graz-Mitte (G-M) mit 39,41 µg/m^3. Graz-Nord (G-N) als Messstation im Wohngebiet fällt mit 31,70 µg/m^3 (69% von G-DB) schon deutlich ab.

Extrem hohe Werte $PM_{10} > 200$ µg/m^3 wurden in der zweiten Boxplotserie (Abbildung 2.2) ausgeschlossen:

Graz-Süd:	03/04:	218,93 µg/m³
	05/06:	212,28 µg/m³
		228,41 µg/m³
	06/07:	267,73 µg/m³
	07/08:	245,56 µg/m³
		257,17 µg/m³
Graz-Mitte:	03/04:	239,42 µg/m³
	07/08:	257,55 µg/m³
Graz-Don Bosco:	03/04:	209,28 µg/m³
	06/07:	265,83 µg/m³
	07/08:	249,25 µg/m³
		255,37 µg/m³
Graz-Nord:	07/08:	239,08 µg/m³
	10/11:	208,10 µg/m³

Die Boxplots zeigen, dass in G-DB, G-S und G-M in den 3 Saisonen 03/04-05/06 an mehr als 50% der Wintertage Grenzwertüberschreitungen vorliegen (Median über der roten Linie) und in G-N nur an ca. 25% der Wintertage (oberer Rand der Box an der rot-gestrichelten Linie).

In den Saisonen 06/07 bis 11/12 geht der Anteil der Überschreitungstage an allen Messorten stark zurück und der Schwankungsbereich (Höhe der Box) verringert sich tendenziell ebenfalls. In der Saison 08/09 gab es an allen Messorten die geringsten Belastungen, mit Ausnahme von G-M, wo in der Saison 09/10 an 68 Tagen Werte fehlten. Die Mediane von G-DB, G-M und G-S der aktuellen Wintersaison 11/12 liegen in der Nähe der lila gepunkteten Linie, die den Median über alle Wintersaisonen und Messorte markiert. Dieser liegt mit 40,16 µg/m^3 durch die Messstelle G-N unter denen von G-DB und G-S.

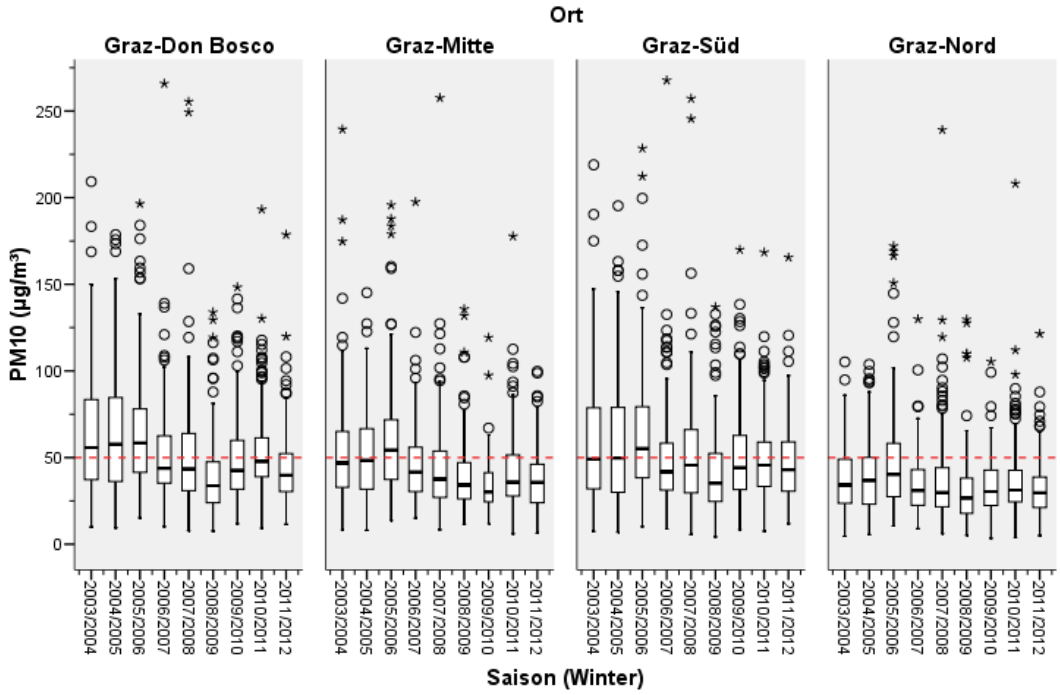


Abbildung 2.1: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte

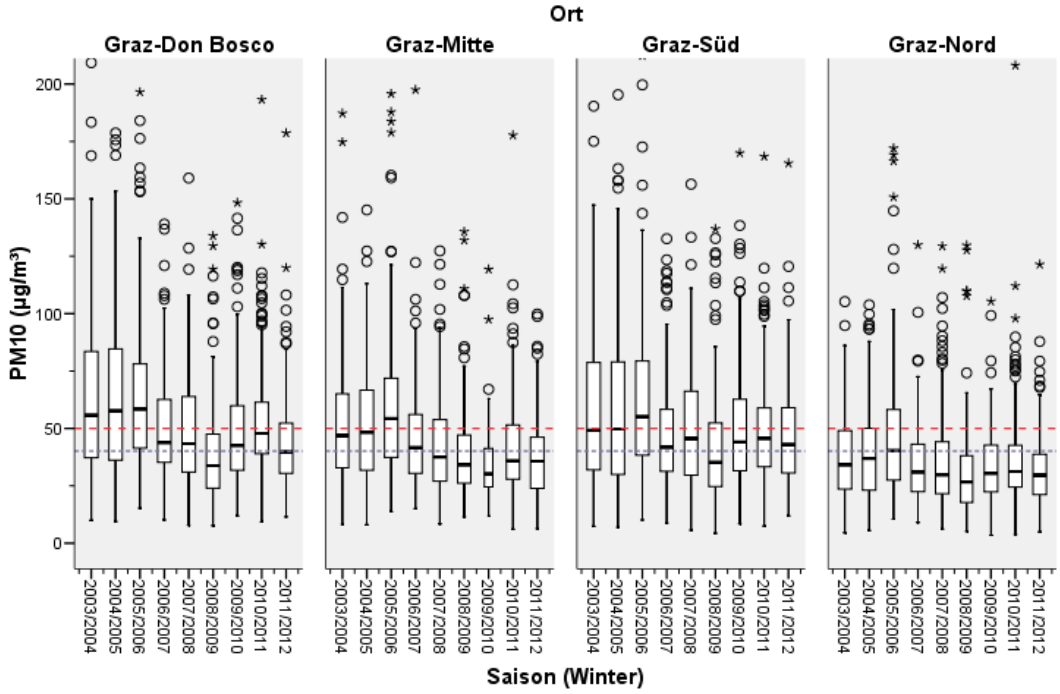


Abbildung 2.2: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte $\leq$ 200 µg/m^3

Messparameter Lufttemperatur

In Graz-Süd liegen Messungen erst ab 05.04.2006 13:00 Uhr, vor. Die Wintersaisonen 03/04, 04/05, 08/09, 09/10 & 10/11 könnte man als normale Winter bezeichnen. Die Wintersaison 05/06 würde man als strengen Winter einstufen und die Wintersaisonen 06/07 & 07/08 als milde Winter. Die aktuelle Wintersaison 11/12 liegt im Bereich der normalen Wintersaisonen.

Die **Mediane der TMW** über alle 9 Wintersaisonen sind wie folgt:
G-DB: 3,46 °C | G-M: 4,61 °C | G-S: 3,74 °C | G-N: 3,44 °C
Die Temperaturschwankungen an Wintertagen reichen von ca. -10 °C bis ca. +20 °C. Der interquartile Bereich (Werte innerhalb der Box, entsprechen den zentralen 50% der Werte) umfasst eine Bandbreite von ca. 8 °C. In der aktuellen Saison 11/12 umfasst der IQR eine Bandbreite von ca. 7,5 °C.

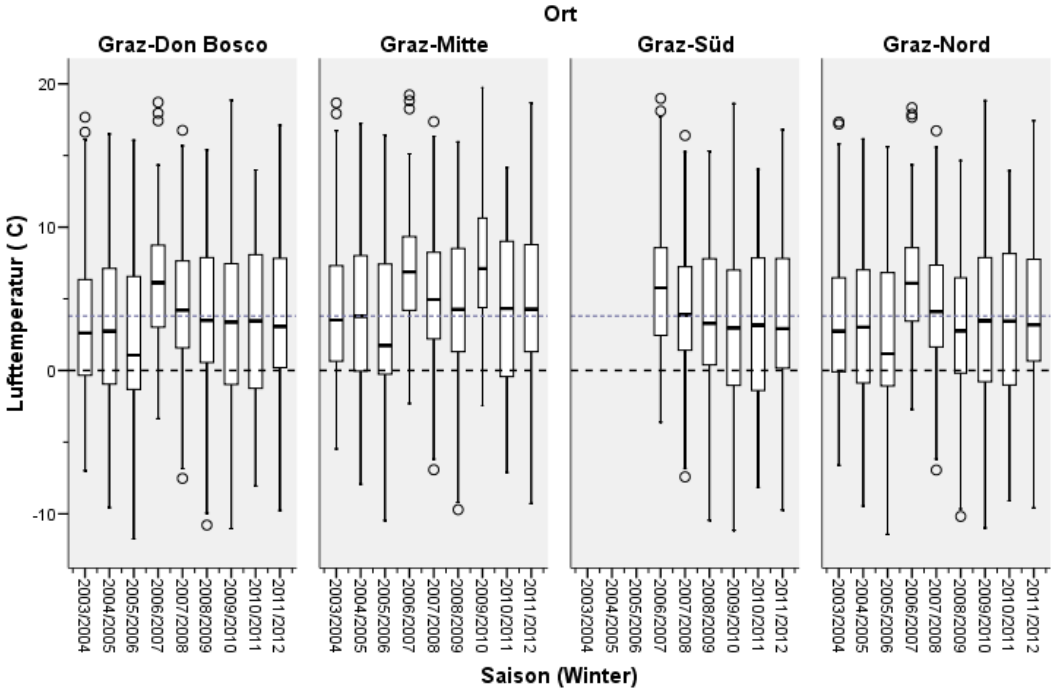


Abbildung 2.3: Boxplotserien der Lufttemperatur-Tagesmittelwerte

Messparameter Mittlere Windgeschwindigkeit

Die Messstation G-N weist die höchsten Mediane und den größten Schwankungsbereich auf, gefolgt von G-M, G-S und G-DB.
Als **Mediane** über alle Saisonen hat man:
G-DB: 0,45 m/s | G-M: 0,62 m/s | G-S: 0,49 m/s | G-N: 0,72 m/s

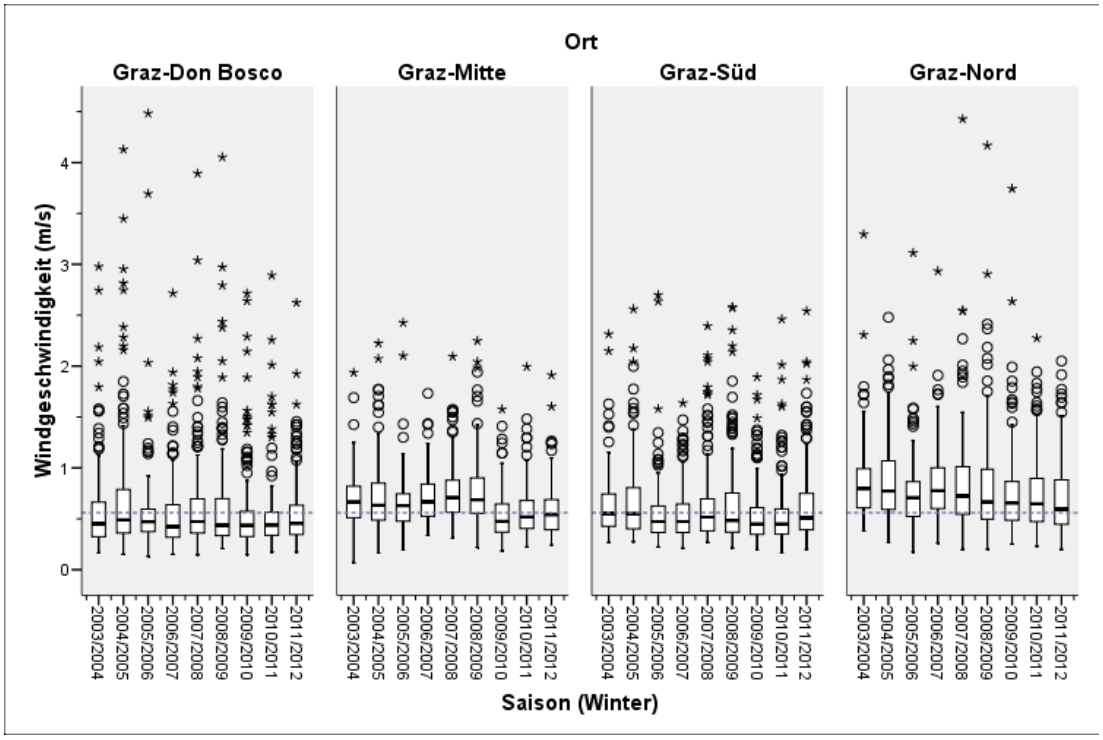


Abbildung 2.4: Boxplotserien der Windgeschwindigkeits-Tagesmittelwerte

Messparameter Spitzenwindgeschwindigkeit

Die Mediane von G-DB, G-M und G-S sind in einer ähnlichen Größenordnung, während G-N einen etwas höheren Wert hat.
Mediane: G-DB: 3,7 m/s | G-M: 3,97 m/s | G-S: 3,74 m/s | G-N: 4,58 m/s
G-S hat den geringsten Schwankungsbereich, weist aber neben G-N einige sehr extreme Tagesmittelwerte auf. G-DB weist den höchsten Schwankungsbereich auf.

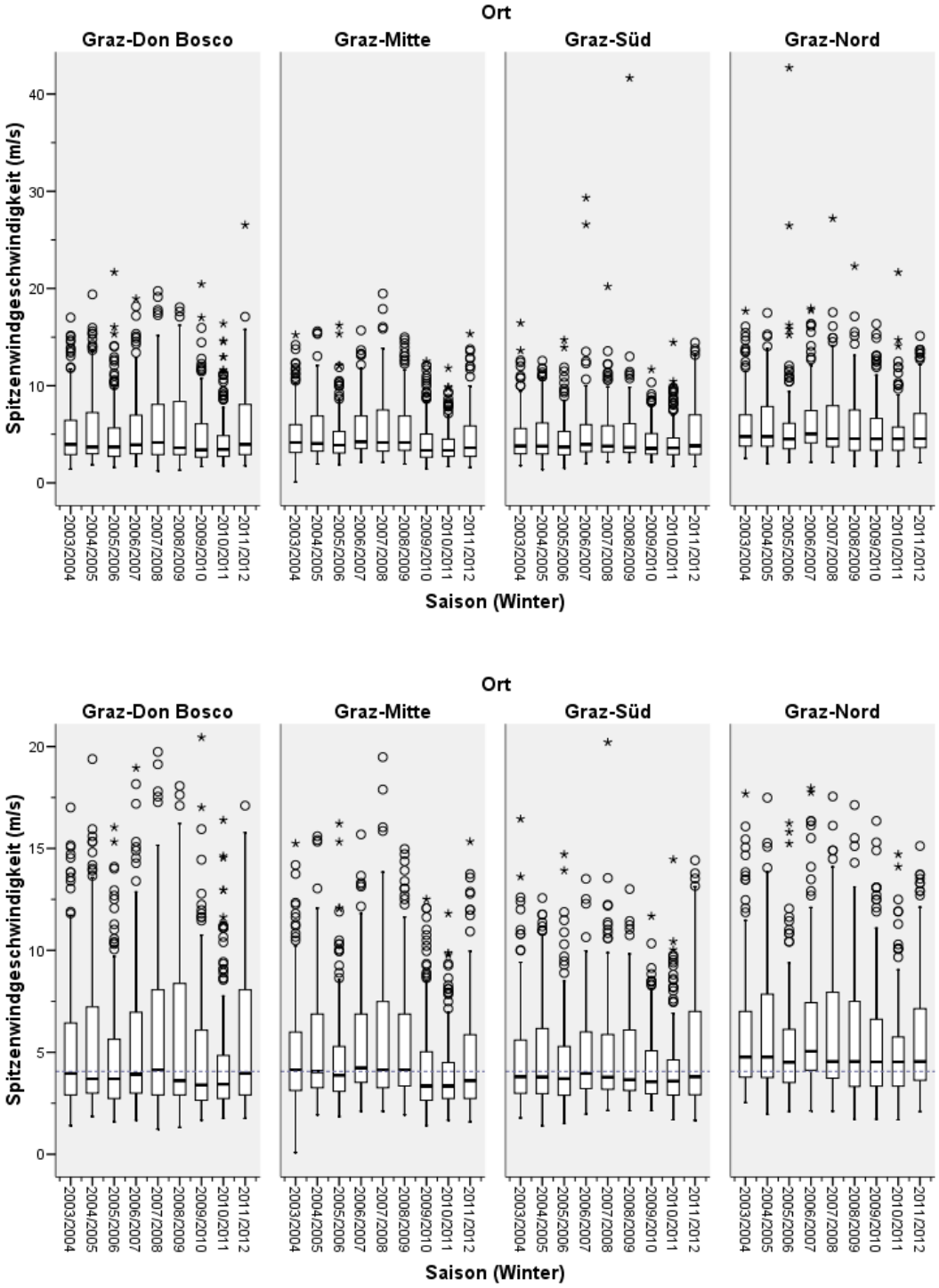


Abbildung 2.5: Boxplotserien der Spitzenwindgeschwindigkeits-Tagesmittelwerte

spg > 20 m/s:

Graz-Süd:	06/07:	26,58 m/s	**Graz-Nord:**	05/06:	26,47 m/s
		29,33 m/s			42,71 m/s
	07/08:	20,21 m/s		07/08:	27,21 m/s
	08/09:	41,66 m/s		08/09:	22,29 m/s
				10/11:	21,67 m/s
Graz-Don Bosco:	05/06:	21,68 m/s			
	09/10:	20,45 m/s			
	11/12:	26,54 m/s (14.12.)			

Messparameter Frosttage

Ca. *76% der Tage sind keine Frosttage* (Lufttemperatur > 0 °C über alle Saisonen und Orte).

Pro Saison hat man aggregiert über alle Orte folgende Aufteilung:

03/04:	75% zu 25%	(Lute > 0 °C zu Lute < 0 °C)
04/05:	71% zu 29%	
05/06:	66% zu 34%	
06/07:	92% zu 8%	
07/08:	82% zu 18%	
08/09:	78% zu 22%	
09/10:	72% zu 28%	
10/11:	68% zu 32%	
11/12:	79% zu 21%	

Im milden Winter 06/07 waren nur 8% (15) Frosttage, im strengen Winter 05/06 hingegen gab es 34% (62) Frosttage.

Tabelle 2.2: Kreuztabelle bzgl. Wintersaison und Frosttage

Frosttage * Saison (Winter) Kreuztabelle

			Saison (Winter)									
			2003/ 2004	2004/ 2005	2005/ 2006	2006/ 2007	2007/ 2008	2008/ 2009	2009/ 2010	2010/ 2011	2011/ 2012	Gesamt
Frosttage	Lufttemperatur > 0°C	Anzahl	411	387	362	664	597	551	457	495	576	4.500
		% von Saison (Winter)	*74,9%*	*70,9%*	*66,3%*	*92,2%*	*81,7%*	*78,0%*	*72,4%*	*68,0%*	*78,7%*	*76,4%*
	Lufttemperatur < 0°C	Anzahl	138	159	184	56	134	155	174	233	156	1.389
		% von Saison (Winter)	*25,1%*	*29,1%*	*33,7%*	*7,8%*	*18,3%*	*22,0%*	*27,6%*	*32,0%*	*21,3%*	*23,6%*
Gesamt		Anzahl	549	546	546	720	731	706	631	728	732	5.889
		% von Saison (Winter)	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*

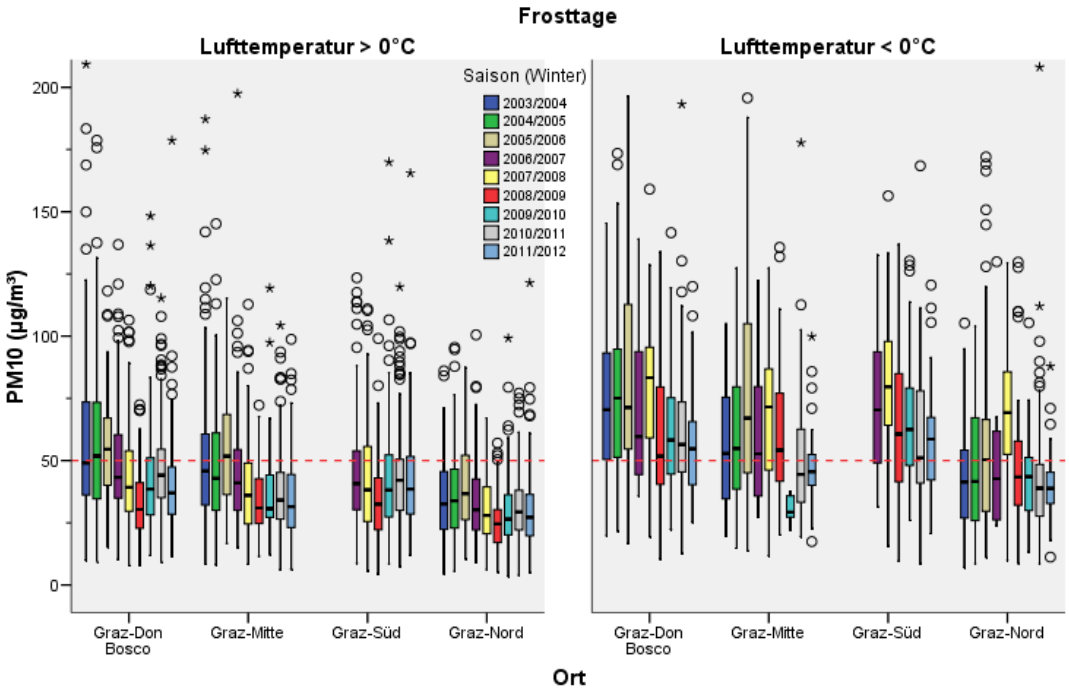


Abbildung 2.6: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Frosttage

Tabelle 2.3: Kreuztabelle bzgl. Wintersaison und Frosttage

Frosttage * Saison (Winter) * Ort Kreuztabelle

Ort				Saison (Winter) 2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	Gesamt
Graz-Don Bosco	Frosttage	Lufttemperatur > 0°C	Anzahl	133	125	115	166	149	143	127	122	141	1.221
			% von Saison (Winter)	*72,7%*	*68,7%*	*63,2%*	*91,2%*	*81,4%*	*78,6%*	*69,8%*	*67,0%*	*77,0%*	*74,4%*
		Lufttemperatur < 0°C	Anzahl	50	57	67	16	34	39	55	60	42	420
			% von Saison (Winter)	*27,3%*	*31,3%*	*36,8%*	*8,8%*	*18,6%*	*21,4%*	*30,2%*	*33,0%*	*23,0%*	*25,6%*
	Gesamt		Anzahl	183	182	182	182	183	182	182	182	183	1.641
			% von Saison (Winter)	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*
Graz-Mitte	Frosttage	Lufttemperatur > 0°C	Anzahl	144	134	130	172	152	149	79	131	151	1.242
			% von Saison (Winter)	*78,7%*	*73,6%*	*71,4%*	*94,5%*	*83,5%*	*81,9%*	*92,9%*	*72,0%*	*82,5%*	*80,5%*
		Lufttemperatur < 0°C	Anzahl	39	48	52	10	30	33	6	51	32	301
			% von Saison (Winter)	*21,3%*	*26,4%*	*28,6%*	*5,5%*	*16,5%*	*18,1%*	*7,1%*	*28,0%*	*17,5%*	*19,5%*
	Gesamt		Anzahl	183	182	182	182	182	182	85	182	183	1.543
			% von Saison (Winter)	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*
Graz-Süd	Frosttage	Lufttemperatur > 0°C	Anzahl				157	146	140	124	120	139	826
			% von Saison (Winter)				*90,2%*	*79,8%*	*76,9%*	*68,1%*	*65,9%*	*76,0%*	*76,1%*
		Lufttemperatur < 0°C	Anzahl				17	37	42	58	62	44	260
			% von Saison (Winter)				*9,8%*	*20,2%*	*23,1%*	*31,9%*	*34,1%*	*24,0%*	*23,9%*
	Gesamt		Anzahl				174	183	182	182	182	183	1.086
			% von Saison (Winter)				*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*
Graz-Nord	Frosttage	Lufttemperatur > 0°C	Anzahl	134	128	117	169	150	119	127	122	145	1.211
			% von Saison (Winter)	*73,2%*	*70,3%*	*64,3%*	*92,9%*	*82,0%*	*74,4%*	*69,8%*	*67,0%*	*79,2%*	*74,8%*
		Lufttemperatur < 0°C	Anzahl	49	54	65	13	33	41	55	60	38	408
			% von Saison (Winter)	*26,8%*	*29,7%*	*35,7%*	*7,1%*	*18,0%*	*25,6%*	*30,2%*	*33,0%*	*20,8%*	*25,2%*
	Gesamt		Anzahl	183	182	182	182	183	160	182	182	183	1.619
			% von Saison (Winter)	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*

Die Boxplotserien in Abbildung 2.7 für PM_{10} an allen Messstationen, gruppiert nach Frosttagen, zeigen eine deutlich höhere Belastung an Frosttagen als an Tagen mit Luft-

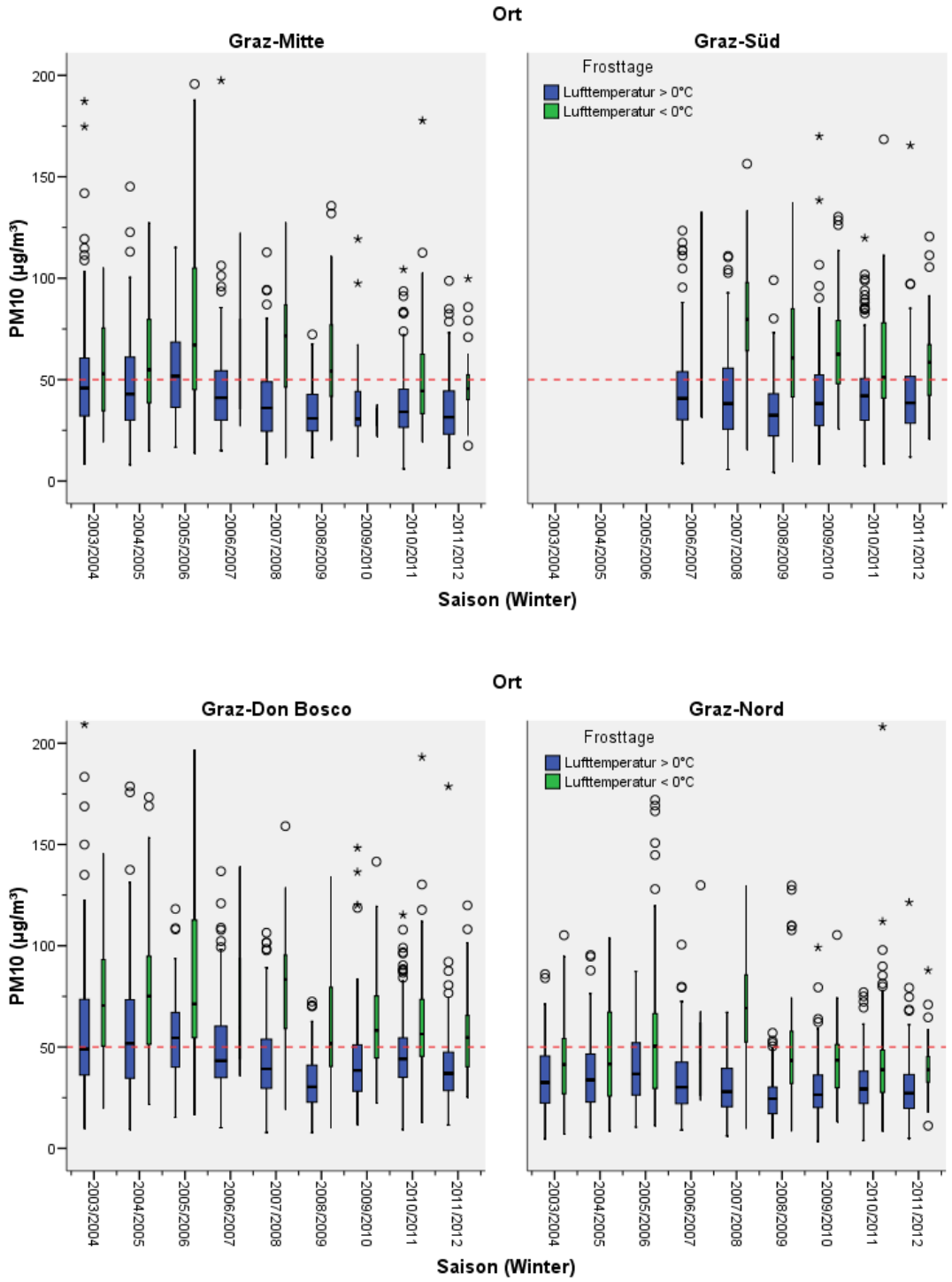


Abbildung 2.7: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Frosttage

temperatur > 0 °C. Z.B. sind in G-DB 75% der Frosttage Überschreitungstage, an anderen Tagen hat man nur 25% bis 50% Überschreitungstage.

Pro Ort hat man aggregiert über alle Saisonen folgende Aufteilung:

G-DB: 74% zu 26%
G-M: 80% zu 20%
G-S: 76% zu 24% (nur 06/07 bis 11/12)
G-N: 75% zu 25%

Messparameter Inversion

Ca. 66% der Wintertage sind keine Inversionstage (Temperatur(Grund) - Temperatur(Kalkleiten) > 0 °C über alle Saisonen und Orte).

Pro Saison hat man aggregiert über alle Orte folgende Aufteilung:

03/04: 59% zu 41% (keine Inversions- zu Inversionstagen)
04/05: 58% zu 42%
05/06: 75% zu 25%
06/07: 59% zu 41%
07/08: 71% zu 29%
08/09: 75% zu 25%
09/10: 68% zu 32%
10/11: 63% zu 37%
11/12: 63% zu 37%

Tabelle 2.4: Kreuztabelle bzgl. Wintersaison und Inversion

Inversion * Saison (Winter) Kreuztabelle

			Saison (Winter)									Gesamt
			2003/ 2004	2004/ 2005	2005/ 2006	2006/ 2007	2007/ 2008	2008/ 2009	2009/ 2010	2010/ 2011	2011/ 2012	
Inversion	keine Inversion	Anzahl	324	300	410	424	519	530	426	456	464	3.853
		% von Saison (Winter)	*59,0%*	*58,1%*	*75,1%*	*58,9%*	*71,0%*	*75,1%*	*67,5%*	*62,6%*	*63,4%*	*65,8%*
	Inversion	Anzahl	225	216	136	296	212	176	205	272	268	2.006
		% von Saison (Winter)	*41,0%*	*41,9%*	*24,9%*	*41,1%*	*29,0%*	*24,9%*	*32,5%*	*37,4%*	*36,6%*	*34,2%*
Gesamt		Anzahl	549	516	546	720	731	706	631	728	732	5.859
		% von Saison (Winter)	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*

Im strengen Winter 05/06 gab es nur 25% Inversionstage, ebenso im Winter 08/09. Im milden Winter 06/07 hingegen hatte man an 41% der Tage Inversionswetterlage. Zu beachten ist, dass der Inversionsparameter nur eine Temperaturdifferenz misst, aber

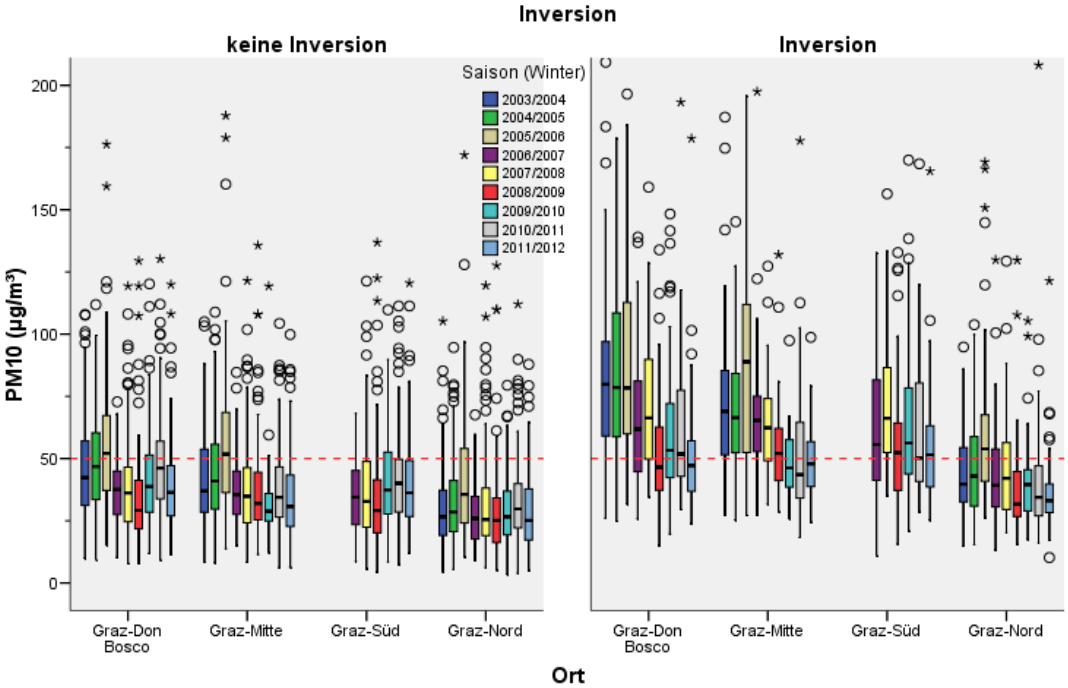


Abbildung 2.8: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Inversion

Tabelle 2.5: Kreuztabelle bzgl. Wintersaison und Inversion

Inversion * Saison (Winter) * Ort Kreuztabelle

Ort				Saison (Winter) 2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	Gesamt
Graz-Don Bosco	Inversion	keine Inversion	Anzahl	104	94	127	100	126	133	123	108	108	1.023
			% von Saison (Winter)	*56,8%*	*54,7%*	*69,8%*	*54,9%*	*68,9%*	*73,1%*	*67,6%*	*59,3%*	*59,0%*	*62,7%*
		Inversion	Anzahl	79	78	55	82	57	49	59	74	75	608
			% von Saison (Winter)	*43,2%*	*45,3%*	*30,2%*	*45,1%*	*31,1%*	*26,9%*	*32,4%*	*40,7%*	*41,0%*	*37,3%*
	Gesamt		Anzahl	183	172	182	182	183	182	182	182	183	1.631
			% von Saison (Winter)	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*
Graz-Mitte	Inversion	keine Inversion	Anzahl	124	116	150	133	147	158	63	136	143	1.170
			% von Saison (Winter)	*67,8%*	*67,4%*	*82,4%*	*73,1%*	*80,8%*	*86,8%*	*74,1%*	*74,7%*	*78,1%*	*76,3%*
		Inversion	Anzahl	59	56	32	49	35	24	22	46	40	363
			% von Saison (Winter)	*32,2%*	*32,6%*	*17,6%*	*26,9%*	*19,2%*	*13,2%*	*25,9%*	*25,3%*	*21,9%*	*23,7%*
	Gesamt		Anzahl	183	172	182	182	182	182	85	182	183	1.533
			% von Saison (Winter)	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*
Graz-Süd	Inversion	keine Inversion	Anzahl				93	117	121	116	103	102	652
			% von Saison (Winter)				*53,4%*	*63,9%*	*66,5%*	*63,7%*	*56,6%*	*55,7%*	*60,0%*
		Inversion	Anzahl				81	66	61	66	79	81	434
			% von Saison (Winter)				*46,6%*	*36,1%*	*33,5%*	*36,3%*	*43,4%*	*44,3%*	*40,0%*
	Gesamt		Anzahl				174	183	182	182	182	183	1.086
			% von Saison (Winter)				*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*
Graz-Nord	Inversion	keine Inversion	Anzahl	96	90	133	98	129	118	124	109	111	1.008
			% von Saison (Winter)	*52,5%*	*52,3%*	*73,1%*	*53,8%*	*70,5%*	*73,8%*	*68,1%*	*59,9%*	*60,7%*	*62,6%*
		Inversion	Anzahl	87	82	49	84	54	42	58	73	72	601
			% von Saison (Winter)	*47,5%*	*47,7%*	*26,9%*	*46,2%*	*29,5%*	*26,3%*	*31,9%*	*40,1%*	*39,3%*	*37,4%*
	Gesamt		Anzahl	183	172	182	182	183	160	182	182	183	1.609
			% von Saison (Winter)	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*

keine absolute Lufttemperatur. So wird ein Tag mit einer milden Lufttemperatur am Grund, die niedriger ist als die Temperatur in der Höhe, als Inversionstag gezählt.

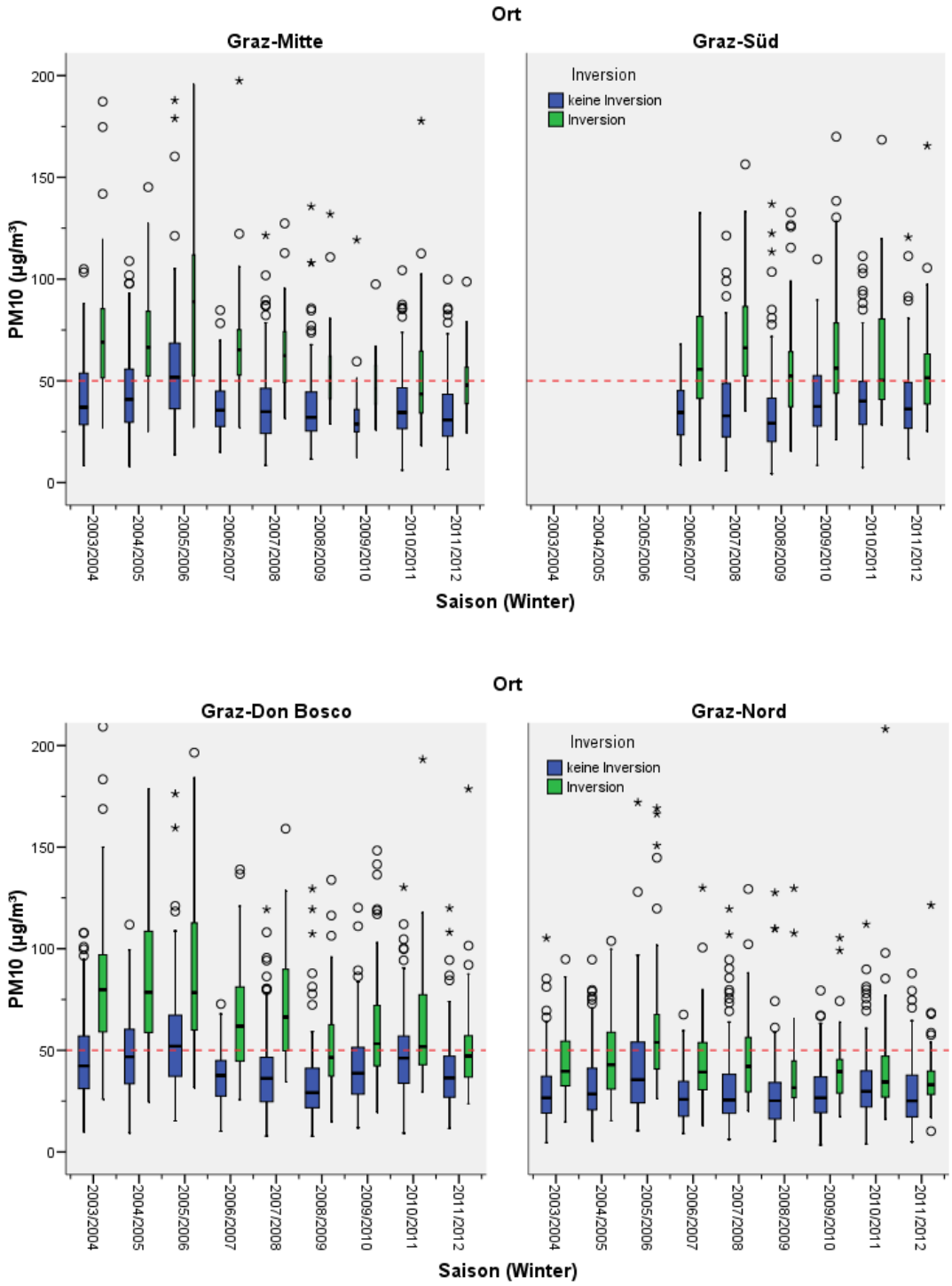


Abbildung 2.9: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Inversion

In Abbildung 2.8 ist eine deutlich geringere PM_{10}-Belastung an Tagen ohne Inversion (linke Graphik) zu erkennen. In G-M sind 25% - 50% der Tage ohne Inversion auch Überschreitungstage, während ca. 75% der Tage mit Inversion den Tagesgrenzwert von 50 µg/m^3 überschreiten.

Pro Ort hat man aggregiert über alle Saisonen folgende Aufteilung:

G-DB: 63% zu 37%
G-M: 76% zu 24%
G-S: 61% zu 39% (nur 06/07 bis 11/12)
G-N: 63% zu 37%

Messparameter Niederschlag

Ca. 65% der Wintertage sind Tage ohne Niederschlag (über alle Saisonen). Der Niederschlag wurde nur in Graz-Nord gemessen.

Pro Saison hat man in Graz-Nord folgende Aufteilung:

03/04: 33% zu 67% (Niederschlags- zu niederschlagsfreie Tage)
04/05: 28% zu 72%
05/06: 33% zu 67%
06/07: 25% zu 75%
07/08: 28% zu 72%
08/09: 39% zu 61%
09/10: 36% zu 64%
10/11: 25% zu 75% (ZAMG: Graz-Thalerhof)
11/12: 22% zu 78%

Tabelle 2.6: Kreuztabelle bzgl. Wintersaison und Niederschlag

Niederschlag * Saison (Winter) Kreuztabelle

			Saison (Winter)									
			2003/ 2004	2004/ 2005	2005/ 2006	2006/ 2007	2007/ 2008	2008/ 2009	2009/ 2010	2010/ 2011	2011/ 2012	Gesamt
Niederschlag	Niederschlag	Anzahl	60	51	60	46	52	63	66	46	142	586
		% von Saison (Winter)	*32,8%*	*28,0%*	*33,0%*	*25,3%*	*28,4%*	*39,4%*	*36,3%*	*25,3%*	*77,6%*	*36,2%*
	kein Niederschlag	Anzahl	123	131	122	136	131	97	116	136	41	1.033
		% von Saison (Winter)	*67,2%*	*72,0%*	*67,0%*	*74,7%*	*71,6%*	*60,6%*	*63,7%*	*74,7%*	*22,4%*	*63,8%*
Gesamt		Anzahl	183	182	182	182	183	160	182	182	183	1.619
		% von Saison (Winter)	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*

Die aktuelle Wintersaison 11/12 hatte nur 22% Tage mit Niederschlag, gefolgt von den Saisonen 06/07 & 10/11 mit 25%. In den Saisonen 03/04 & 05/06 gab es an 33% der Tage, in der Saison 08/09 sogar an 39% der Tage Niederschlag.

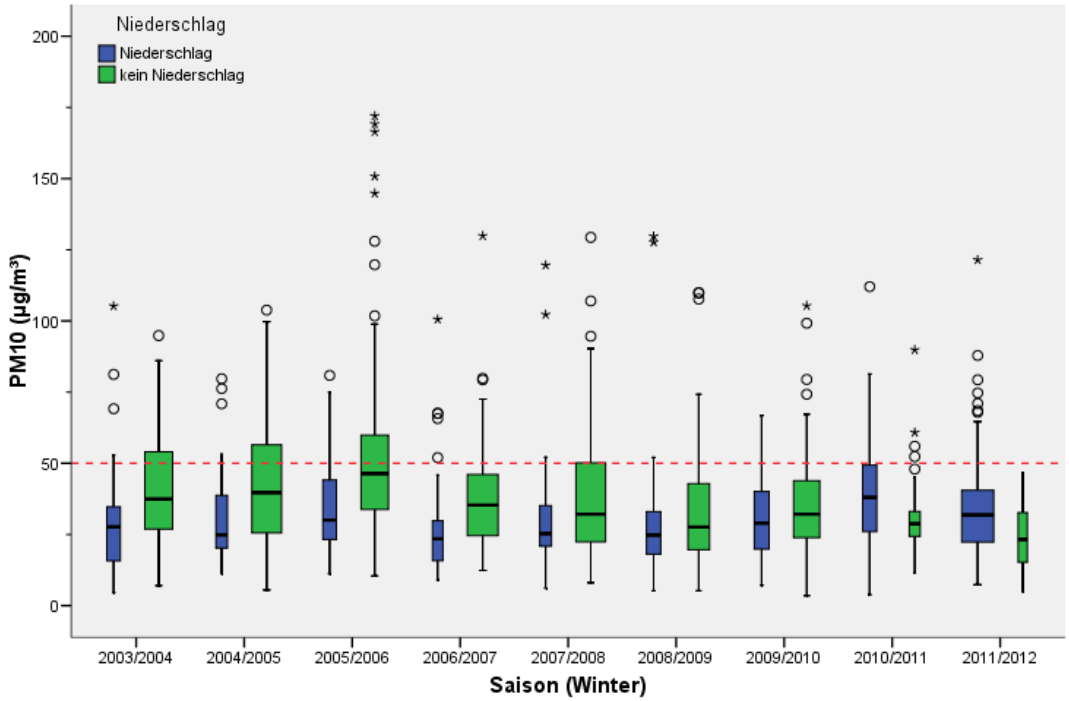


Abbildung 2.10: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Niederschlag

Messparameter Inversionstage

Hier wird die Betrachtung auf die Inversionstage (Tage mit Temperatur(Grund) − Temperatur(Kalkleiten) < 0 °C) eingeschränkt. Diese Inversionstage werden zusätzlich noch nach Lufttemperatur (< 3 °C, > 3 °C) kategorisiert.
Ca. 55% der Inversionstage haben eine Lufttemperatur > 3 °C (über alle Saisonen und Orte).

Pro Saison hat man aggregiert über alle Orte folgende Aufteilung:

03/04: 52% zu 48% (Lufttemperatur > 3 °C zu Lufttemperatur < 3 °C)
04/05: 55% zu 45%
05/06: 31% zu 69%
06/07: 67% zu 33%
07/08: 54% zu 46%
08/09: 44% zu 56%
09/10: 64% zu 36%
10/11: 63% zu 37%
11/12: 43% zu 57%

Tabelle 2.7: Kreuztabelle bzgl. Wintersaison und Inversionstage

Inversionstage * Saison (Winter) Kreuztabelle

			Saison (Winter)									
			2003/ 2004	2004/ 2005	2005/ 2006	2006/ 2007	2007/ 2008	2008/ 2009	2009/ 2010	2010/ 2011	2011/ 2012	Gesamt
Inversionstage	Lufttemperatur > 3°C	Anzahl	118	118	42	198	115	77	131	172	115	1.086
		% von Saison (Winter)	*52,4%*	*54,6%*	*30,9%*	*66,9%*	*54,2%*	*43,8%*	*63,9%*	*63,2%*	*42,9%*	*54,1%*
	Lufttemperatur < 3°C	Anzahl	107	98	94	98	97	99	74	100	153	920
		% von Saison (Winter)	*47,6%*	*45,4%*	*69,1%*	*33,1%*	*45,8%*	*56,3%*	*36,1%*	*36,8%*	*57,1%*	*45,9%*
Gesamt		Anzahl	225	216	136	296	212	176	205	272	268	2.006
		% von Saison (Winter)	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*

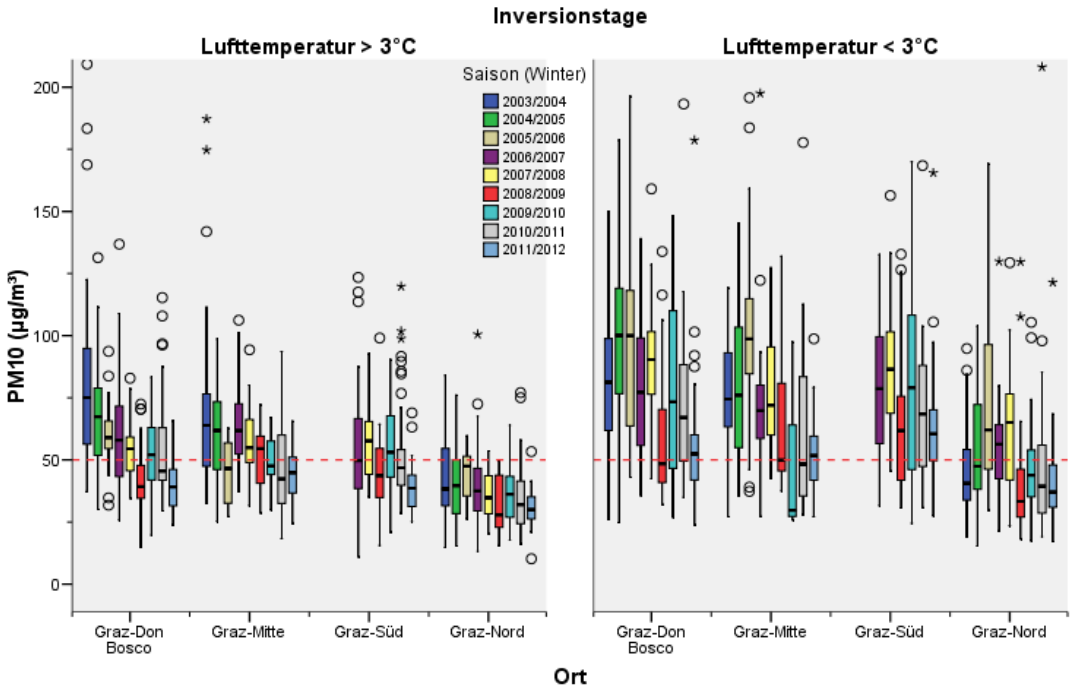


Abbildung 2.11: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Inversionstage

Pro Ort hat man aggregiert über alle Saisonen folgende Aufteilung:

G-DB: 51% zu 49% (608 Tage mit Inversion) [11/12: 75 Tage]
G-M: 61% zu 39% (363 Tage) [11/12: 40 Tage (G-M Gries)]
G-S: 52% zu 48% (nur 06/07 bis 11/12) (434 Tage) [11/12: 81]
G-N: 55% zu 45% (601 Tage) [11/12: 72 Tage]

Im milden Winter 06/07 hatten nur 33% der Inversionstage eine Lufttemperatur unter 3 °C, 09/10 waren es 36%. Im strengen Winter 05/06 waren es hingegen 69% Inversionstage, gefolgt von der aktuellen Wintersaison mit 57%.

Die Anzahl der Inversionstage pro Wintersaison schwankt zwischen 24 (G-M 08/09) und 87 (G-N 03/04):

G-Don Bosco:
03/04: 79 Tage
04/05: 78 Tage
05/06: 55 Tage
06/07: 82 Tage
07/08: 57 Tage
08/09: 49 Tage
09/10: 59 Tage
10/11: 74 Tage
11/12: 75 Tage

G-Mitte:
03/04: 59 Tage
04/05: 56 Tage
05/06: 32 Tage
06/07: 49 Tage
07/08: 35 Tage
08/09: 24 Tage
09/10: 22 Tage
10/11: 46 Tage
11/12: 40 Tage

G-Süd:
06/07: 81 Tage
07/08: 66 Tage
08/09: 61 Tage
09/10: 66 Tage
10/11: 79 Tage
11/12: 79 Tage

G-Nord:
03/04: 87 Tage
04/05: 81 Tage
05/06: 49 Tage
06/07: 84 Tage
07/08: 54 Tage
08/09: 42 Tage
09/10: 58 Tage
10/11: 73 Tage
11/12: 73 Tage

(Messung an 114 von 182 Tagen)
(G-M Gries)

Tabelle 2.8: Kreuztabelle bzgl. Wintersaison und Inversionstage

Inversionstage * Saison (Winter) * Ort Kreuztabelle

Ort				Saison (Winter) 2003/2004	2004/2005	2005/2006	2006/2007	2007/2008	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	Gesamt
Graz-Don Bosco	Inversionstage	Lufttemperatur > 3°C	Anzahl	36	37	17	55	30	22	36	47	29	309
			% von Saison (Winter)	*45,6%*	*47,4%*	*30,9%*	*67,1%*	*52,6%*	*44,9%*	*61,0%*	*63,5%*	*38,7%*	*50,8%*
		Lufttemperatur < 3°C	Anzahl	43	41	38	27	27	27	23	27	46	299
			% von Saison (Winter)	*54,4%*	*52,6%*	*69,1%*	*32,9%*	*47,4%*	*55,1%*	*39,0%*	*36,5%*	*61,3%*	*49,2%*
	Gesamt		Anzahl	79	78	55	82	57	49	59	74	75	608
			% von Saison (Winter)	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*
Graz-Mitte	Inversionstage	Lufttemperatur > 3°C	Anzahl	36	36	8	34	21	15	18	32	22	222
			% von Saison (Winter)	*61,0%*	*64,3%*	*25,0%*	*69,4%*	*60,0%*	*62,5%*	*81,8%*	*69,6%*	*55,0%*	*61,2%*
		Lufttemperatur < 3°C	Anzahl	23	20	24	15	14	9	4	14	18	141
			% von Saison (Winter)	*39,0%*	*35,7%*	*75,0%*	*30,6%*	*40,0%*	*37,5%*	*18,2%*	*30,4%*	*45,0%*	*38,8%*
	Gesamt		Anzahl	59	56	32	49	35	24	22	46	40	363
			% von Saison (Winter)	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*
Graz-Süd	Inversionstage	Lufttemperatur > 3°C	Anzahl				50	34	26	38	45	31	224
			% von Saison (Winter)				*61,7%*	*51,5%*	*42,6%*	*57,6%*	*57,0%*	*38,3%*	*51,6%*
		Lufttemperatur < 3°C	Anzahl				31	32	35	28	34	50	210
			% von Saison (Winter)				*38,3%*	*48,5%*	*57,4%*	*42,4%*	*43,0%*	*61,7%*	*48,4%*
	Gesamt		Anzahl				81	66	61	66	79	81	434
			% von Saison (Winter)				*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*
Graz-Nord	Inversionstage	Lufttemperatur > 3°C	Anzahl	46	45	17	59	30	14	39	48	33	331
			% von Saison (Winter)	*52,9%*	*54,9%*	*34,7%*	*70,2%*	*55,6%*	*33,3%*	*67,2%*	*65,8%*	*45,8%*	*55,1%*
		Lufttemperatur < 3°C	Anzahl	41	37	32	25	24	28	19	25	39	270
			% von Saison (Winter)	*47,1%*	*45,1%*	*65,3%*	*29,8%*	*44,4%*	*66,7%*	*32,8%*	*34,2%*	*54,2%*	*44,9%*
	Gesamt		Anzahl	87	82	49	84	54	42	58	73	72	601
			% von Saison (Winter)	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*	*100,0%*

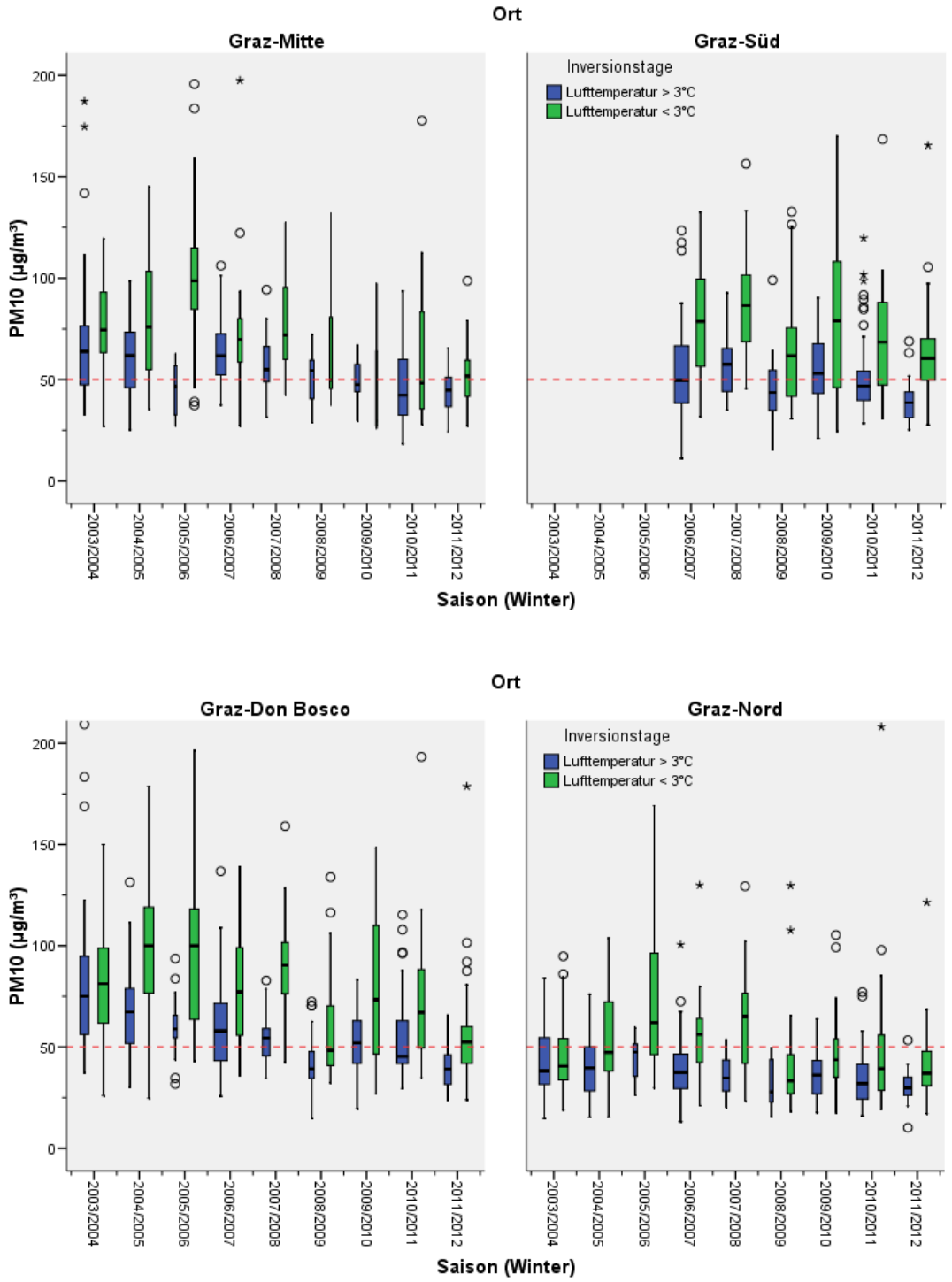


Abbildung 2.12: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Inversionstage

2.3 Kategorisierung bzgl. Inversion, Windgeschwindigkeit & Monate

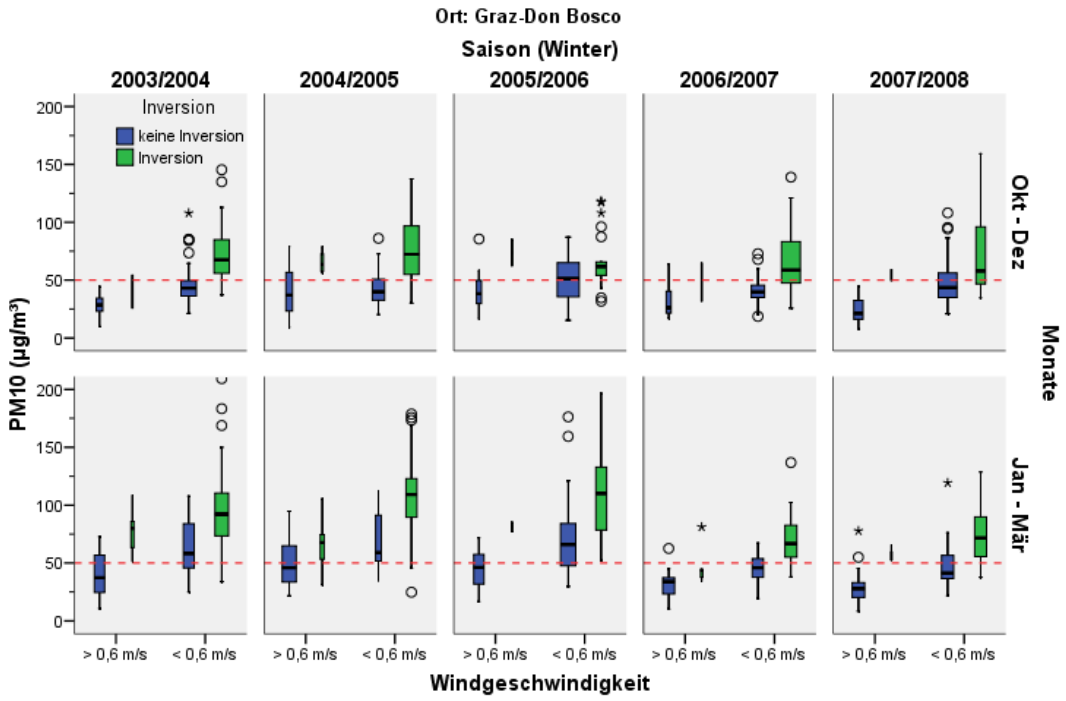
2.4 Boxplotserien nach Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion & Quartal

Graz-Don Bosco

Die globale Betrachtung bzgl. der Wintersaisonen zeigt die höchsten Werte in den ersten drei Saisonen 03/04 bis 05/06 für die Periode Jänner bis März (2. Zeile, ersten drei Graphiken). Der positive Einfluss von Wind (links|rechts) und der negative Einfluss von Inversion (blau|grün) auf die PM_{10}-Belastung ist ebenfalls klar erkennbar. Bemerkenswert ist die geringere Schwankungsbreite in den letzten sechs Saisonen 06/07 bis 11/12.

Die Saisonen mit den niedrigsten bzw. höchsten PM_{10}-Belastungen sind

- Milder Winter 06/07|Jan-Mär, Winter 07/08|Jan-Mär, Winter 08/09|Okt-Dez und Winter 11/12|Okt-Dez: niedrigste PM_{10}-Belastungen mit kleiner Streuung,
- Strenger Winter 05/06|Jan-Mär und Winter 04/05|Jan-Mär: höchste PM_{10}-Belastungen mit großer Streuung.



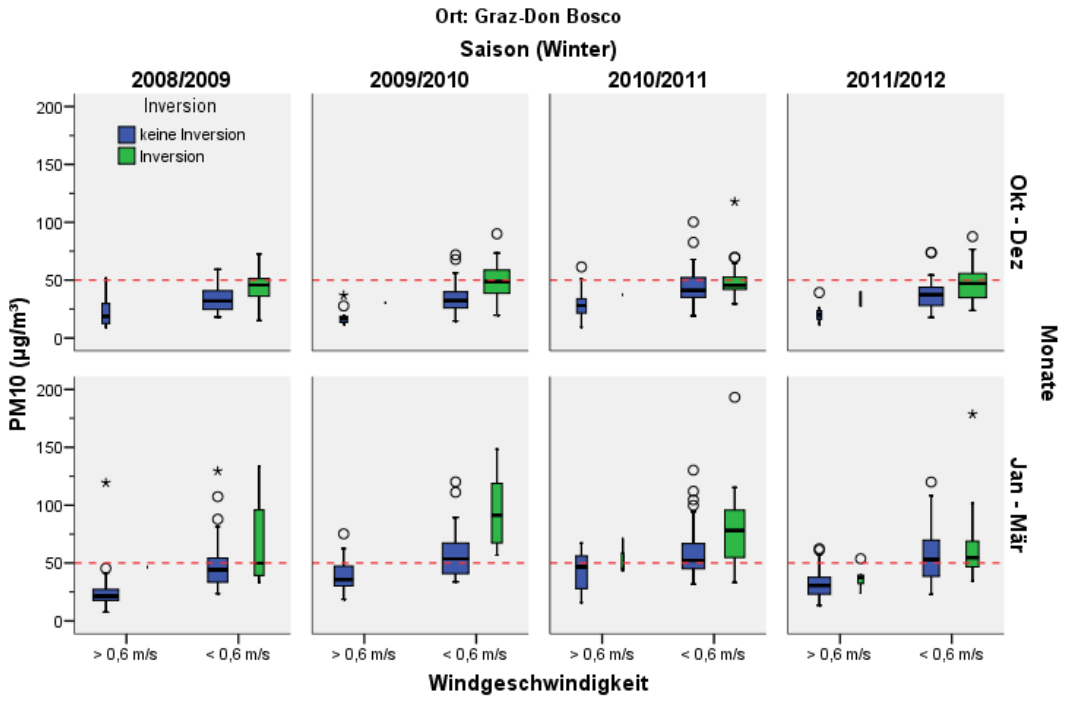
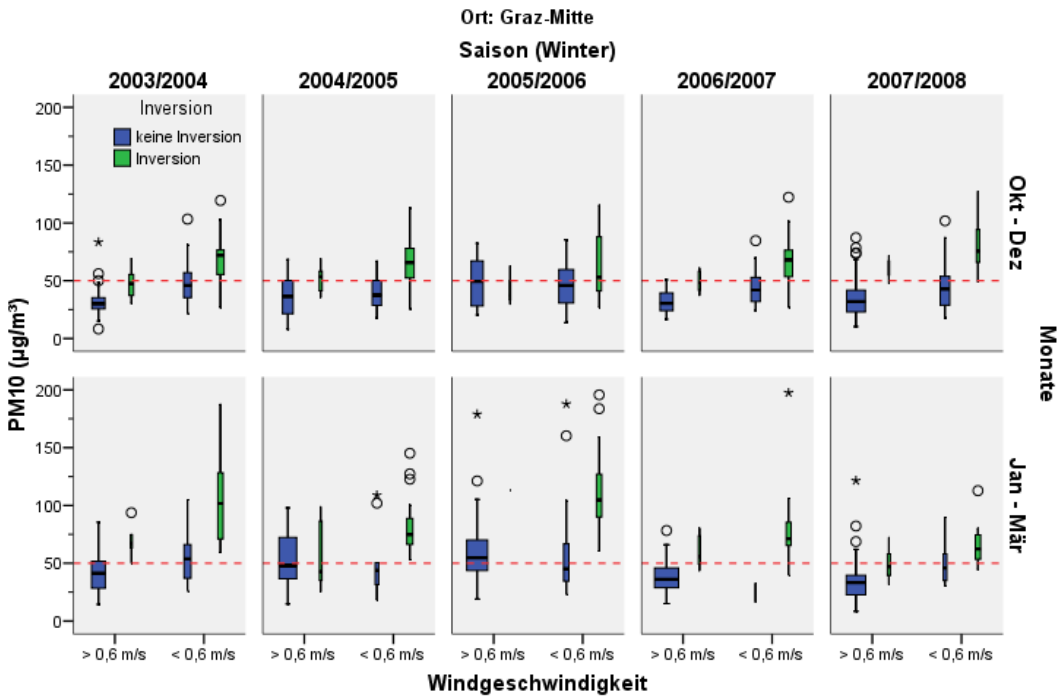


Abbildung 2.17: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Quartal in G-DB

Graz-Mitte

Der Winter 09/10 ist aufgrund des **Messausfalls** vom **11.12.2009** bis **18.02.2010** (68 Tage) mit den anderen Wintersaisonen nicht vergleichbar. Die Daten seit der Wintersaison 2010/2011 stammen von der (neuen) Messstelle „Graz-Mitte Gries“.

Die globale Betrachtung bzgl. der Wintersaisonen zeigt die höchsten Werte in den ersten drei Saisonen 03/04 bis 05/06 für die Periode Jänner bis März (2. Zeile, ersten drei Graphiken). Der positive Einfluss von Wind (links|rechts) und der negative Einfluss von Inversion (blau|grün) auf die PM_{10}-Belastung ist ebenfalls erkennbar; mit stärkeren Unterschieden in der zweiten Saisonhälfte Jan-Mär. Auffällig ist 05/06|Okt-Dez, wo kaum Unterschiede zwischen Tagen mit und ohne Inversion feststellbar sind. Bemerkenswert ist die geringere Schwankungsbreite in den fünf Saisonen 06/07, 07/08, 08/09, 10/11 & 11/12.



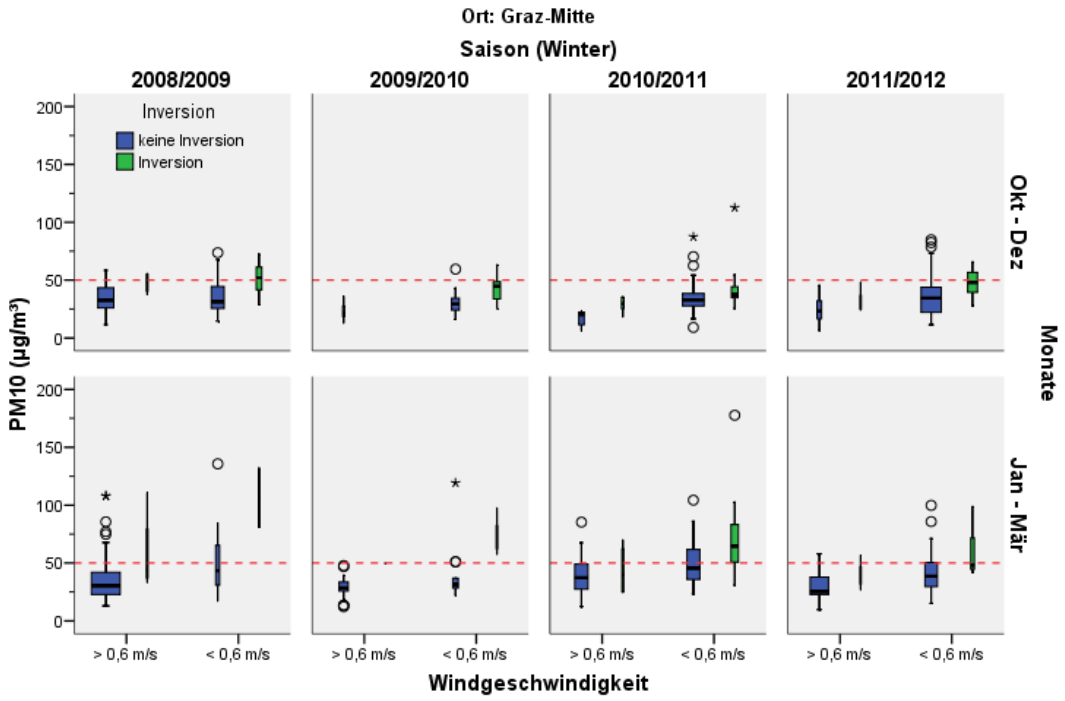


Abbildung 2.18: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Quartal in G-M

Die Saisonen mit den niedrigsten bzw. höchsten PM_{10}-Belastungen sind

- Milder Winter 06/07|Jan-Mär., Winter 04/05|Okt-Dez, Winter 07/08|Jan-Mär und Winter 11/12|Jan-Mär: niedrigste PM_{10}-Belastungen mit kleiner Streuung,
- Strenger Winter 05/06|Jan-Mär und Winter 03/04|Jan-Mär: höchste PM_{10}-Belastungen mit großer Streuung.

Graz-Süd

Aus Graz-Süd liegen nur Daten der letzten sechs Saisonen 06/07 bis 11/12 vor, die - wie schon ausgeführt - eine eher niedrige PM_{10}-Belastung aufweisen.

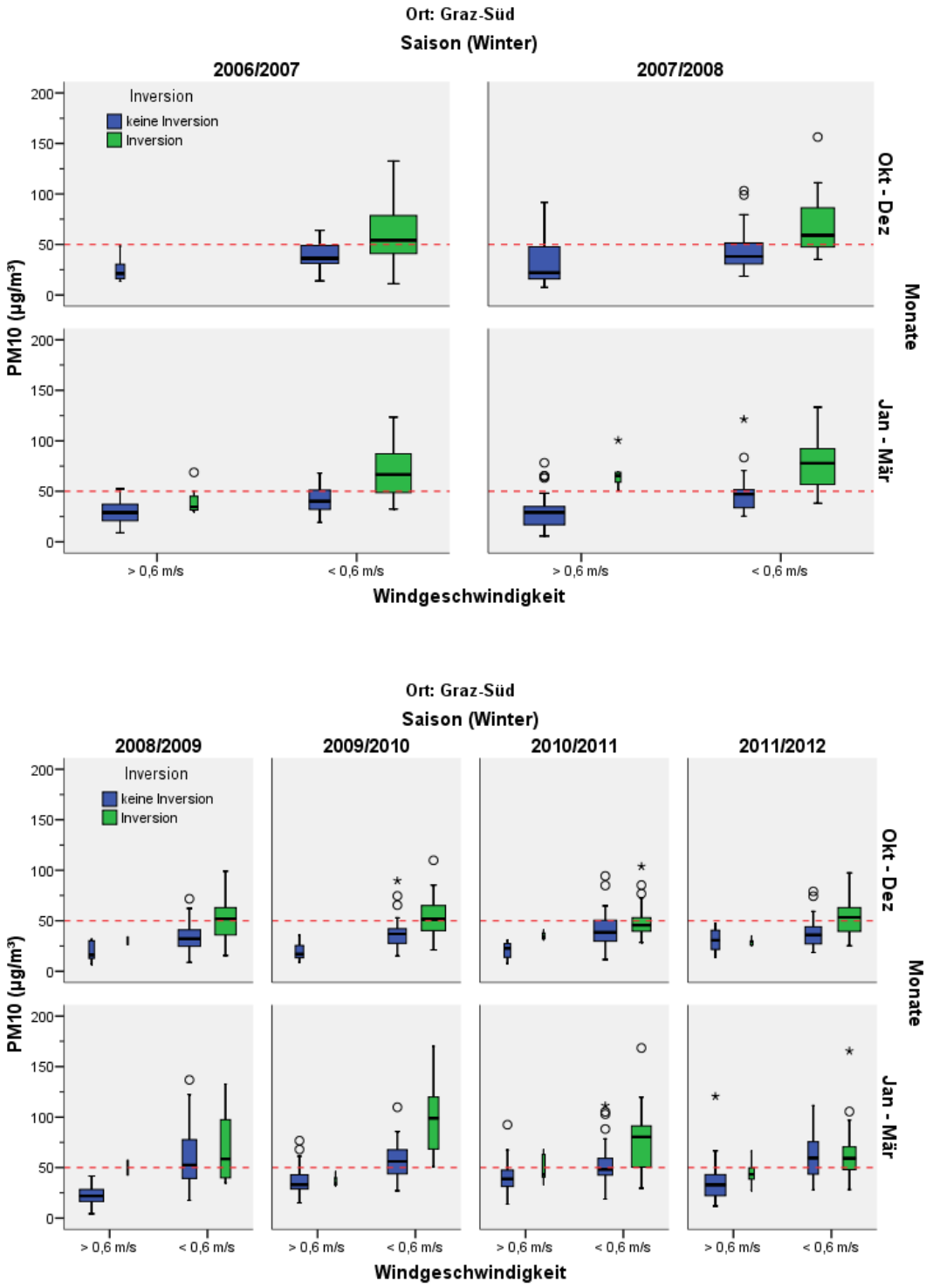


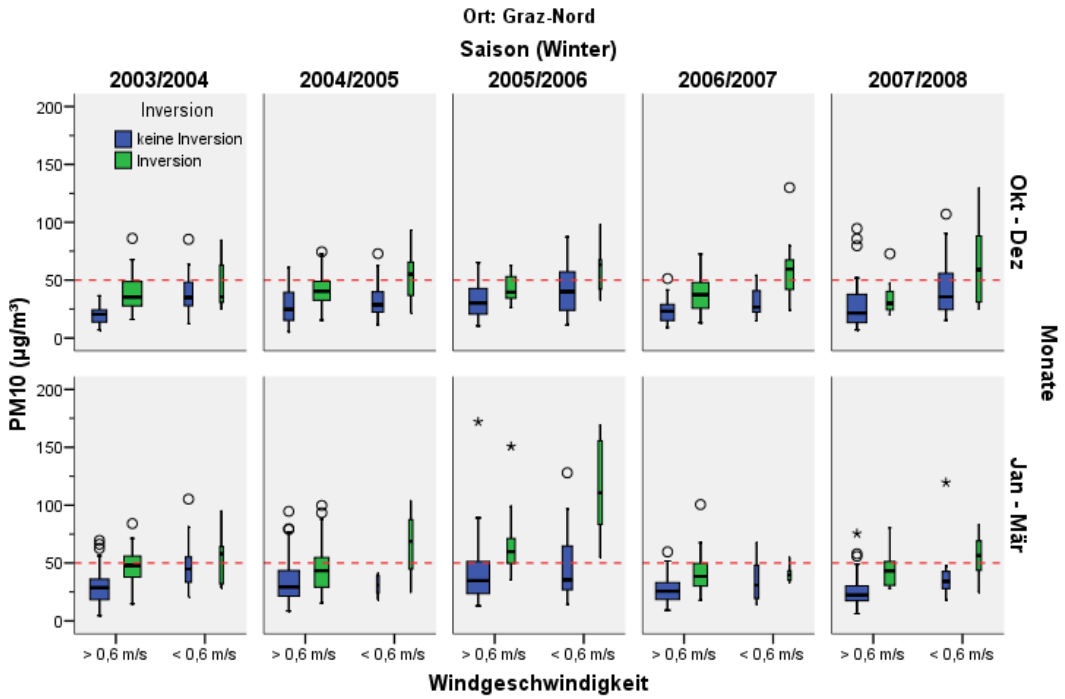
Abbildung 2.19: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Quartal in G-S

Graz-Nord

Die globale Betrachtung bzgl. der Wintersaisonen zeigt die höchsten Werte in den beiden Saisonen 04/05 bis 05/06 für die Periode Jänner bis März (2. Zeile, Graphiken 2 und 3). Der positive Einfluss von Wind (links|rechts) und der negative Einfluss von Inversion (blau|grün) auf die PM_{10}-Belastung ist ebenfalls erkennbar; mit stärkeren Unterschieden in der zweiten Saisonhälfte Jan-Mär. Auffällig ist 06/07|Jan-Mär, wo kaum Unterschiede zwischen Tagen mit und ohne Inversion feststellbar sind. Bemerkenswert ist die geringere Schwankungsbreite in den letzten sechs Saisonen 06/07, 07/08 für Jan-Mär und 08/09, 09/10 & 10/11 für Okt-Dez, sowie der gesamten Wintersaison 11/12.

Die Saisonen mit den niedrigsten bzw. höchsten PM_{10}-Belastungen sind

- Milder Winter 06/07|Okt-Dez, Jan-Mär, Winter 07/08|Jan-Mär, Winter 08/09|Okt-Dez, Winter 09/10|Okt-Dez, Winter 10/11|Okt-Dez und Winter 11/12|Okt-Dez, Jan-Mär: niedrigste PM_{10}-Belastungen mit kleiner Streuung,
- Strenger Winter 05/06|Jan-Mär: höchste PM_{10}-Belastungen mit großer Streuung.



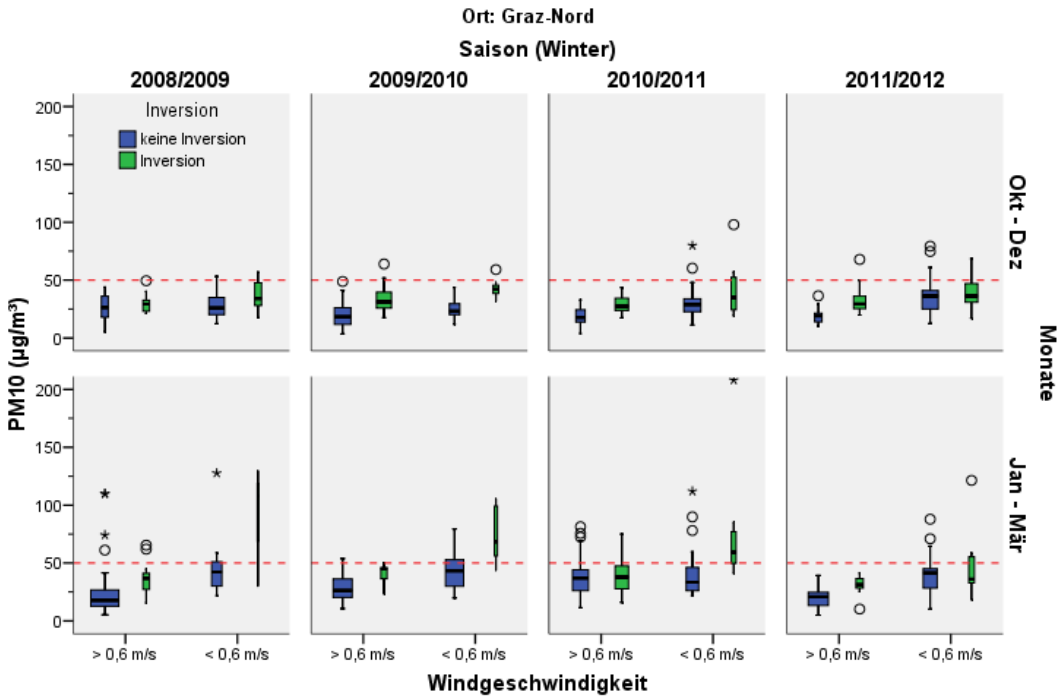


Abbildung 2.20: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Quartal in G-N

2.5 Boxplotserien nach Inversion, Windgeschwindigkeit & Tage

2.6 Boxplotserien nach Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion & Tagestyp

Die folgenden Boxplotserien kategorisieren, für jeden Messort getrennt, die vier Faktoren

- Saison (9 Ausprägungen: 03/04 | ... | 11/12),
- Windgeschwindigkeit (2 Ausprägungen: $>$ 0,6 m/s | $<$ 0,6 m/s)
- Inversion (2 Ausprägungen: keine Inversion | Inversion)
- Tagestyp (3 Ausprägungen: Mo-Fr | Sa | So/Fe)

Die Charakteristiken sind an allen Messorten sehr ähnlich und fassen die bereits oben erkannten Strukturen zusammen: Bzgl. der Wintersaisonen erkennt man eine Verringerung der PM_{10}-Belastung in den Saisonen 06/07 bis 11/12 für die Kategorie Mo-Fr. Die Kategorien Sa und So/Fe weisen bei Inversionen (grün) in einigen Saisonen große Schwankungen in der PM_{10}-Belastung auf. Generell ist die PM_{10}-Belastung bei höherer Windgeschwindigkeit (linker Teil jeder Graphik) niedriger.

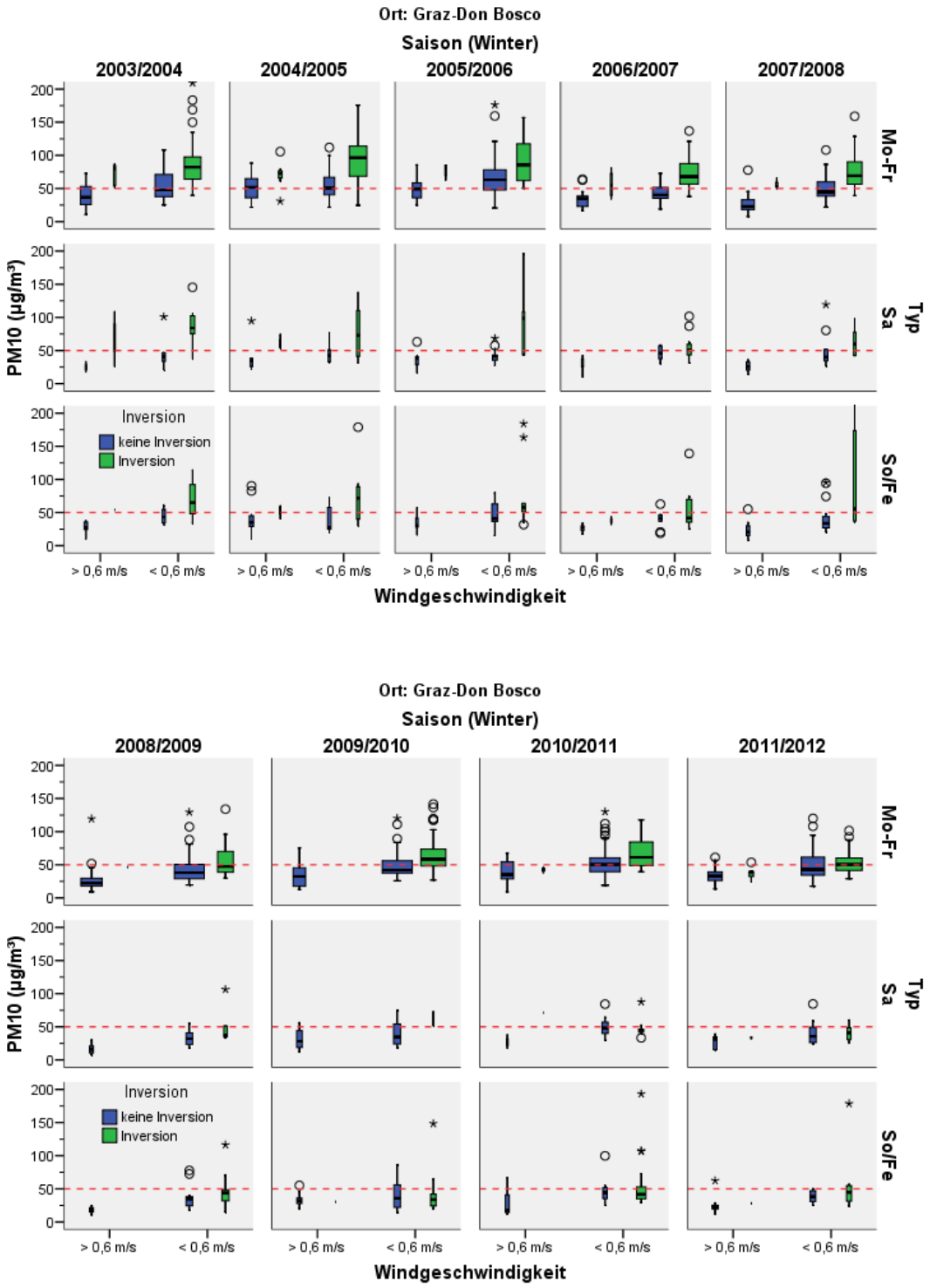
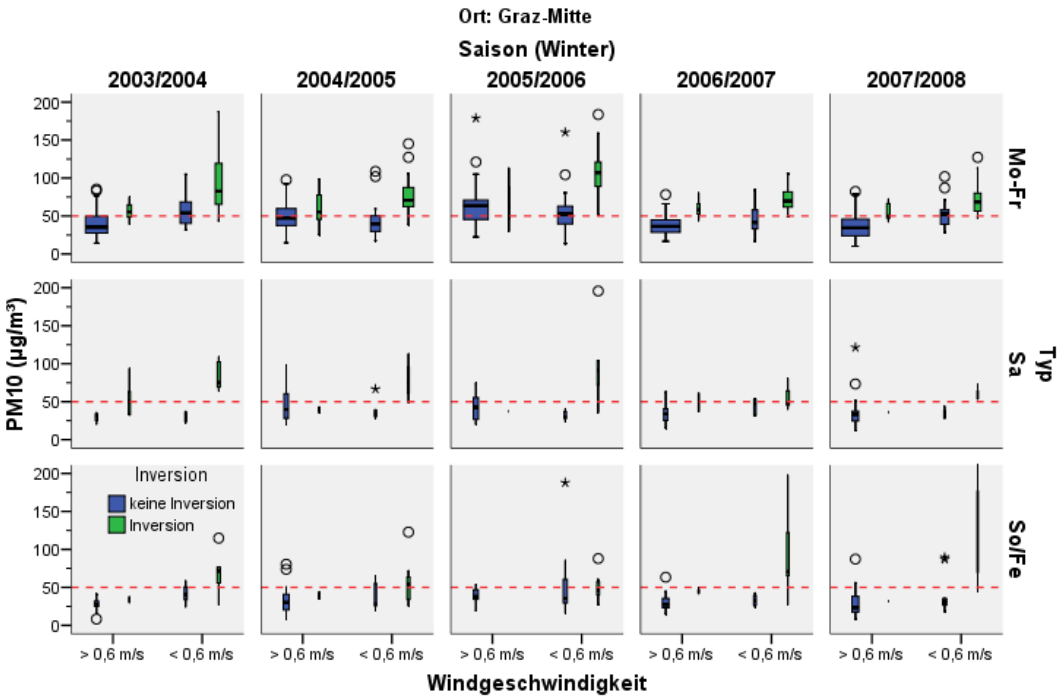


Abbildung 2.25: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Tagestyp in G-DB



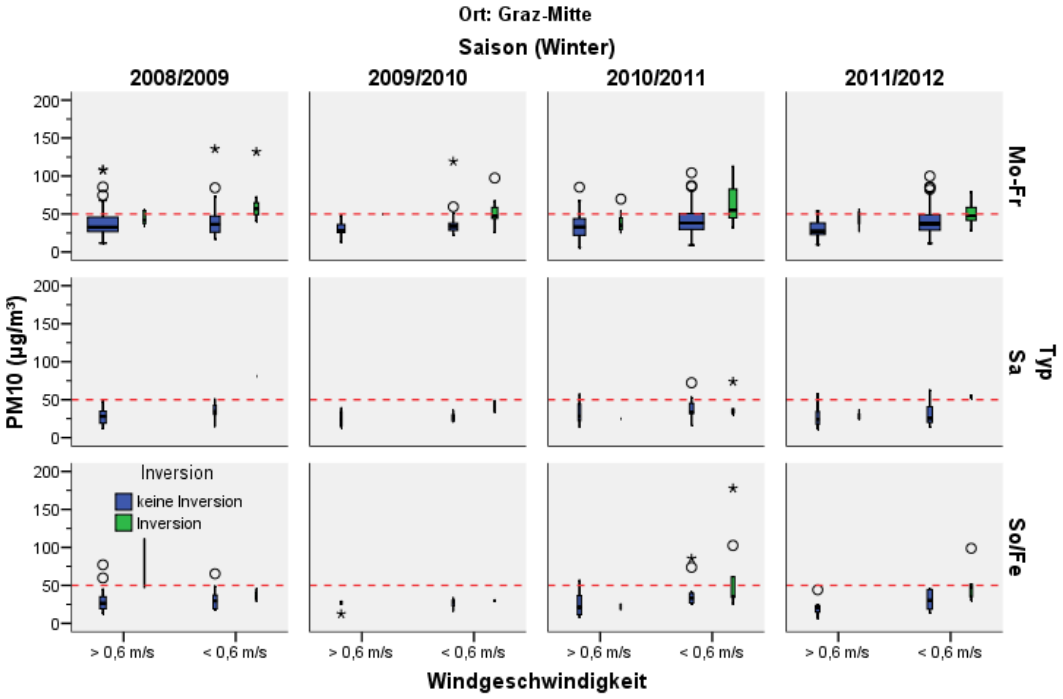
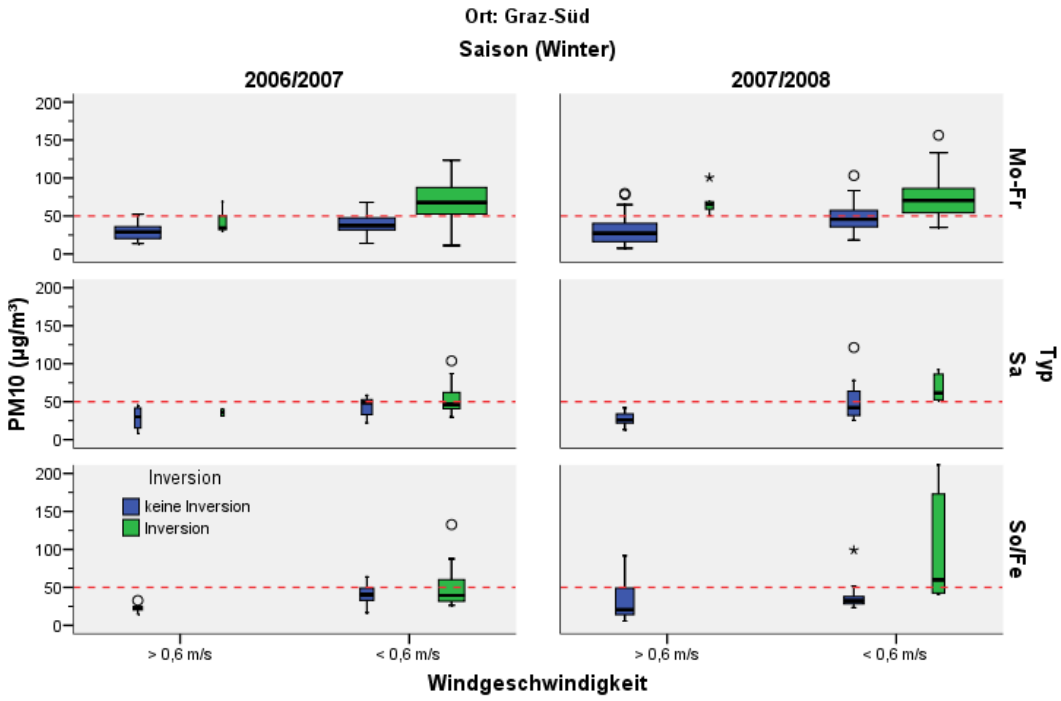


Abbildung 2.26: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Tagestyp in G-M



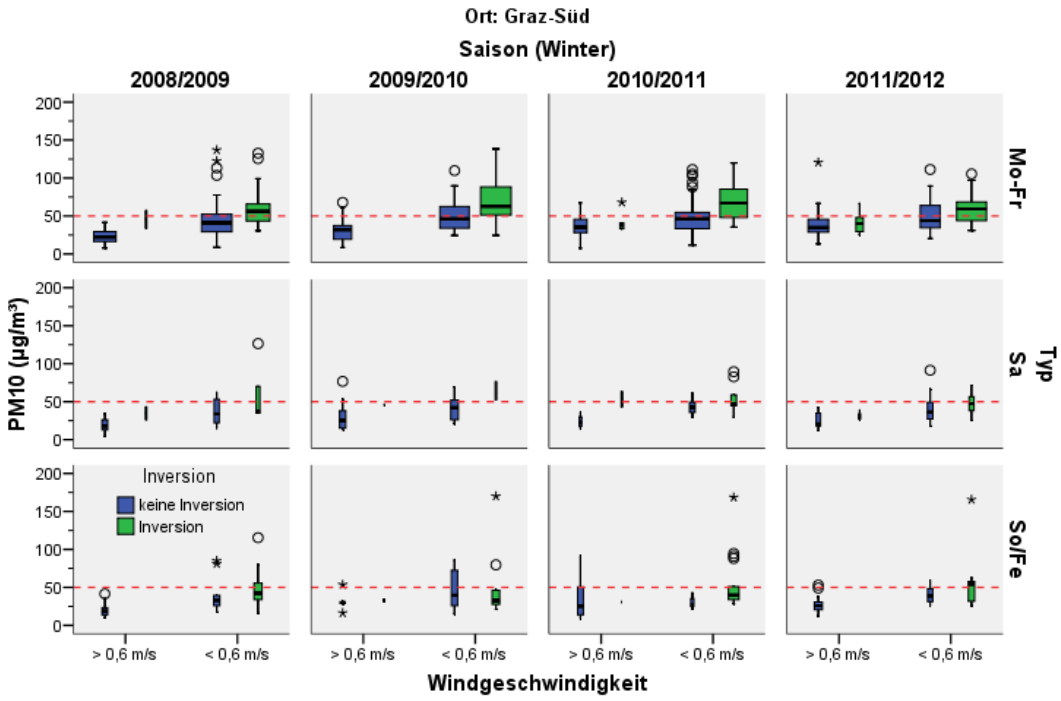
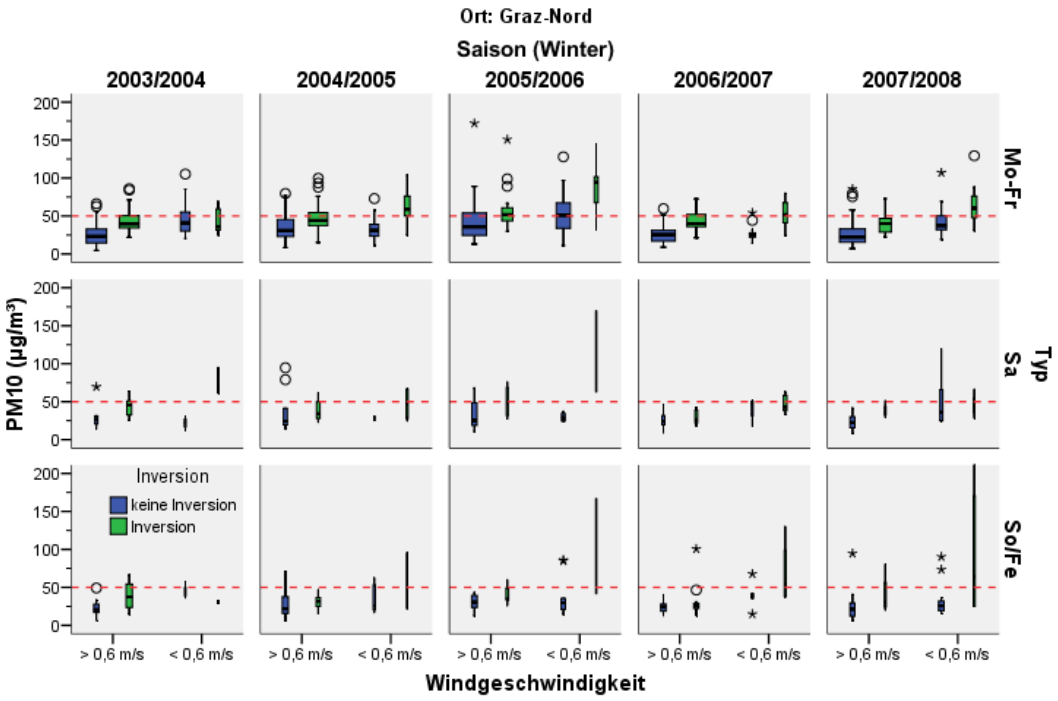


Abbildung 2.27: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Tagestyp in G-S



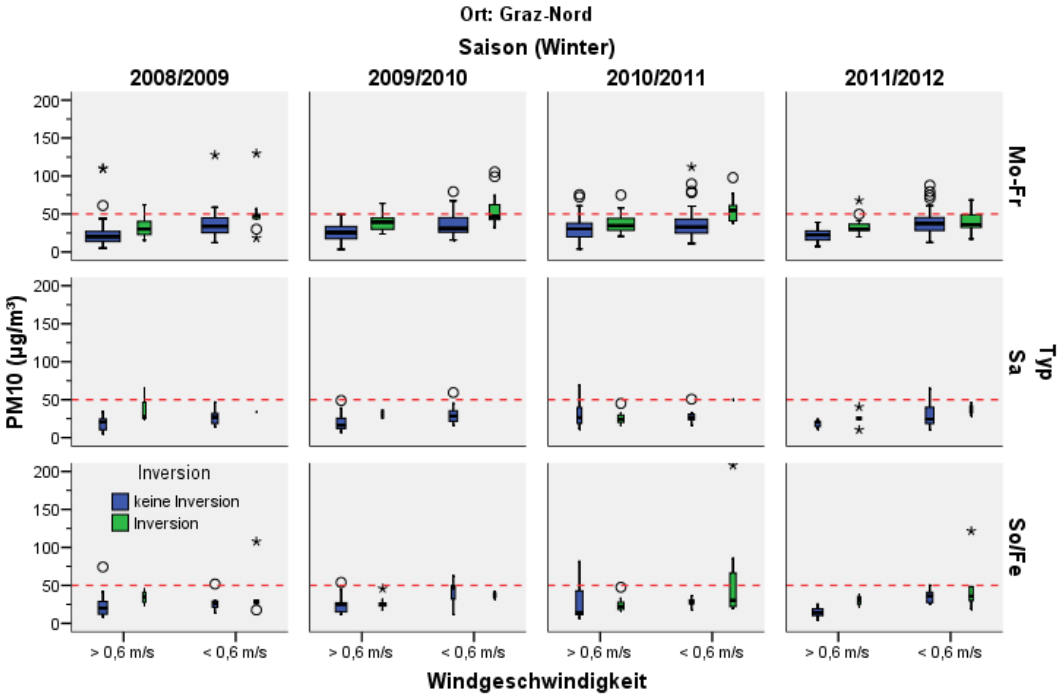


Abbildung 2.28: Boxplotserien der PM_{10}-Tagesmittelwerte bzgl. Saison, Windgeschwindigkeit, Inversion und Tagestyp in G-N

3 Evaluierung des Grazer Prognosemodells

3.1 Grundlagen und Ausgangspunkt

3.2 Datenmaterial

3.3 Prognosemodelle

4 Modelle für Wintermittelwerte PM_{10}

Die explorativen Analysen im ersten Kapitel zeigen deutliche Unterschiede in den Wintermittelwerten von PM_{10} bzgl. der neun Wintersaisonen (WS). Wir wollen diese Betrachtungen noch etwas vertiefen und einige zusätzliche Aspekte im Zusammenhang mit der Meteorologie beleuchten.

4.1 Univariate Analyse der Daten auf Tagesebene

In den folgenden Abbildungen sind die Histogramme und Fehlerbalken der TMW der Merkmale `PM10`, `Lufttemperatur`, `Windgeschwindigkeit`, `Spitzenwindgeschwindigkeit` und `deltatemp` (Differenz der Lufttemperaturen von Graz_X und Kalkleiten) für alle Wintersaisonen und Messorte angegeben.

PM_{10}

Aus den Histogrammen (dargestellt nur für $PM_{10} < 150$ µg/m^3, PM_{10}-Grenzwert = 50 µg/m^3 als rote Linie) erkennt man Unterschiede in den Verteilungen bzgl. der WS und der Messorte; insbesondere das deutlich niedrigere Niveaus des Messortes Graz-Nord. Ab der WS 06/07 fallen die etwas schlankeren, nach links verschobenen Verteilungen auf und die Fehlerbalken zeigen an allen Messorten deutlich niedrigere Mittelwerte (Kreise).

Das niedrigste mittlere PM_{10}-Niveau weist an den Messorten Graz-Don Bosco, Graz-Süd und Graz-Nord der Winter 08/09 auf, gefolgt von der aktuellen Wintersaison 11/12. In Graz-Mitte liegt der Wintermittelwert 11/12 sogar unter dem des Winters 08/09.

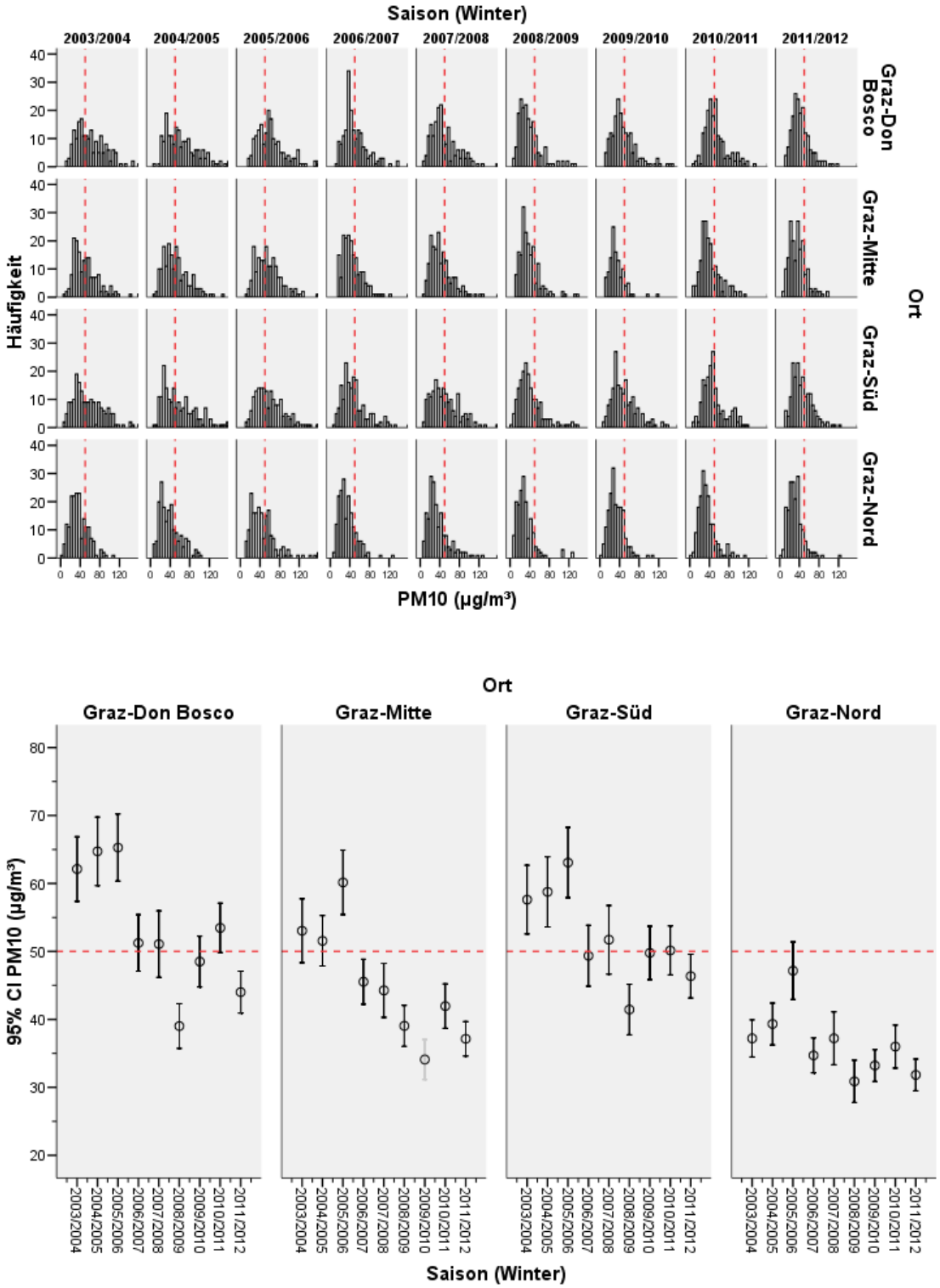
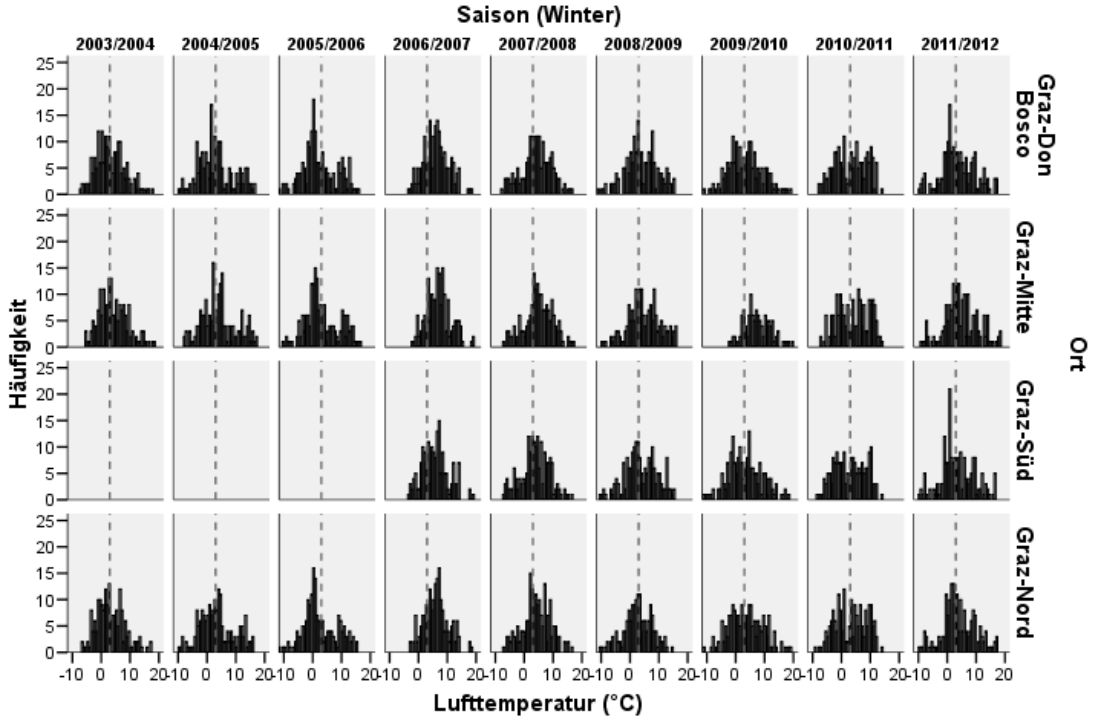


Abbildung 4.1: Verteilungen von PM_{10} bzgl. WS und Messort

Lufttemperatur

Die Verteilung der Lufttemperatur ist an allen Messorten ähnlich. In Graz-Süd wurde dieses Merkmal erst ab der Wintersaison 06/07 gemessen. Die ersten zwei WS 03/04 und 04/05 weisen ähnliche Temperaturverteilungen auf. Der kälteste Winter war 05/06 mit mittleren Temperaturen unter 3 °C, gefolgt vom bekannt warmen Winter 06/07 mit einer Durchschnittstemperatur um 6 °C (siehe Fehlerbalken). Die graue Linie in den Histogrammen und Fehlerbalken markiert 3 °C.

Die Lufttemperatur der aktuellen Wintersaison 11/12 liegt im mittleren Bereich der vorangegangenen acht Saisonen.



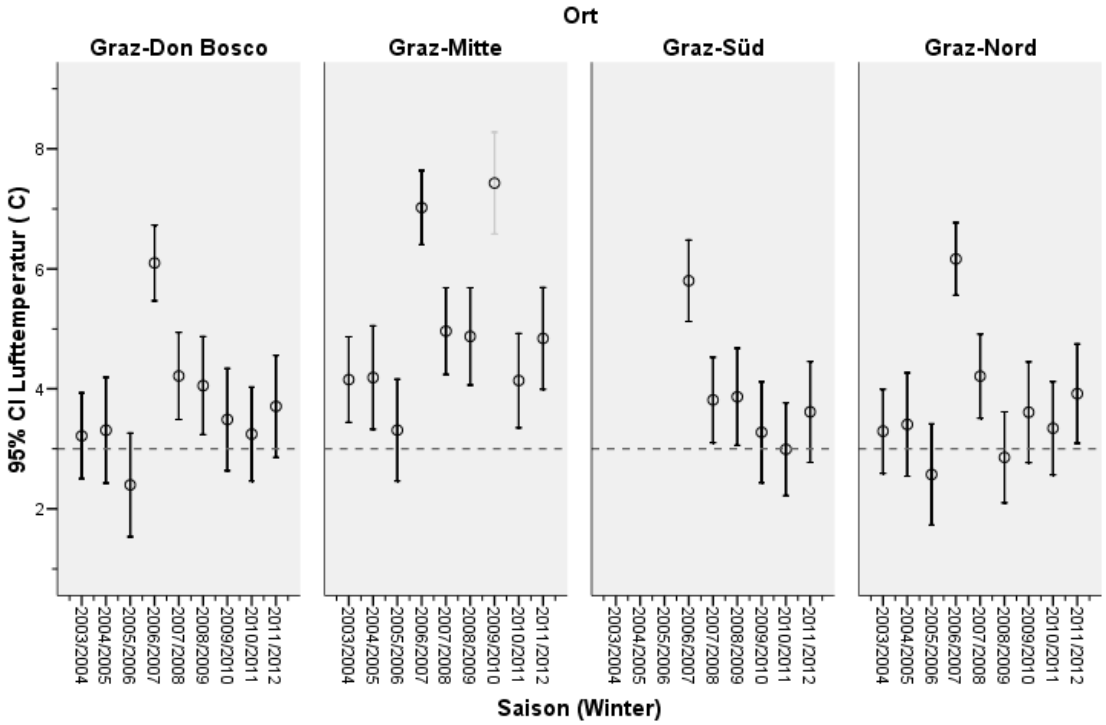


Abbildung 4.2: Verteilungen von Lufttemperatur bzgl. WS und Messort

Windgeschwindigkeit

Die Charakteristik der Verteilungen ist in Graz-Don Bosco, Graz-Mitte und Graz-Süd sehr ähnlich. Etwas stärkerer Wind ist in Graz-Nord zu verzeichnen.

Die mittlere Windgeschwindigkeit der aktuellen Wintersaison 11/12 befindet sich an den Messstellen Graz-Don Bosco und Graz-Mitte in der unteren und in Graz-Süd in der oberen Hälfte der vorangegangenen acht Saisonen. In Graz-Nord gab es am wenigsten Wind seit dem Winter 03/04.

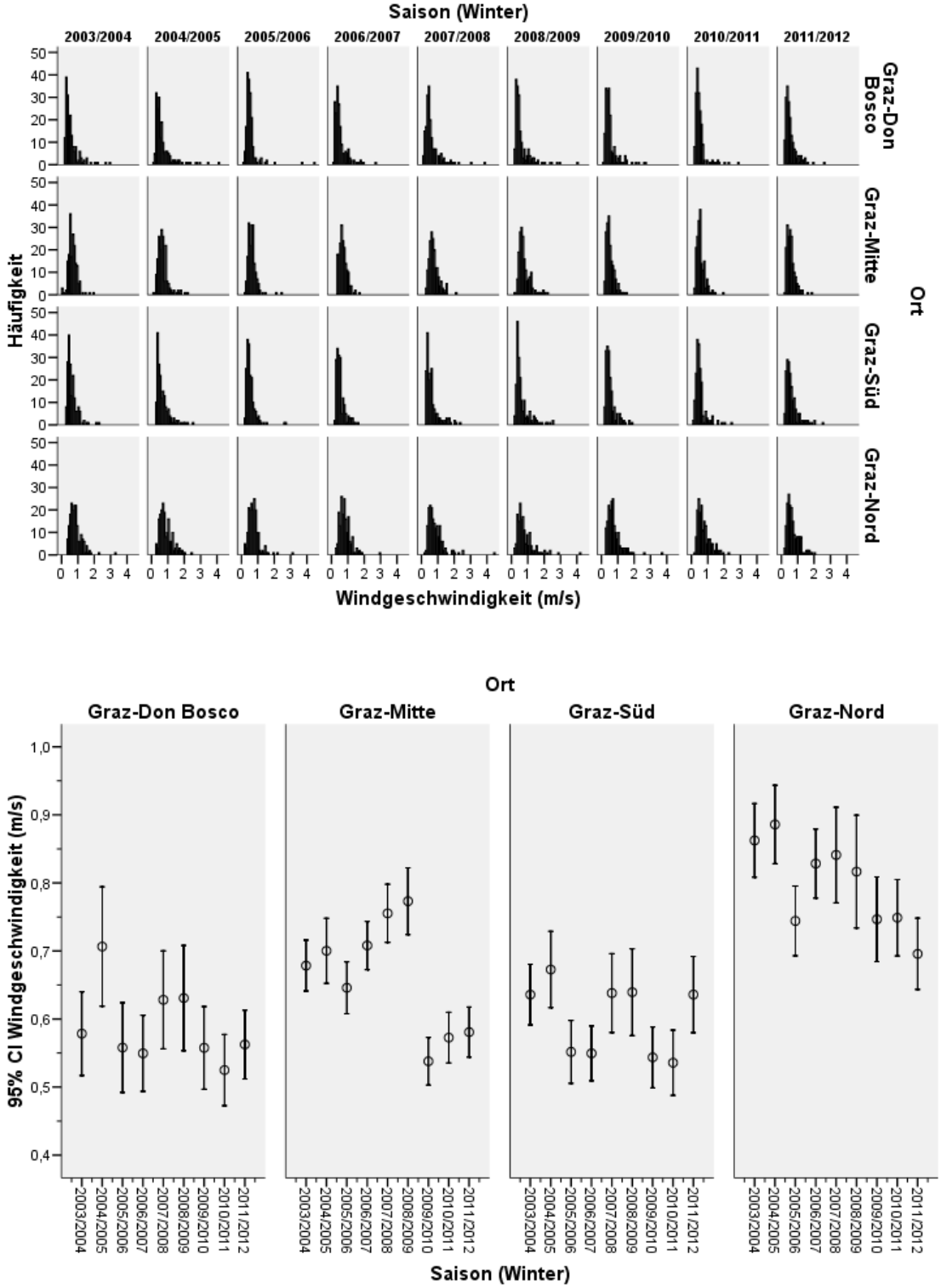
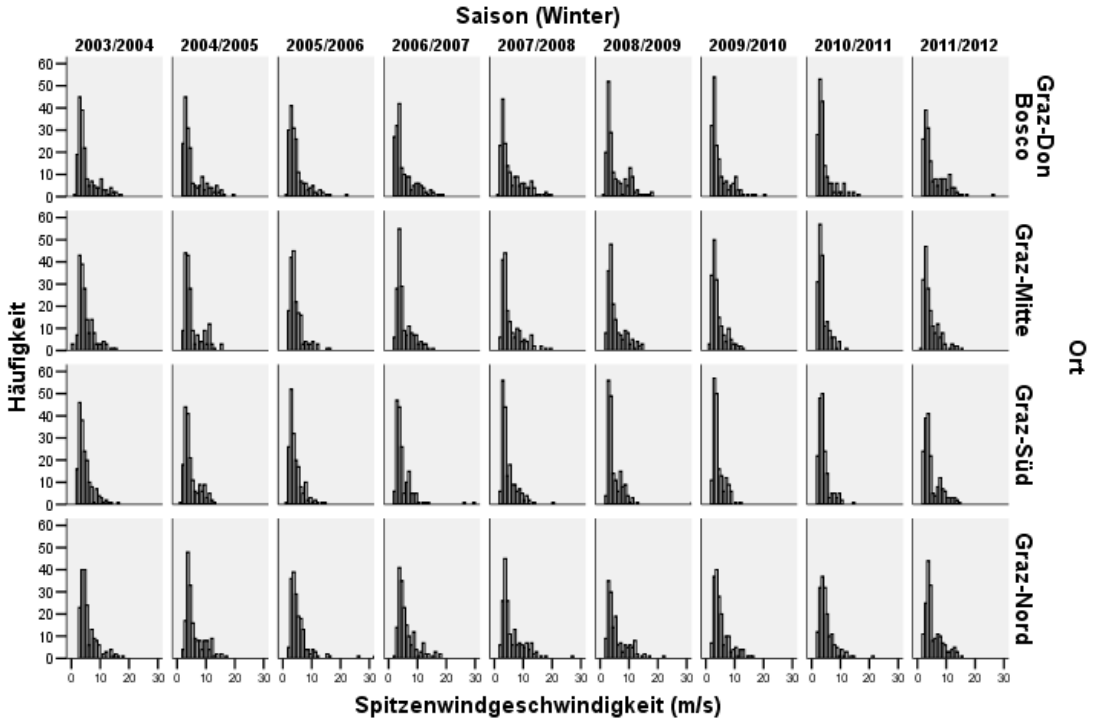


Abbildung 4.3: Verteilungen von Wind bzgl. WS und Messort

Spitzenwindgeschwindigkeit

In den Histogrammen werden nur Werte unter 30 m/s dargestellt. Die WS 09/10 und 10/11 weisen die niedrigsten Durchschnittswerte aus, die WS 06/07, 07/08 und 08/09 hingegen die höchsten.

Die Spitzenwindgeschwindigkeit der aktuellen Wintersaison 11/12 befindet sich an der Messstelle Graz-Don Bosco in der oberen, in Graz-Mitte in der unteren Hälfte und in Graz-Nord im mittleren Bereich der vorangegangenen acht Saisonen. In Graz-Süd gab es den stärksten Wind seit dem Winter 03/04.



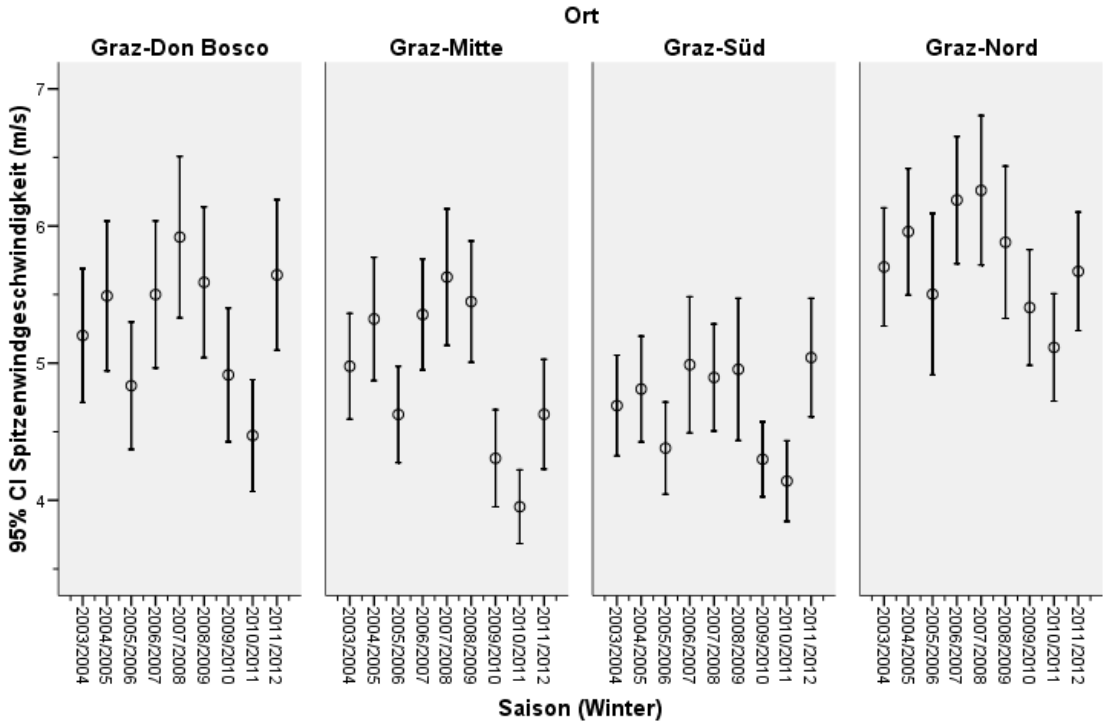


Abbildung 4.4: Verteilungen von Spitzenwind bzgl. WS und Messort

Temperaturdifferenz Graz-Kalkleiten

Man spricht von Temperaturinversion, wenn diese Differenz < 0 °C (markiert durch die graue Linie). Die WS 04/05 war eine Saison mit sehr vielen Inversionswetterlagen. Ein hoher Durchschnittswert deutet auf weniger Inversionstage hin (WS 05/06, WS 07/08, WS 08/09 und WS 09/10).

Die Temperaturdifferenz Graz-Kalkleiten der aktuellen Wintersaison 11/12 befindet sich an allen Messstelle im mittleren Bereich der vorangegangenen acht Saisonen. Dabei liegt der Mittelwert dieser Differenz an den Messorten Graz-Don Bosco, Graz-Süd und Graz-Nord nur leicht über 0 °C.

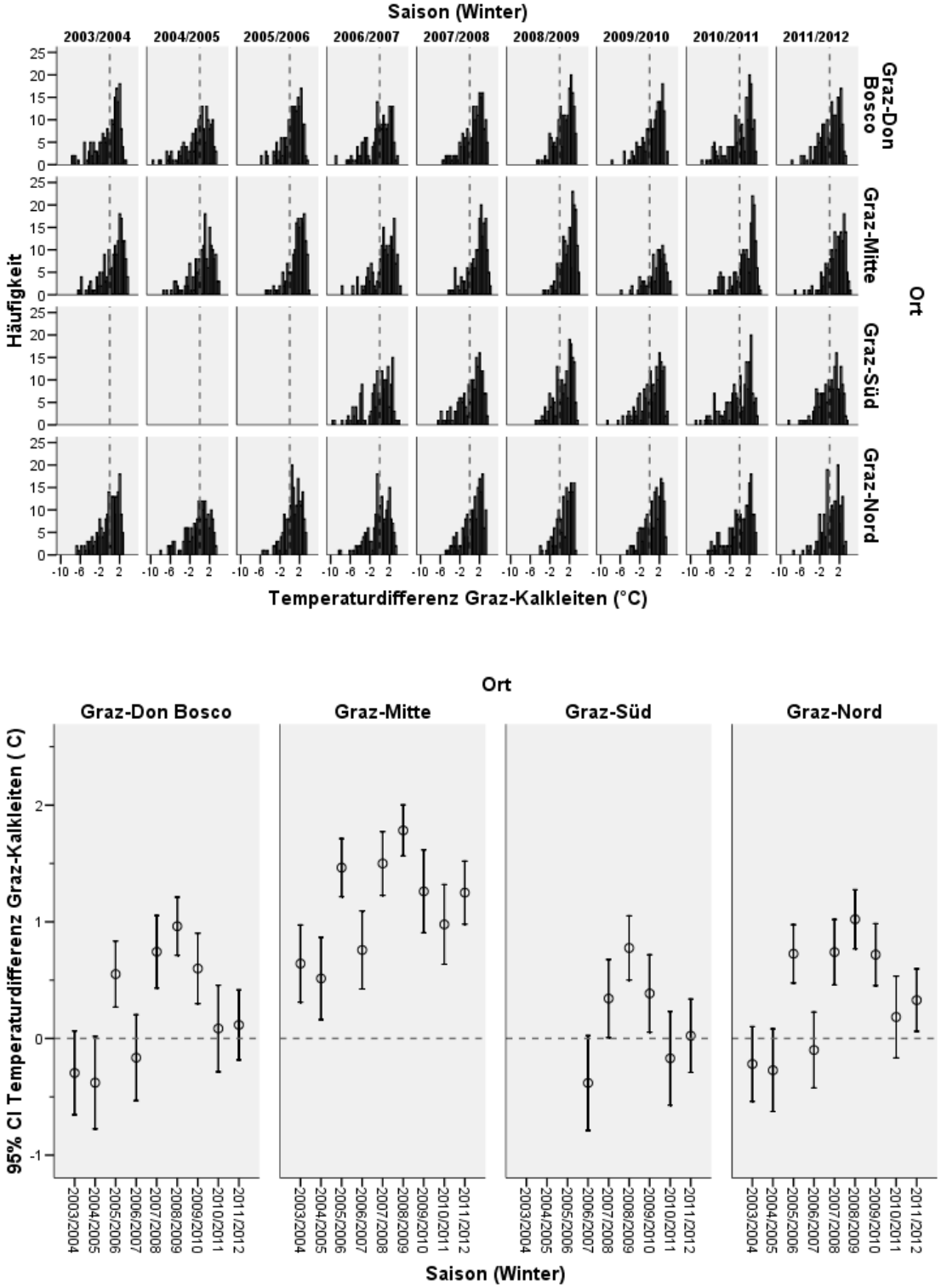


Abbildung 4.5: Verteilungen von deltatemp bzgl. WS und Messort

Wir betrachten neue Merkmale, die gewisse Eigenschaften noch stärker herausarbeiten sollen.

- `Frosttage` = Anzahl der Tage mit Lufttemperatur < 0 °C
- `Niederschlag` = Anzahl der Tage mit Niederschlag > 0 mm
- `Inversion_luft3` = Anzahl der Tage mit Lufttemperatur < 3 °C & deltatemp < 0 °C
- `Überschreitungstage` = Anzahl der Tage mit PM10 > 50 µg/m^3

Die Werte für die **WS 09/10** in **Graz-Mitte** wurden mittels Durchschnittsbildungen und Kalibrierung der übrigen Messorte und Saisonen berechnet (siehe Tabelle auf Seite 81). Die Daten für die Wintersaison 2010/2011 stammen von der Messstelle „Graz-Mitte Gries“.

Frosttage

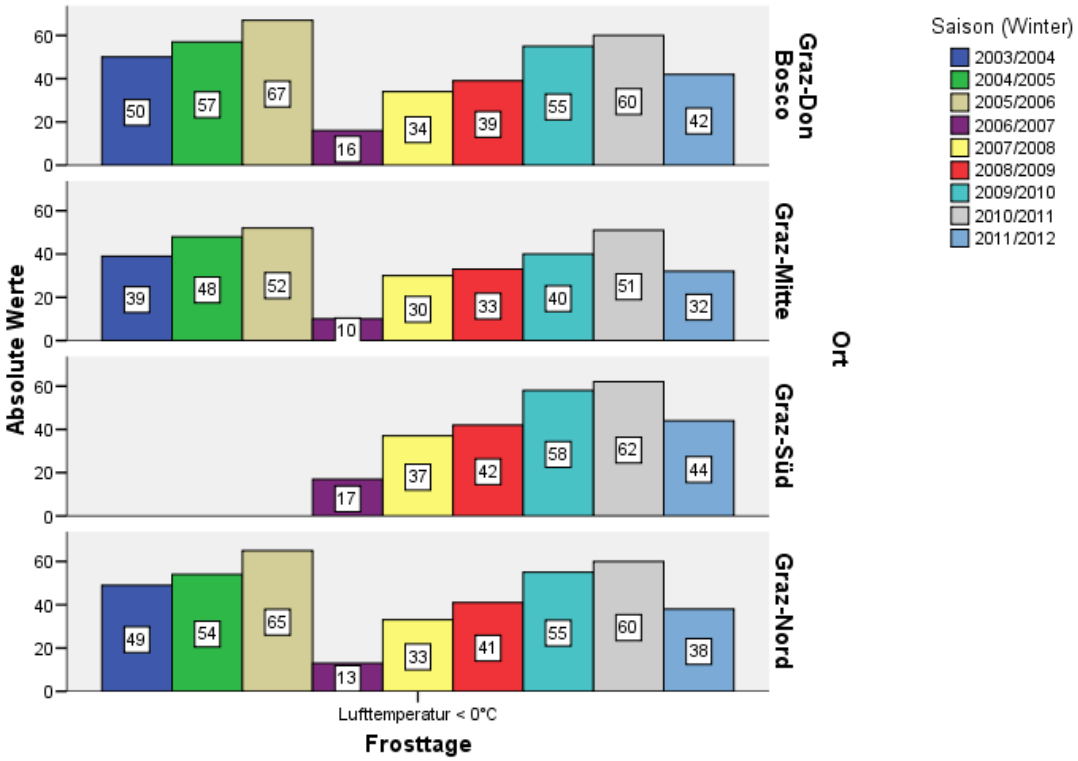


Abbildung 4.6: Anzahl der Frosttage bzgl. WS und Messorte

Die Balkendiagramme zeigen die extrem milde WS 06/07 (10-17 Frosttage), die milden WS 07/08, 08/09 & 11/12 (30-44 Frosttage), die normalen WS 03/04, 04/05, 09/10 & 10/11 (39-62 Frosttage) und die etwas strengere WS 05/06 (52-67 Frosttage).

Niederschlagstage

Der Niederschlag wurde nur in Graz-Nord gemessen. Die Anzahl der Tage mit Niederschlag reicht von 41 (WS 11/12) bis 66 (WS 09/10). Somit ist die aktuelle Wintersaison jene mit den wenigsten Niederschlagstagen.

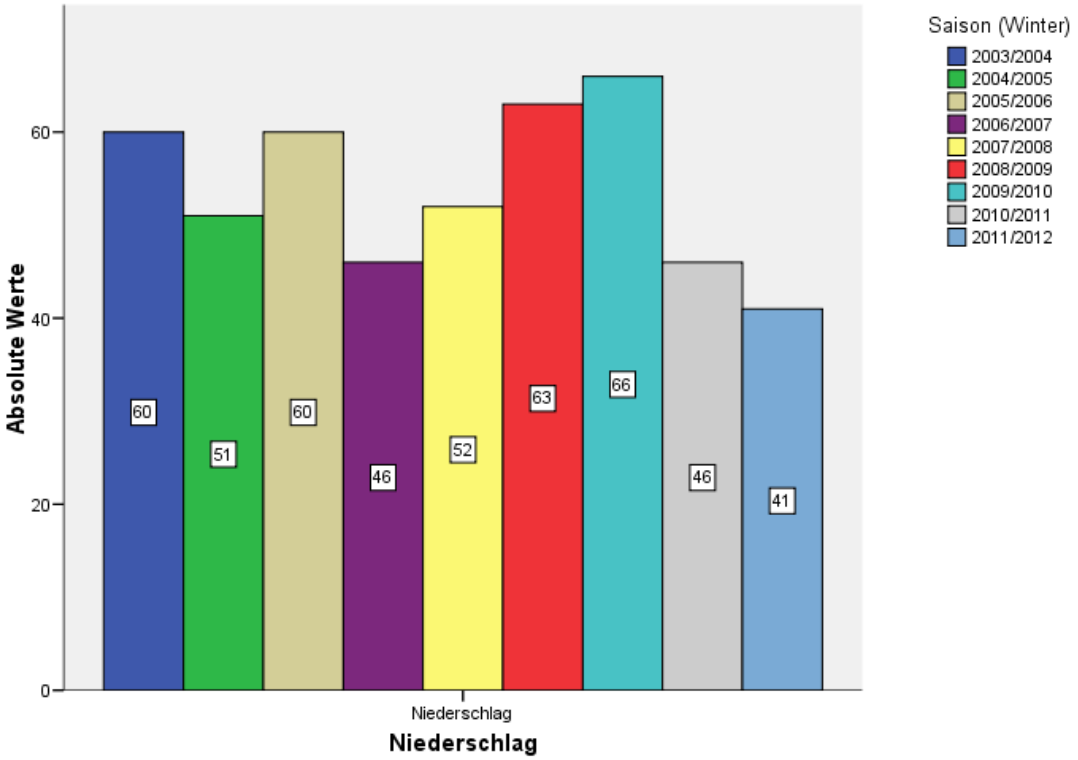


Abbildung 4.7: Anzahl der Niederschlagstage bzgl. WS und Messorte

Inversionstage

Die Zählung als Inversionstag nur bei Lufttemperatur < 3 °C ergibt eine ähnliche Charakteristik wie die Zählung der Frosttage für WS 03/04 bis WS 05/06. Die milde WS 06/07 ist hier nicht unterscheidbar von der WS 07/08, WS 08/09 und der WS 10/11.

Die aktuelle Wintersaison 11/12 hatte an den Messstellen Graz-Don Bosco und Graz-Süd die meisten und in Graz-Nord die zweitmeisten Tage mit Inversion. In Graz-Mitte liegt die WS 11/12 nach den Wintern 03/04, 04/05 und 05/06 an vierter Stelle.

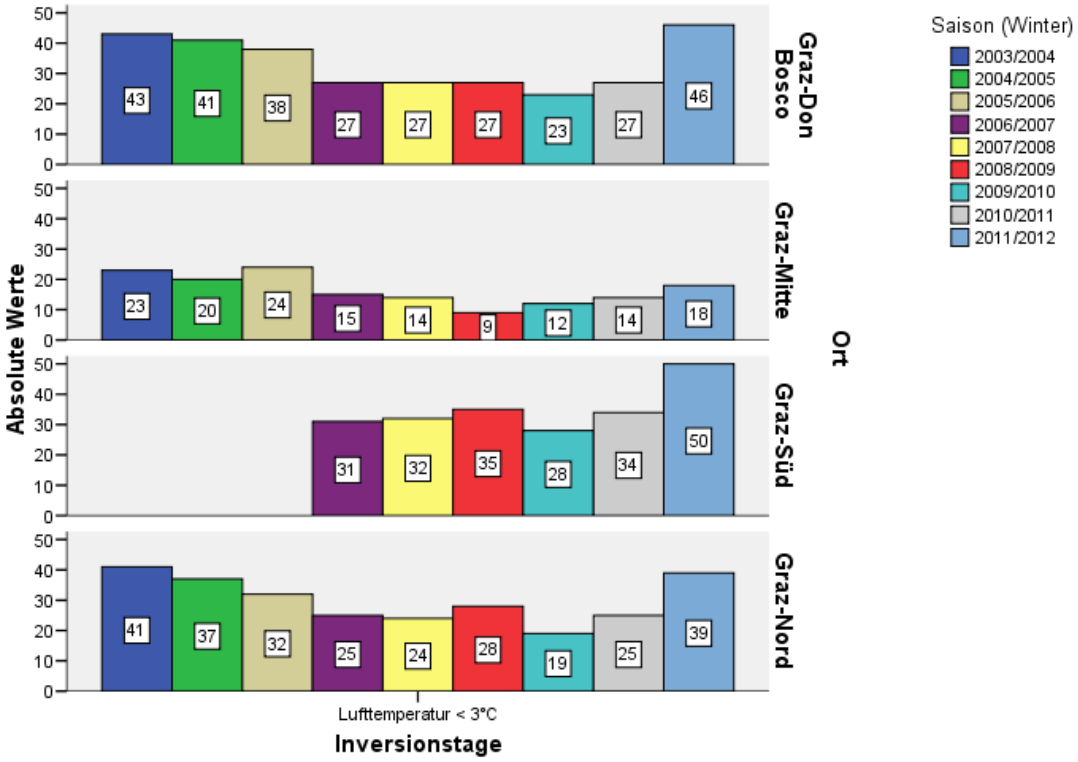


Abbildung 4.8: Anzahl der Inversionstage bzgl. WS und Messorte

Überschreitungstage

Hier betrachten wir die Anzahl der Überschreitungstage je Wintersaison. Üblicherweise wird die Anzahl der Überschreitungstage pro Jahr gezählt, um zu überprüfen, ob mehr als 30 Überschreitungstage pro Jahr (EU-Richtlinie) vorliegen. Man erkennt sofort, dass diese Größe stark mit der Anzahl der Frosttage korrespondiert. Dieser Aspekt wird später bei der Modellierung noch einmal aufgegriffen.

Die aktuelle Wintersaison 11/12 hatte an den Messstellen Graz-Don Bosco, Graz-Süd und Graz-Nord die zweitwenigsten Tage mit PM_{10}-Werten über 50 µg/m^3. In Graz-Mitte waren es sogar die wenigsten seit der WS 03/04.

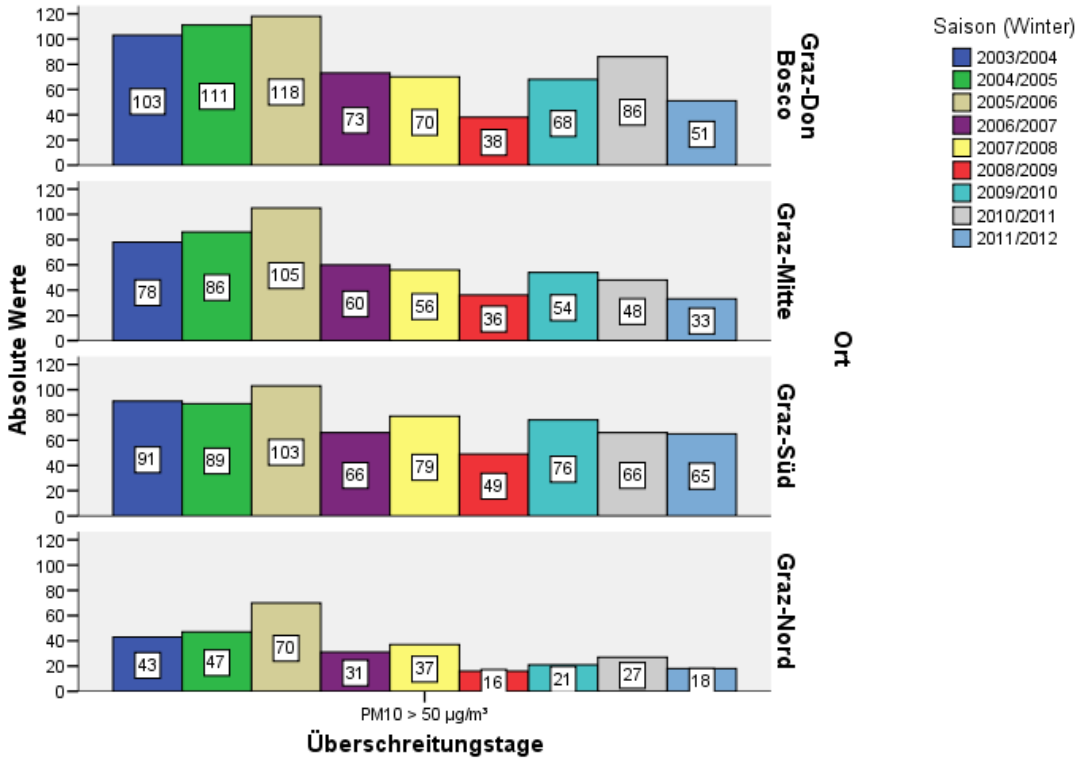


Abbildung 4.9: Anzahl der Überschreitungstage bzgl. WS und Messorte

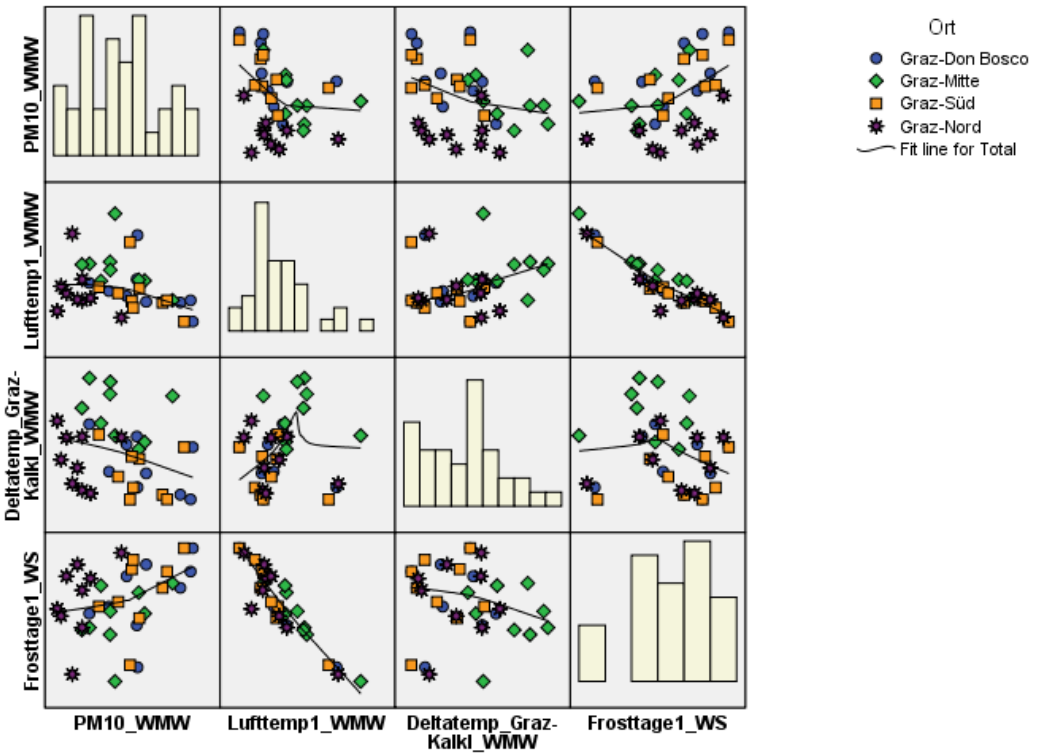
4.2 Zusammenhangsanalyse und Modellierung der Wintermittelwerte

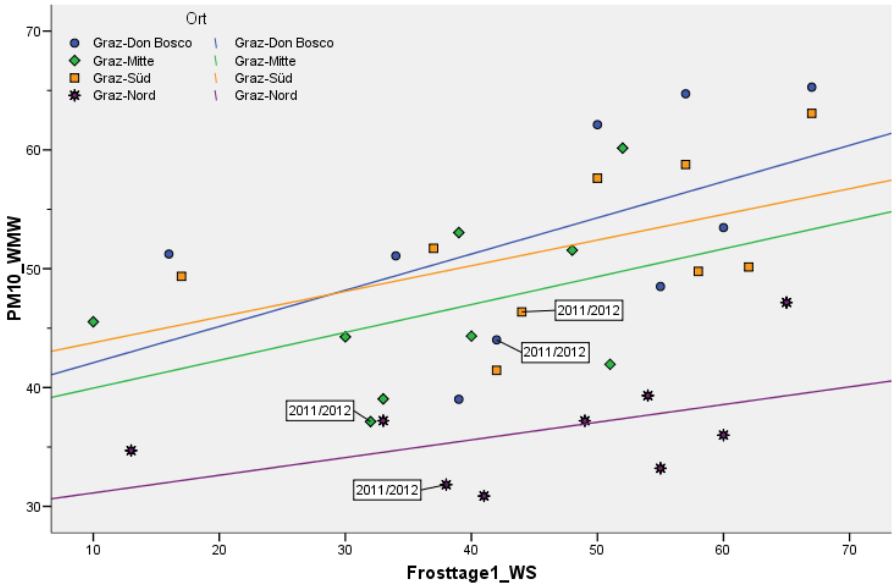
Um einen Einblick in die Zusammenhänge zwischen den Wintermittelwerten von PM_{10} und den meteorologischen Parametern zu bekommen, betrachten wir die nach den Orten und Wintersaisonen aggregierten Daten. Für *Graz-Süd* wurden *alle fehlenden Werte* (WS 03/04 bis WS 05/06), welche *Lufttemperaturen* beinhalten, aus *Graz-Don Bosco* übernommen. Die Werte für die WS 09/10 in *Graz-Mitte* wurden mittels Durchschnittsbildungen und Kalibrierung der übrigen Messorte und Saisonen berechnet.

Für einen ersten Überblick werden die Scatterplotmatrizen und Scatterplots zwischen PM_{10} und den meteorologischen Parametern für die 4 Orte Graz-Don Bosco, Graz-Mitte, Graz-Süd und Graz-Nord aufgeführt.

PM_{10} und Temperaturparameter

Den stärksten Zusammenhang zu PM_{10} hat hier die Anzahl der `Frosttage` (1. Zeile, 4. Spalte der Matrix). Diese Relation ist an allen Messorten nahezu linear. Die niedrigere PM_{10}-Belastung von Graz-Nord, sowie die milde WS 06/07 mit den wenigsten Frosttagen und höchsten Lufttemperaturen sind in den Scatterplots gut sichtbar. In Zeile 2, Spalte 4, ist der starke Zusammenhang zwischen `Lufttemperatur` und Anzahl der `Frosttage` sichtbar.





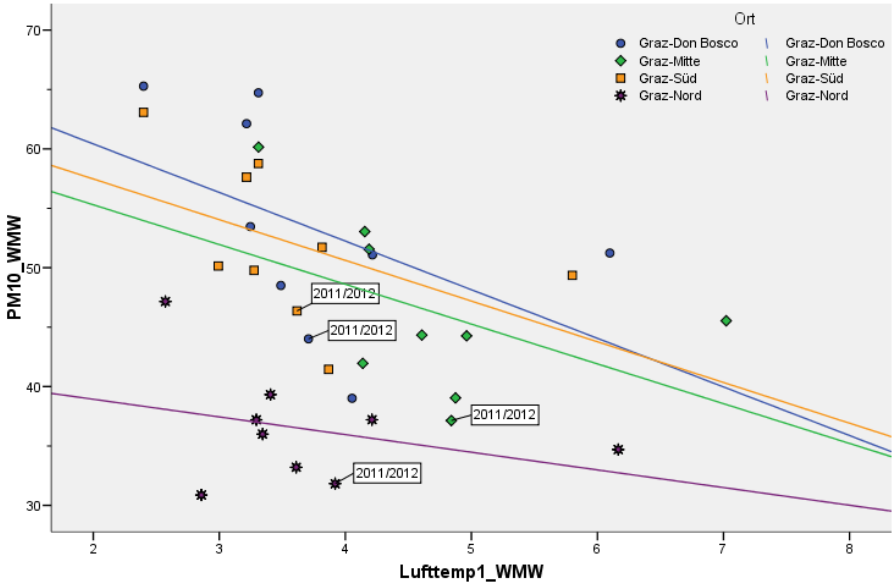
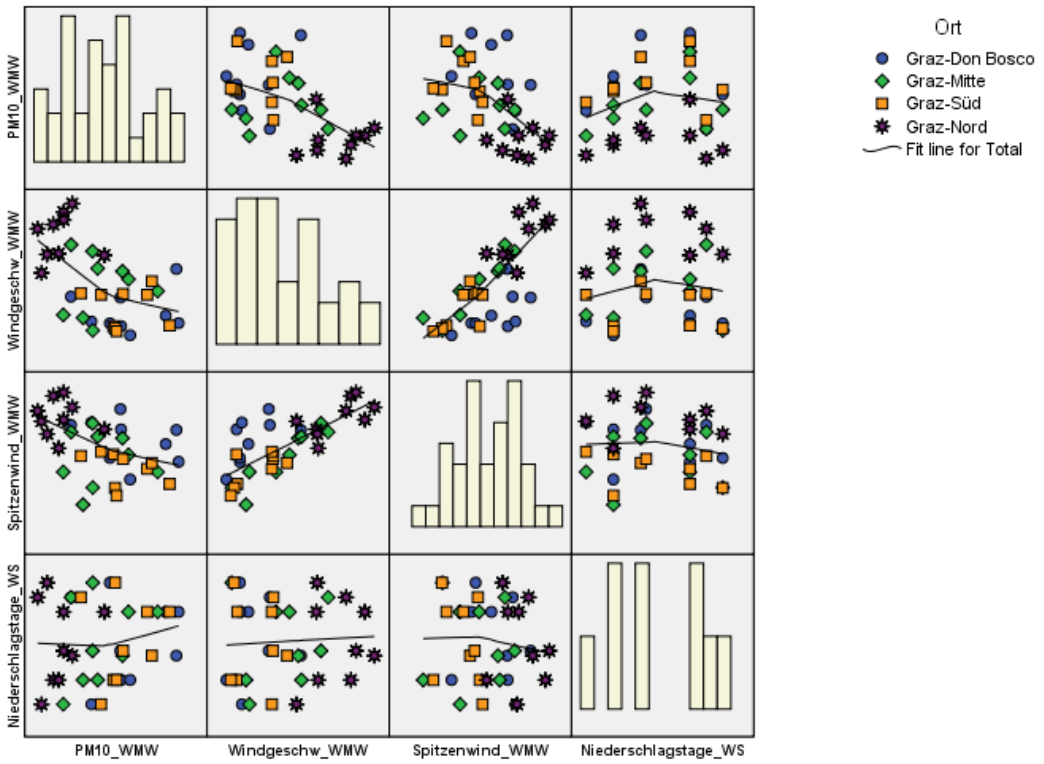


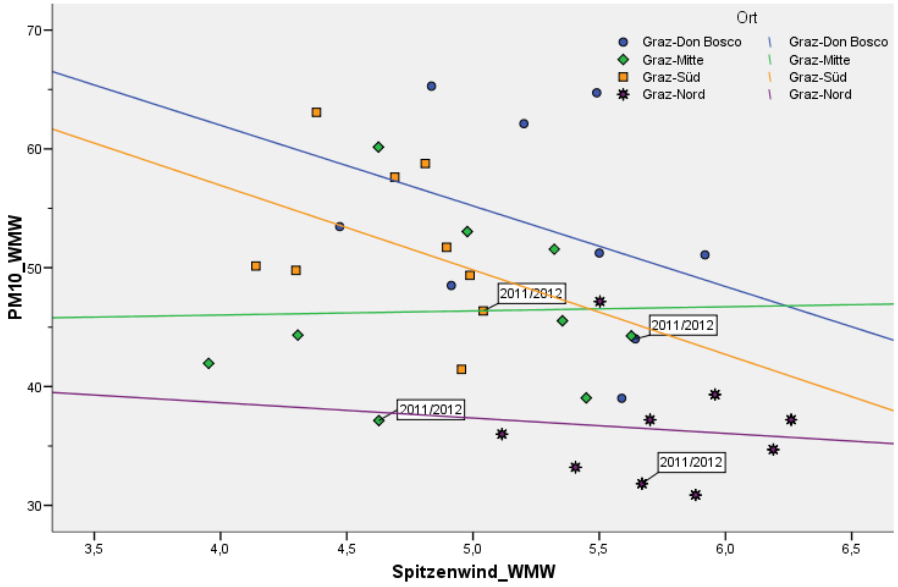
Abbildung 4.10: PM_{10} und Temperaturparameter

PM_{10}, Wind und Niederschlag

Das wichtigste Merkmal scheint hier die `Spitzenwindgeschwindigkeit` zu sein, wobei gut zu erkennen ist, dass die PM_{10}-Werte für Graz-Don Bosco etwas höher sind als an den anderen Messorten. Die WS 10/11 hatte den schwächsten, die WS 07/08 den stärksten

Wind (siehe auch Abb. 4.4). Auffällig ist allerdings, dass es an den Messorten Graz-Mitte und Graz-Nord fast keinen linearen Zusammenhang mehr zum PM_{10} zu geben scheint.





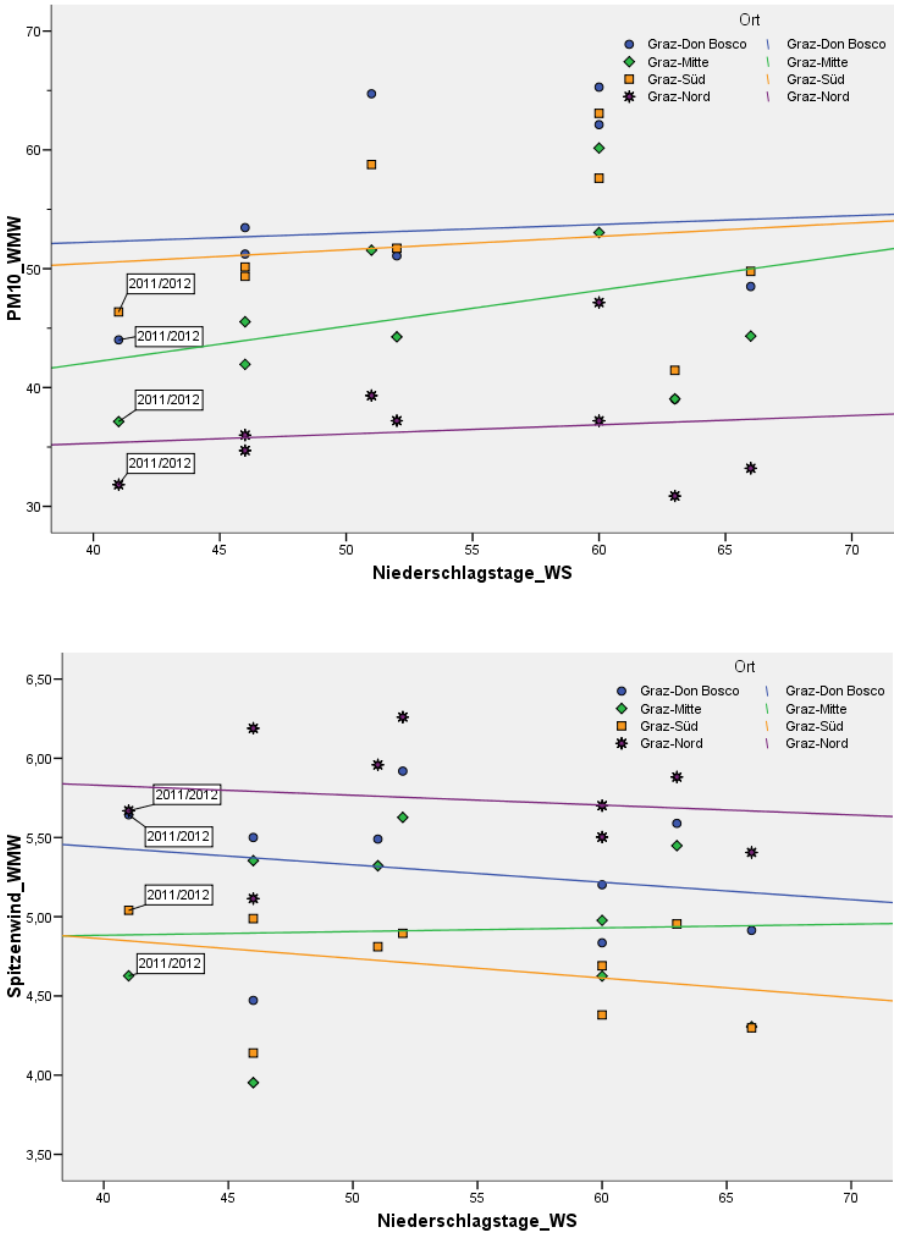
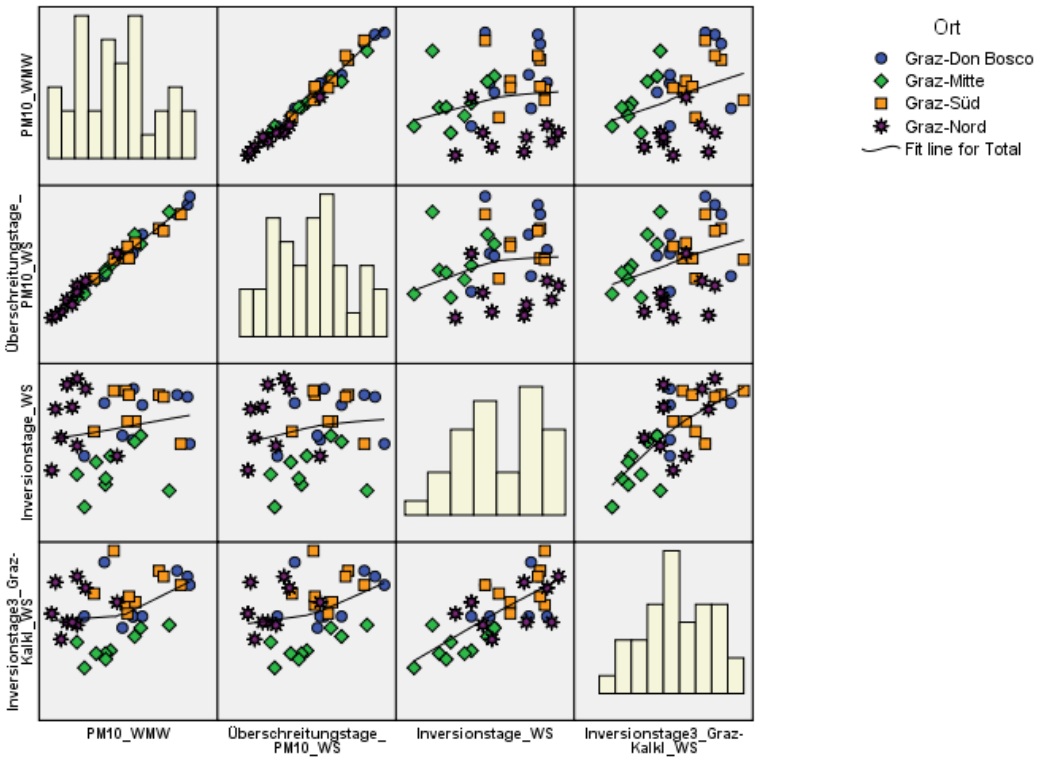


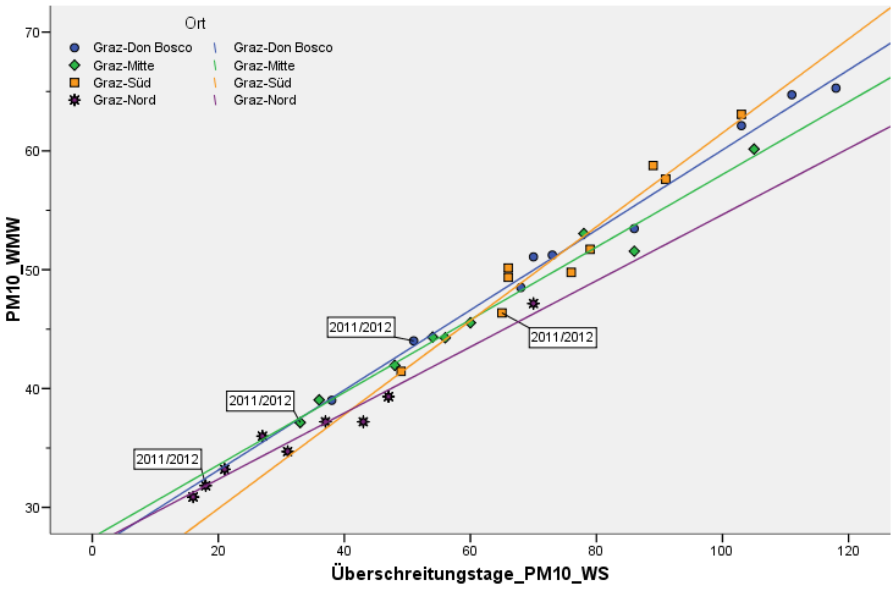
Abbildung 4.11: PM_{10}, Wind, Spitzenwind und Niederschlagstage

PM_{10}, Überschreitungs- und Inversionstage

PM_{10} korreliert natürlich stark mit der Anzahl der `Überschreitungstage` (Zeile 1, Spalte 2). Ein positiver Zusammenhang von PM_{10} zur Anzahl der `Inversionstage` bzw. Anzahl der `Inversionstage(Lufttemperatur < 3 °C)` ist ebenfalls erkennbar, mit niedrigeren

PM_{10}-Werten in Graz-Nord. Dabei fallen die von Graz-Süd und Graz-Nord abweichenden linearen Zusammenhänge der Variablen PM_{10} und `Inversionstage(Lufttemperatur < 3 °C)` der Messorte Graz-Don Bosco und Graz-Mitte auf.





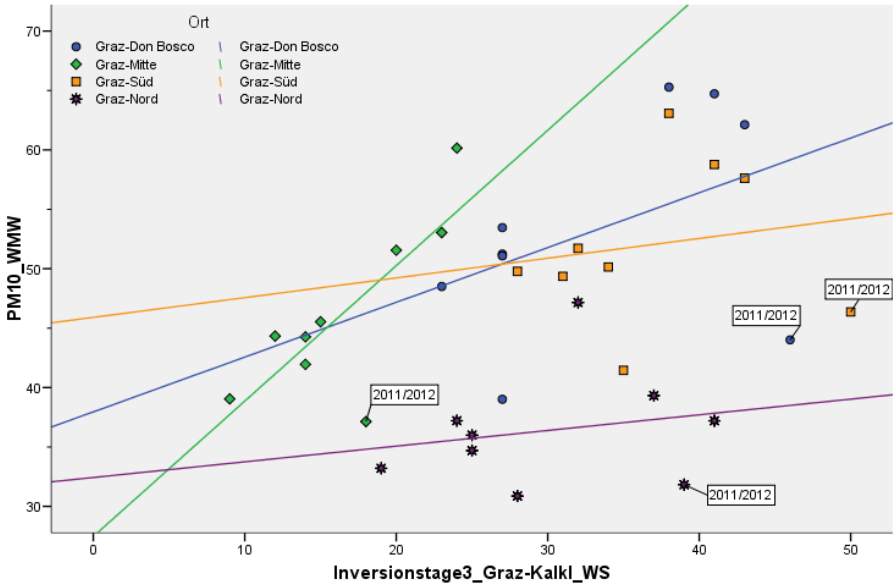


Abbildung 4.12: PM_{10}, Überschreitungs- und Inversionstage

Korrelationen

Auf Grund der unterschiedlichen Größenordnung der PM_{10}_WMW in Graz-Don Bosco, Graz-Mitte und Graz-Süd (hohe bis mittlere Werte), sowie Graz-Nord (niedrige Werte), macht es Sinn ein Beschreibungsmodell für PM_{10} zu entwickeln, das nur auf den Messungen in *Graz-Don Bosco*, *Graz-Mitte* und *Graz-Süd* basiert. Dieses Modell kann dann auf Graz-Nord kalibriert werden.

In den Daten bis zur Wintersaison 09/10 (siehe Stadlober/Pfeiler, 2010, S.45 [12]) hat die `Spitzenwindgeschwindigkeit` mit $r = -0,464$ noch eine wichtige Rolle gespielt. Nimmt man die Daten bis zur aktuellen Wintersaison 11/12 dazu, verringert sich die Korrelation auf $r = -,102$. In Abbildung 4.11, 2. Graphik, ist mit dem verlorenen linearen Zusammenhang an den Messstellen Graz-Mitte und Graz-Nord der Grund dafür zu sehen.

Die wichtigsten Parameter bzgl. der Korrelation mit PM_{10} sind die `Lufttemperatur` ($r = -0,547$), die `Frosttage` ($r = 0,539$) und die `Inversionstage(Lufttemperatur < 3 °C)` ($r = 0,528$). Der Einfluss des `Niederschlags` hat durch die Hinzunahme der Daten aus der Wintersaison 11/12 ebenfalls deutlich abgenommen (von $r = -0,222$ auf $r = 0,008$).

Tabelle 4.1: Korrelationen der Wintermittelwerte, bzw. -summen

Korrelationen

		PM10_WMW	Lufttemp1_WMW	Frosttage1_WS	Inversionstage3_Graz-Kalkl_WS	Niederschlagstage_WP	Spitzenwind_WMW
PM10_WMW	Korrelation nach Pearson	1	**-,547(**)**	**,539(**)**	**,528(**)**	0,008	-0,102
	Signifikanz (2-seitig)		0,003	0,004	0,005	0,967	0,612
	N	27	27	27	27	27	27
Lufttemp1_WMW	Korrelation nach Pearson	-,547(**)	1	-,947(**)	-,564(**)	-0,248	,385(*)
	Signifikanz (2-seitig)	0,003		0,000	0,002	0,212	0,047
	N	27	27	27	27	27	27
Frosttage1_WS	Korrelation nach Pearson	,539(**)	-,947(**)	1	,408(*)	0,221	-,515(**)
	Signifikanz (2-seitig)	0,004	0,000		0,035	0,268	0,006
	N	27	27	27	27	27	27
Inversionstage3_ Graz-Kalkl_WS	Korrelation nach Pearson	,528(**)	-,564(**)	,408(*)	1	-0,183	0,049
	Signifikanz (2-seitig)	0,005	0,002	0,035		0,360	0,806
	N	27	27	27	27	27	27
Niederschlagstage_WP	Korrelation nach Pearson	0,008	-0,248	0,221	-0,183	1	-0,028
	Signifikanz (2-seitig)	0,967	0,212	0,268	0,360		0,888
	N	27	27	27	27	27	27
Spitzenwind_WMW	Korrelation nach Pearson	-0,102	,385(*)	-,515(**)	0,049	-0,028	1
	Signifikanz (2-seitig)	0,612	0,047	0,006	0,806	0,888	
	N	27	27	27	27	27	27

**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.
*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

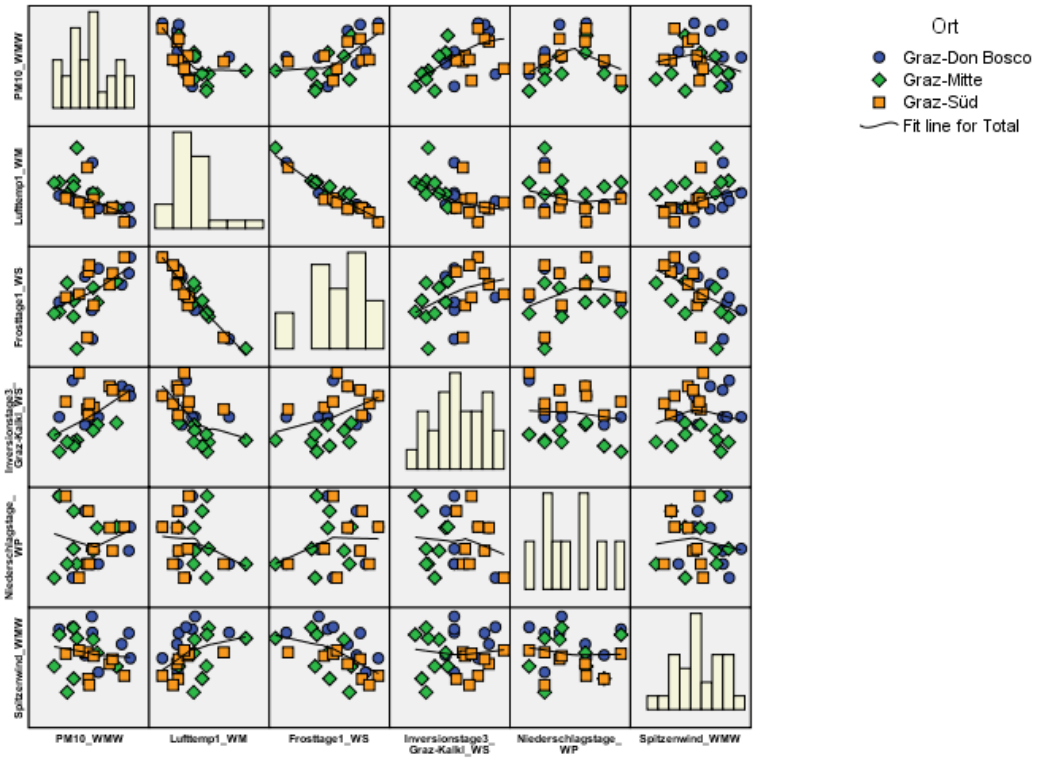


Abbildung 4.13: PM_{10}, Lufttemperatur, Frost-, Inversions-, Niederschlagstage und Spitzenwind

4.3 Regressionsmodelle für PM_{10}_WMW

Mit den Daten bis zur WS 10/11 (8 Saisonen) hat sich eine multiple lineare Regressionsanalyse für die Zielgröße `y = PM10` mit den erklärenden Variablen `Spitzenwind`, `Frosttage`, `Niederschlag` und `Inversion_luft3` angeboten.

Aus dieser Analyse der drei Messorte **Graz-Don Bosco**, **Graz-Mitte** und **Graz-Süd** hat sich **2011** das folgende Modell für den Wintermittelwert PM_{10} ergeben:

Modell 6 (2011)

$PM10_{pr}$ = -135,656 + 36,411*spitzenwind[m/s] + 0,284*frosttage[Tage] + 4,939*niederschlag[%] - 1,094*niederschlag[%]*spitzenwind[m/s] + 0,333*inversionstage(lufttemperatur<3°C)[Tage];

se = 4,3; r^2_{corr} = 0,71; n = 24

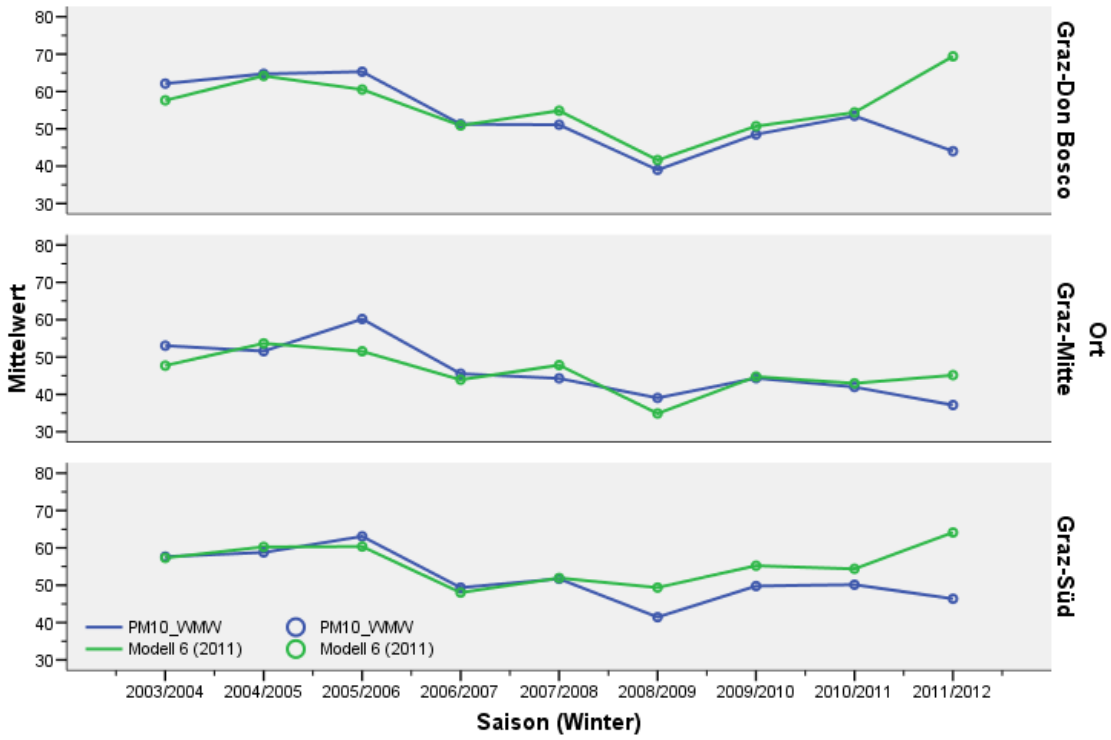
bzw. **OHNE Graz-Mitte** (8 Saisonen, 2 Messorte):

Modell 7 (2011)

$PM10_{pr}$ = 157,859 + 40,263*spitzenwind[m/s] + 0,315*frosttage[Tage] + 5,111*niederschlag[%] - 1,171*niederschlag[%]*spitzenwind[m/s] + 0,55*inversionstage(lufttemperatur<3°C)[Tage];

se = 3,54; r^2_{corr} = 0,79; n = 16

Die Liniendiagramme in Abbildung 4.14 zeigen für die Wintersaison 2011/2012 schlechte Prognosen der Modelle 6 und 7 (2011), speziell an den Messstellen Graz-Don Bosco und Graz-Süd. Dabei sind die Prognosen durch das Modell 6 um 25 µg/m^3 (G-DB) und 18 µg/m^3 (G-S) zu hoch, bei einem Toleranzbereich von $\pm 8,9$ µg/m^3 und jene durch das Modell 7 um 30 µg/m^3 (G-DB) und 22 µg/m^3 (G-S), bei einem Toleranzbereich von $\pm 7,5$ µg/m^3. Dies ist auf die schon diskutierten geänderten Einflüsse von `Spitzenwind`, `Niederschlag` und `Inversionstage (Lufttemperatur < 3°C)` zurückzuführen.



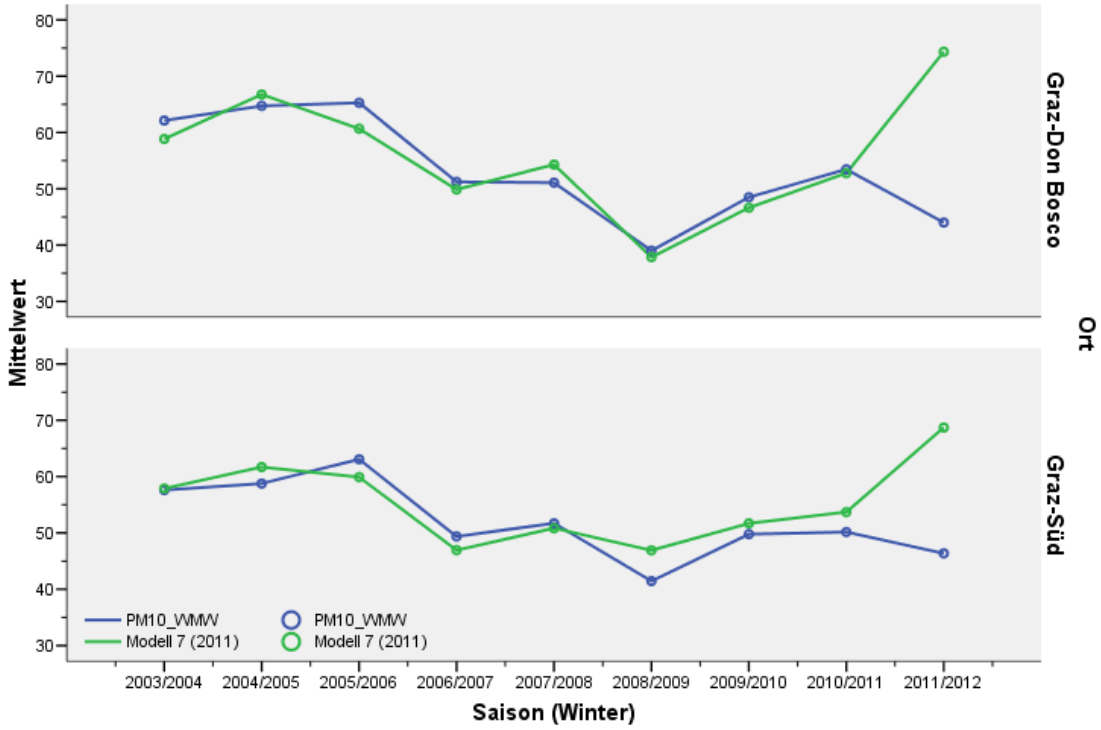


Abbildung 4.14: PM_{10}_WMW gegen Modell-berechnete Werte

Nach Hinzunahme des Winters 2011/2012 (9. Saison) erhalten wir folgendes Modell:

Modell 6 (2012)

$$PM10_{pr} = -87{,}292 + 24{,}558 * spitzenwind[m/s] + 0{,}289 * frosttage[Tage] + 3{,}684 * niederschlag[\%] - 0{,}754 * niederschlag[\%] * spitzenwind[m/s] + 0{,}172 * inversionstage(lufttemperatur<3°C)[Tage];$$

$$se = 6{,}56;\ r^2_{corr} = 0{,}35;\ n = 27$$

bzw. **OHNE Graz-Mitte** (9 Saisonen, 2 Messorte):

Modell 7 (2012)

$$PM10_{pr} = -31{,}181 + 14{,}699 * spitzenwind[m/s] + 0{,}299 * frosttage[Tage] + 2{,}018 * niederschlag[\%] - 0{,}451 * niederschlag[\%] * spitzenwind[m/s] + 0{,}088 * inversionstage(lufttemperatur<3°C)[Tage];$$

$$se = 7{,}62;\ r^2_{corr} = 0{,}05;\ n = 18$$

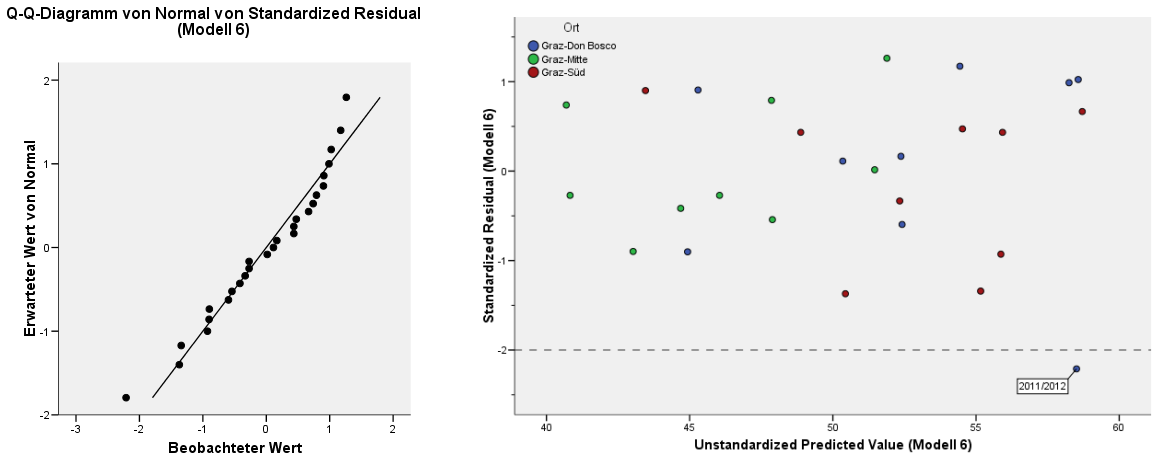


Abbildung 4.15: Q-Q-Plots der standardisierten Residuen von Modell 6 (2012)

Der Anpassungsgrad (r^2_{corr}) des Modells 6 verringert sich von $0,71$ auf $0,35$ und der des Modells 7 von $0,79$ auf $0,05$. Zudem verlieren in Modell 6 die Variablen `Spitzenwind`, `Niederschlag` und `Inversionstage (Lufttemperatur < 3°C)` ihre Signifikanz ($p > 0,05$). In Modell 7 geht überhaupt keine dieser Variablen mehr signifikant ein.

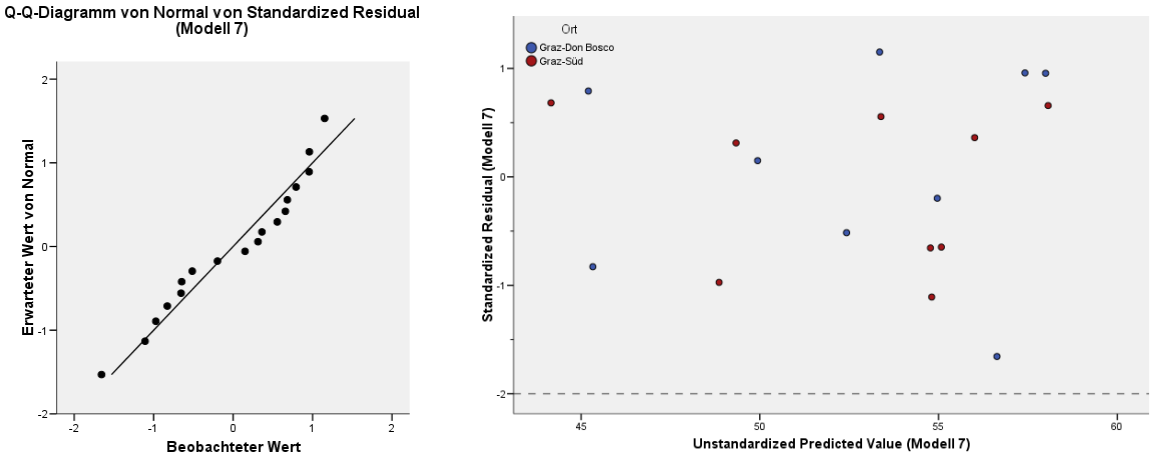
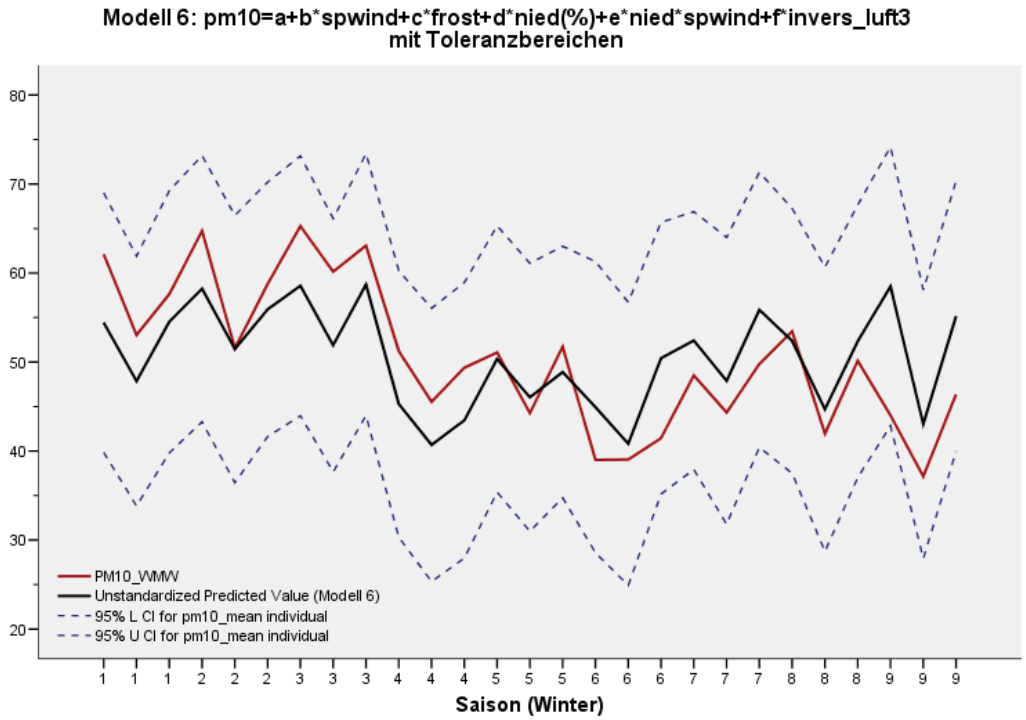


Abbildung 4.16: Q-Q-Plots der standardisierten Residuen von Modell 7 (2012)

Die Sequenzplots in Abbildung 4.17 zeigen diese Regressionsmodelle (schwarze Linien) gegen die Beobachtungen (rote Linien) und dass die beobachteten $\mathtt{PM_{10}_WMW}$ innerhalb der 95%-Toleranzbereiche (strichlierte Linien) dieser Schätzungen liegen. Allerdings sind diese mit $\pm 13,5$ und ± 16 ziemlich breit.



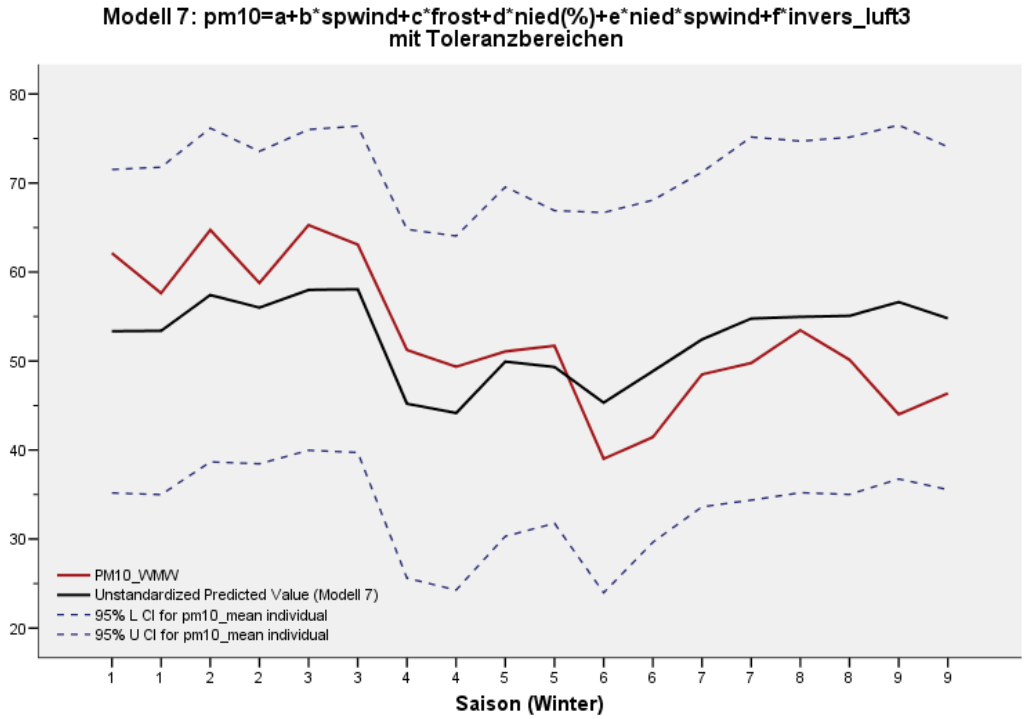


Abbildung 4.17: Sequenzplots der Modelle 6 und 7 (2012)

Verwendet man für die lineare Regressionsanalyse mit den selben erklärenden Variablen lediglich die Messorte **Graz-Süd** und **Graz-Nord**, so ergibt sich folgendes Modell:

Modell 8 (2012)

$$PM10_{pr} = 31{,}089 + 0{,}298*spitzenwind[m/s] - 0{,}008*frosttage[Tage] + 1{,}927*niederschlag[\%] - 0{,}365*niederschlag[\%]*spitzenwind[m/s] + 0{,}335*inversionstage(lufttemperatur<3°C)[Tage];$$

$$se = 6{,}86;\ r^2_{corr} = 0{,}52;\ n = 18$$

Dieser Zugang erhöht den Anpassungsgrad auf $r^2_{\text{corr}} = 0,52$ und macht dadurch eine Prognose von PM_{10}-Wintermittelwerten bei bekannten meteorologischen Werten der `Spitzenwindgeschwindigkeit`, `Frost-`, `Niederschlagstage` und den `Inversionstagen (Lufttemperatur < 3°C)` möglich. Abbildung 4.19 zeigt die beobachteten gegen die durch das Modell 8 berechneten Werte samt 95%-Konfidenzintervalle, oben als Sequenzplot und darunter getrennt nach den beiden Messorten G-S und G-N. Auch bei

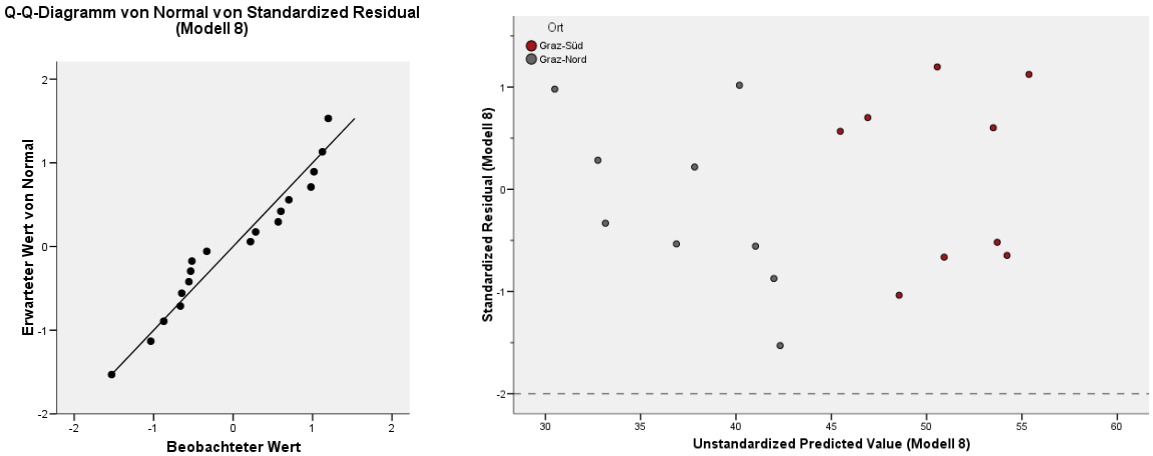
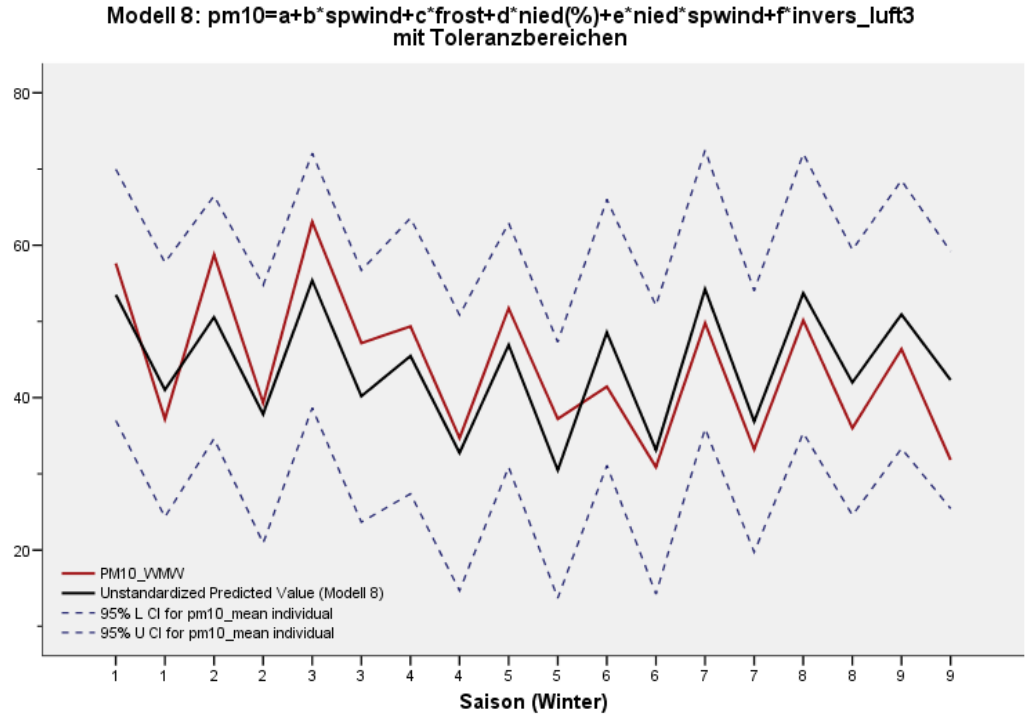


Abbildung 4.18: Q-Q-Plots der standardisierten Residuen von Modell 8 (2012)

diesem Modell ist der Toleranzbereich mit $\pm 14,5$ sehr breit. Weitere Versuche geeignete Modelle zu finden können der Tabelle im Anhang C auf Seite 83 entnommen werden.

Außerdem macht es aus der Tatsache, dass das PM_{10}-Niveau in Graz-Nord unter dem der anderen drei Messstellen liegt, keinen Sinn hier weitere Analysen durchzuführen!



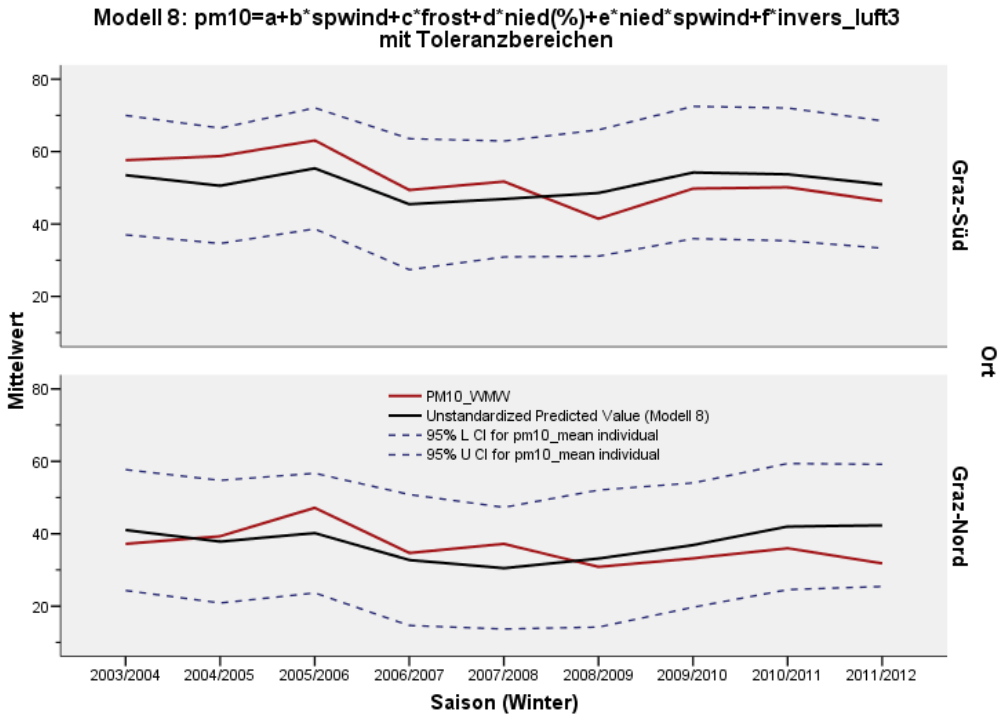


Abbildung 4.19: Sequenzplot und Liniendiagramme von Modell 8 (2012)

4.4 Neuberechnung des Modells für PM_{10}_WMW

Die bisherigen Analysen haben ergeben, dass der Feinstaubgehalt der aktuellen Wintersaison 11/12 für die wenigen Niederschlagstage (41) bei vielen Inversionstagen (18-50) zu niedrig ausgefallen ist. Im Zuge der Ursachenforschung kam die Frage auf, ob dies vielleicht an einer möglicherweise veränderten Straßenstreuung liegen könnte. Um das überprüfen zu können wurden uns von Herrn Ing. Günther Volkmer, Leiter des Winterdienstes der Holding Graz, Daten über die Menge (in t) und Art (Salz oder Splitt) der Straßenstreuung der letzten Jahre zur Verfügung gestellt (siehe Tabelle im Anhang B auf Seite 82).

Auf Grund der auf Seite 54 angeführten Erklärung werden für die weiteren Analysen nur die Messstellen **Graz-Don Bosco**, **Graz-Mitte** und **Graz-Süd** einbezogen.

Die Korrelationen zwischen $\mathtt{PM}_{10}$ und den Streuungsarten weist bei `Salzstreuung` mit $r = -0,207$ keine Signifikanz auf. Jedoch ist ein Zusammenhang zu $\mathtt{PM}_{10}$ sowohl bei der

Tabelle 4.2: Korrelationen zwischen PM_{10} und Streuungsarten

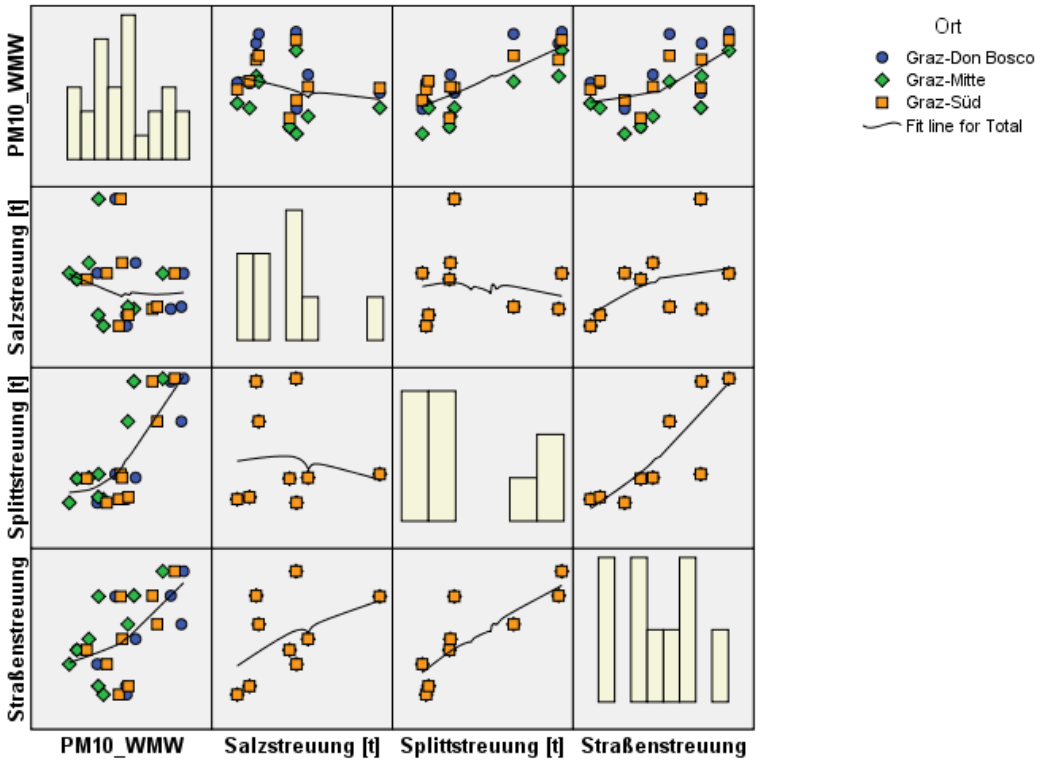
Korrelationen

		PM10_WMW	Salzstreuung [t]	Splittstreuung [t]	Straßenstreuung [t]
PM10_WMW	Korrelation nach Pearson	1	-0,207	**,776(**)**	**,564(**)**
	Signifikanz (2-seitig)		0,299	0,000	0,002
	N	27	27	27	27
Salzstreuung [t]	Korrelation nach Pearson	-0,207	1	-0,089	**,486(*)**
	Signifikanz (2-seitig)	0,299		0,660	0,010
	N	27	27	27	27
Splittstreuung [t]	Korrelation nach Pearson	,776(**)	-0,089	1	**,828(**)**
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,660		0,000
	N	27	27	27	27
Straßenstreuung [t]	Korrelation nach Pearson	,564(**)	,486(*)	,828(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	0,002	0,010	0,000	
	N	27	27	27	27

**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

*. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,05 (2-seitig) signifikant.

`Splittstreuung` mit $r = 0,776$ als auch der Summe beider Arten (= `Straßenstreuung`) mit $r = 0,564$ ersichtlich. Da allerdings die Korrelation zwischen `Splittstreuung` und `Straßenstreuung` mit $r = 0,828$ sehr hoch ist, genügt für nachfolgendes Modell eine der beiden Variablen als erklärende Größe.



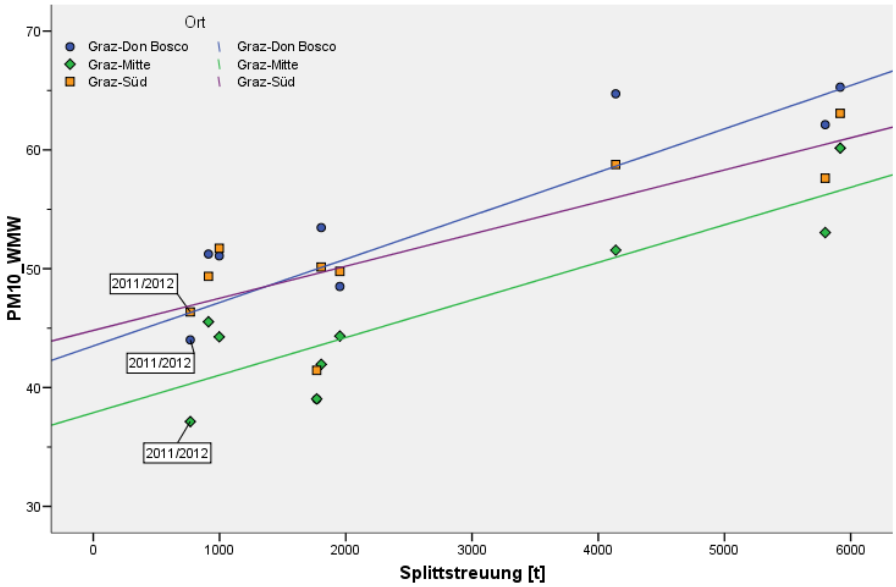


Abbildung 4.20: PM_{10}, Straßenstreuungsarten

Tauscht man also die Kovariablen `Niederschlag*Spitzenwind` und `Inversionstage (Lufttemperatur < 3°C)` in Modell 8 gegen die `Splittstreuung` aus, erhält man folgendes Modell 9, das eine deutlich höhere Anpassungsgüte ($r^2_{\text{corr}} = 0,67$ gegenüber $r^2_{\text{corr}} = 0,52$) und wesentlich niedrigere Modellstreuung (se $= 4,68$ gegenüber se $= 6,86$) aufweist:

Modell 9 (2012)

$$\texttt{PM10}_{\texttt{pr}} = 35{,}647 + 2{,}88*\texttt{spitzenwind[m/s]} + 0{,}141*\texttt{frosttage[Tage]} - 0{,}466*\texttt{niederschlag[\%]} + 0{,}003*\texttt{splitt[t]};$$

$$\texttt{se} = 4{,}68;\ r^2_{\texttt{corr}} = 0{,}67;\ \texttt{n} = 27$$

Aus dem Sequenzplot (oben) und den Liniendiagrammen (unten) in Abbildung 4.22 ist ersichtlich, wie gut das Regressionsmodell für alle Wintersaisonen die Beobachtungen schätzt und dass alle Beobachtungen deutlich in den 95%-Toleranzbereichen dieser Schätzungen liegen, die sich auf $\pm 9,6$ verringert haben. Dieser Zugang erlaubt nun eine *Prognose von* $\texttt{PM}_{10}$*-Wintermittelwerten bei bekannten meteorologischen Werten der* `Spitzenwindgeschwindigkeit`, `Frost-` *und* `Niederschlagstagen`, *sowie der* `Splittstreuung`.

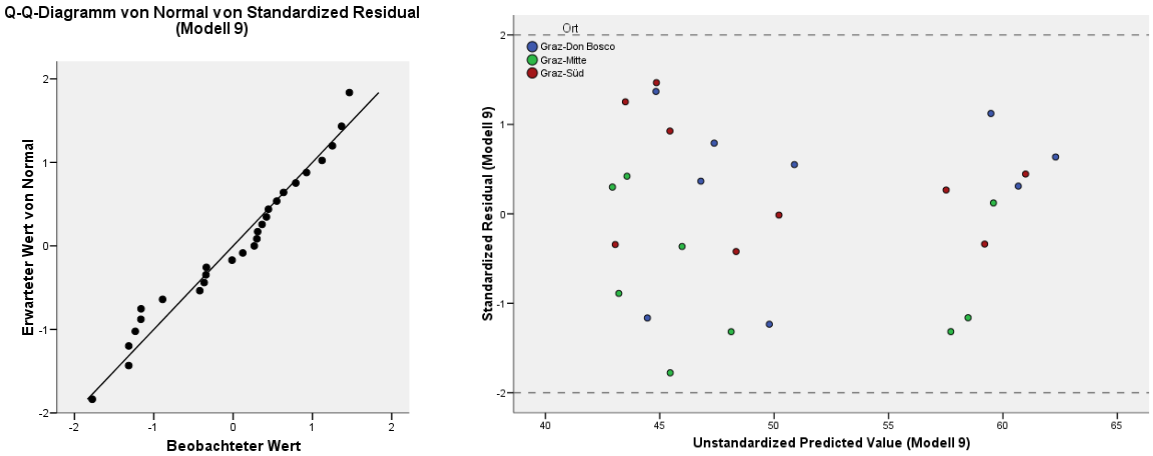
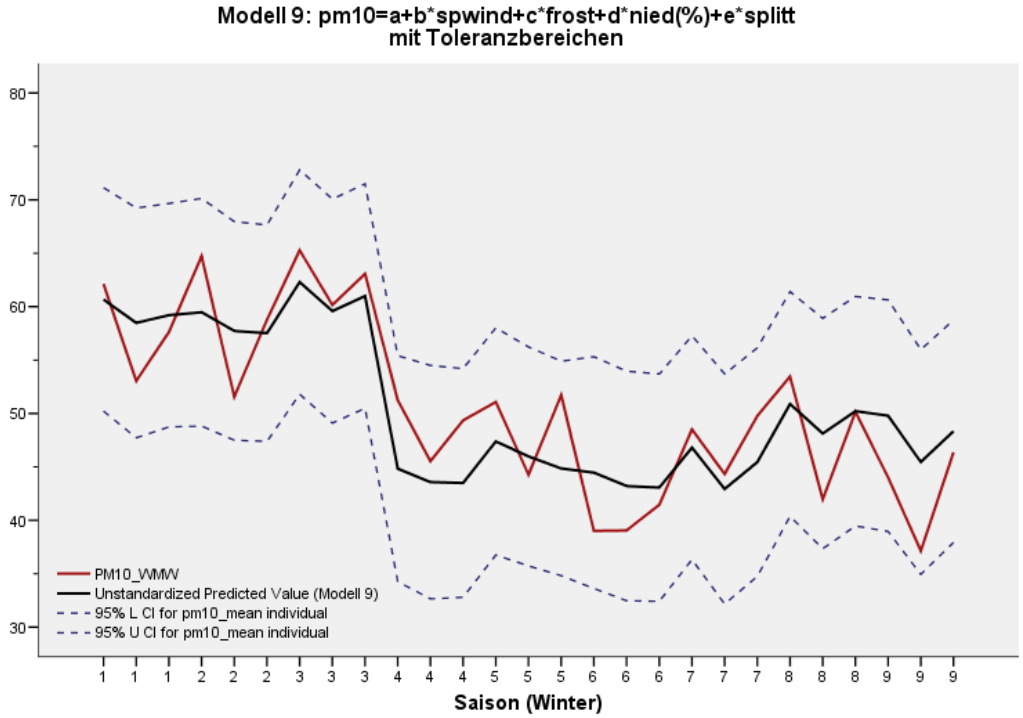


Abbildung 4.21: Q-Q-Plots der standardisierten Residuen von Modell 9 (2012)



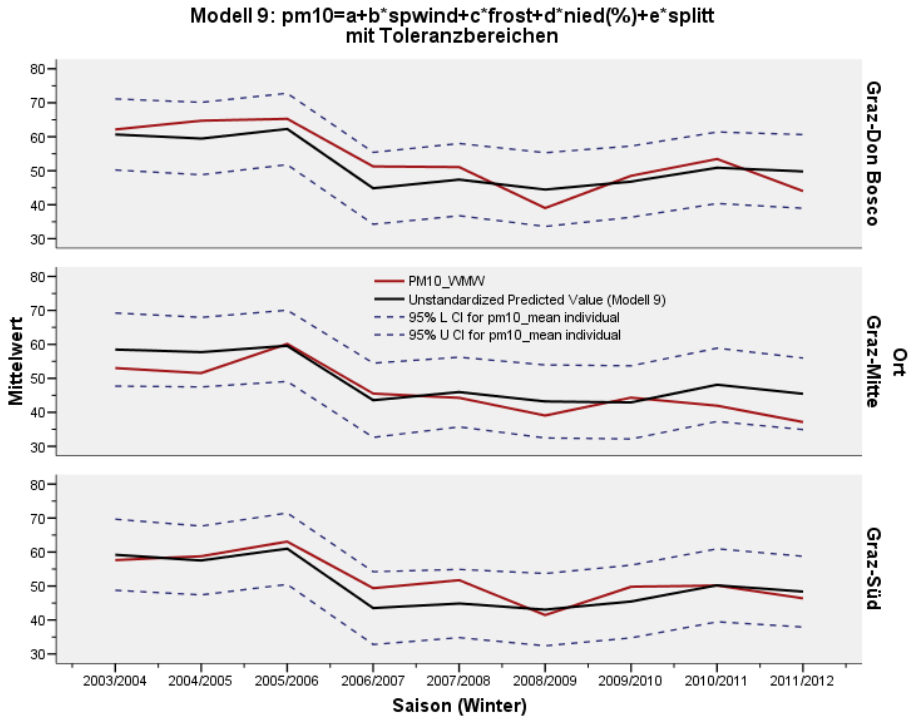


Abbildung 4.22: Sequenzplot und Liniendiagramme von Modell 9 (2012)

Beispiel für ein Szenario im Winter 11/12

Wir nehmen an, dass folgende Messwerte vorliegen:

`spitzenwind = 5 m/s; frost = 40; niederschlag = 33%; splitt = 1.500 t`

Modell 9 (2012) liefert die Prognose

44,8 +/- 9,6; also einen 95%-Toleranzbereich von 35,2 bis 54,4.

Statistische Interpretation nach Modell 9 (2012)

Liegt der gemessene `PM10_WMW` im 95%-Toleranzintervall [35,2 ; 54,4], dann würde man schließen, dass die

$$\text{Hypothese } H_0\text{: } PM_{10}_WMW = PM_{10}_\text{Erwartungswert(Meteorologie)}$$

nicht widerlegt werden kann.

Ist $PM_{10} < 35{,}2$ oder $PM_{10} > 54{,}4$, dann liegt eine signifikante Abweichung vom PM_{10}_Erwartungswert(Meteorologie) vor und die Hypothese H_0 kann mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% verworfen werden.
In anderen Worten: Ein Messwert von $PM_{10} < 35{,}2$ kann mit hoher Wahrscheinlichkeit auf andere Einflussfaktoren (genutzte Reduktionspotentiale) zurückgeführt werden.

Beispiel für Graz-Don Bosco, Graz-Mitte & Graz-Süd mit den Wintermittelwerten 11/12

Tabelle 4.3: Mittelwerte der Wintersaison 2011/2012

	N	Minimum	Maximum	**Mittelwert**	Standardabweichung
PM10_WMW	3	37,14	46,37	**42,51**	4,79
Spitzenwind_WMW	3	4,63	5,64	**5,10**	0,51
Frosttage1_WS	3	32,00	44,00	**39,33**	6,43
Niederschlagstage_WP	3	22,40	22,40	**22,40**	0,00
Splittstreuung [t]	3	768,21	768,21	**768,21**	0,00
Gültige Werte (Listenweise)	3				

`spitzenwind = 5,1 m/s; frost = 39; niederschlag = 22,4%; splitt = 770 t`

Modell 9 (2012) liefert die Prognose
47,7 +/- 9,6; also einen 95%-Toleranzbereich von 38,1 bis 57,3.

4.5 Kalibrierung von PM_{10} Graz-Nord

Für diese Analyse werden alle gemessenen `PM10-Tagesmittelwerte` der WS 2003/04 bis WS 2011/2012 herangezogen. Der Vergleich der PM_{10}-Werte bzgl. der Messorte zeigt, dass die Messstelle Graz-Nord am stärksten mit Graz-Mitte korreliert (siehe Tabelle 4.3). Für Graz-Nord ergeben sich die beiden Modellgleichungen (mit Intercept (schwarze Linie) und ohne Intercept (rote Linie), Abb. 4.23)

$$PM_{10}_GN = 1{,}44 + 0{,}76 * PM_{10}_GM;\ se = 9{,}47;\ r^2_{corr} = 0{,}81$$
$$PM_{10}_GN = 0{,}783 * PM_{10}_GM;\ 95\%\text{-Konfidenzintervall } [0{,}774\ ;\ 0{,}792]$$

Tabelle 4.4: Korrelationen der Messstellen bzgl. PM_{10}

Korrelationen

PM10 (µg/m³)		Graz-Don Bosco	Graz-Mitte	Graz-Süd	Graz-Nord
Graz-Don Bosco	Korrelation nach Pearson	1	**,933(**)**	**,969(**)**	,857(**)
	Signifikanz (2-seitig)		0,000	0,000	0,000
	N	1.639	1.560	1.630	1.623
Graz-Mitte	Korrelation nach Pearson	,933(**)	1	**,912(**)**	**,901(**)**
	Signifikanz (2-seitig)	0,000		0,000	0,000
	N	1.560	1.561	1.552	1.545
Graz-Süd	Korrelation nach Pearson	,969(**)	,912(**)	1	,834(**)
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,000		0,000
	N	1.630	1.552	1.632	1.616
Graz-Nord	Korrelation nach Pearson	,857(**)	,901(**)	,834(**)	1
	Signifikanz (2-seitig)	0,000	0,000	0,000	
	N	1.623	1.545	1.616	1.625

**. Die Korrelation ist auf dem Niveau von 0,01 (2-seitig) signifikant.

Die `PM10-Tagesmittelwerte` in Graz-Nord betragen also im Mittel nur 78% von denen in Graz-Mitte.

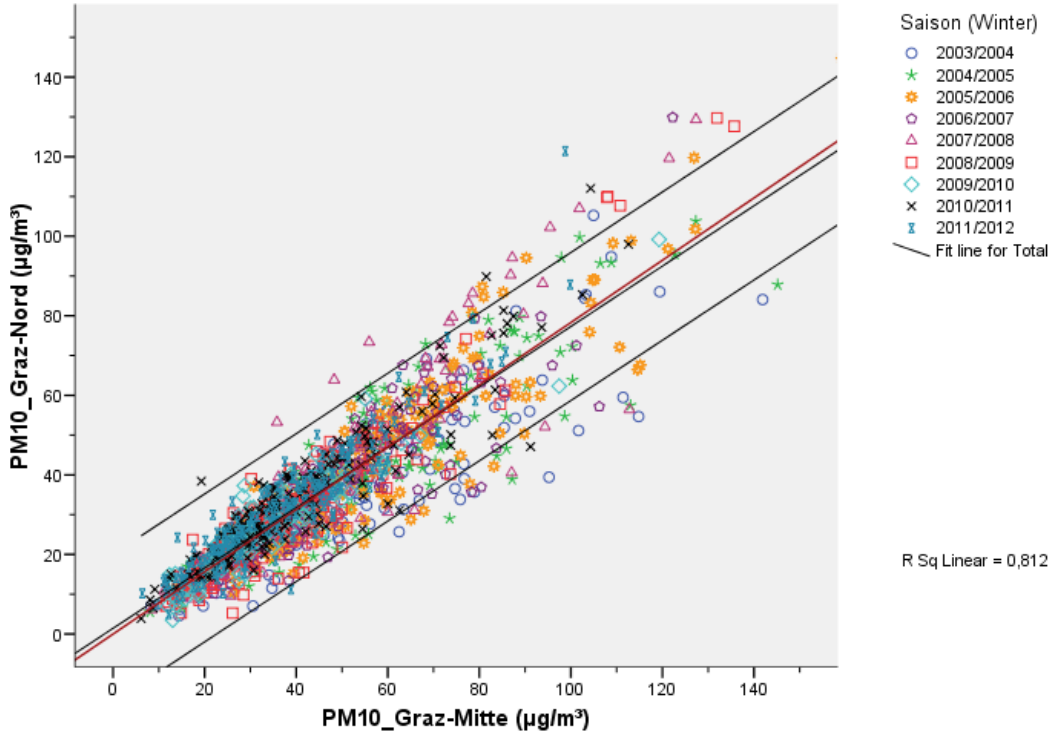


Abbildung 4.23: Kalibrierung von PM_{10}_GN nach PM_{10}_GM

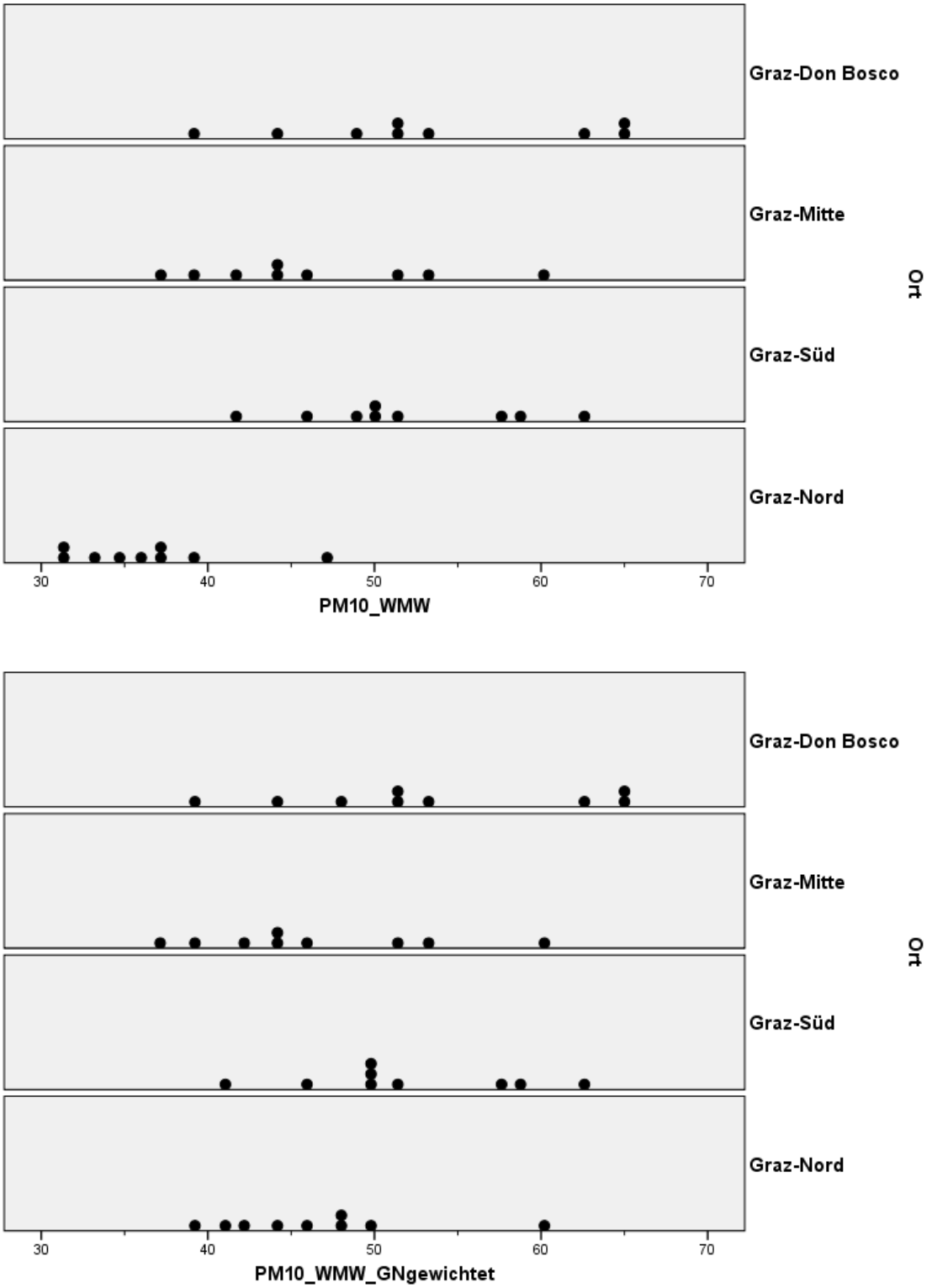


Abbildung 4.24: PM_{10}-WMW von Graz-Nord vor und nach der Skalierung

Wendet man die Kalibrierung (ohne Intercept) in der Form

$$PM_{10}_GN^* = PM_{10}_GN/0{,}783$$

an, so kann man diese Werte mit den PM_{10}-Werten von Graz-Mitte vergleichen, was in Abbildung 4.24 unten gut erkennbar ist. Die ursprünglichen Werte findet man in Abbildung 4.24 oben.

Prognosewerte für PM_{10}_WMW von Graz-Nord

Die Prognosewerte aus Modell 9, die auf Graz-Mitte basieren, werden wie folgt kalibriert:

$$PM10_{pr}_GN = 0{,}783*PM10_{pr}_GM$$

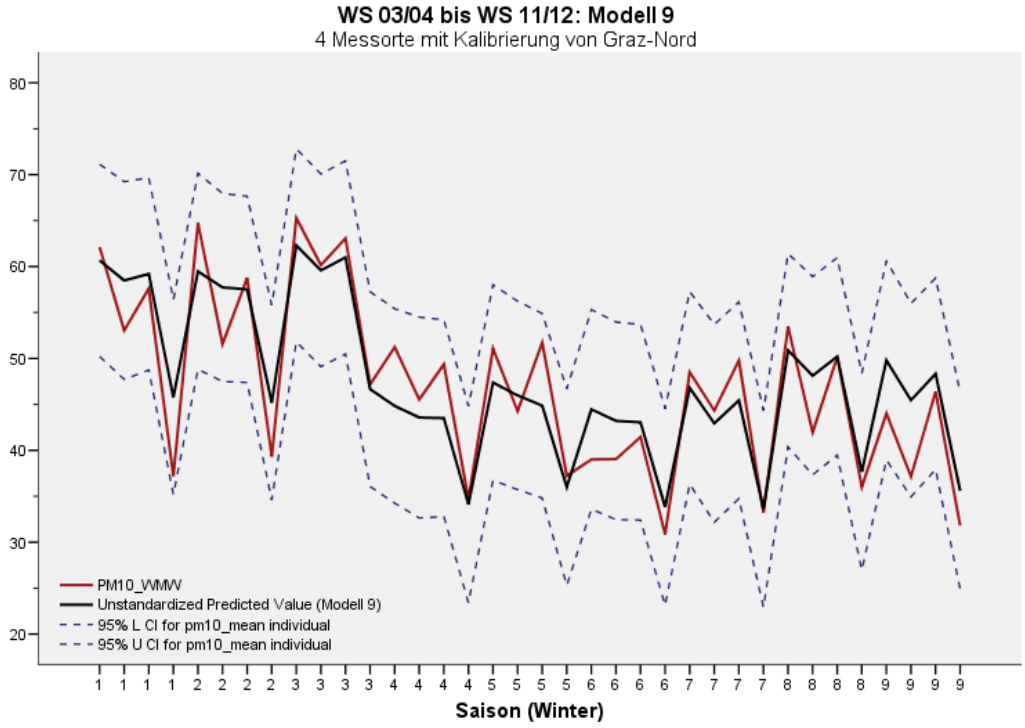


Abbildung 4.25: Sequenzplot von Modell 9 mit allen 4 Messorten

Abbildung 4.26: Sequenzplot mit Graz-Nord

Bei der Kalibrierung ist zu beachten, dass die Daten für die erklärende Variable aus dem Messort stammen, der bei der Kalibrierung benutzt wurde. Die Sequenzplots zeigen, dass die beobachteten Werte (rote Linie) innerhalb des Toleranzniveaus der kalibrierten Modellwerte bleiben (1 Wert ist nahe an der Grenze). Das bedeutet, dass die Kalibrierung der $\texttt{PM}_{10}$-`WMW` ausreichend genau zu sein scheint.

4.6 Prognose für die Anzahl der Überschreitungstage

Auf Grund der hohen Korrelation zwischen $\texttt{PM}_{10}$ und der Anzahl der `Überschreitungstage` ($r = 0,988$) kann man auch die Anzahl der Überschreitungstage mit Hilfe von Modell 9 prognostizieren. Wenn man alle 4 Messorte als Datenbasis nimmt erhält man folgendes Modell ohne Intercept:

$$\text{Überschreitungstage}_{pr} = 1{,}284 * PM10_{pr};$$
95%-KIV für den Koeffizienten: [1,14 ; 1,43]

Anwendung auf das Beispiel für ein Szenario im Winter 11/12

Setzt man für PM_{10}_WMW die Prognose aus Modell 9 ein, die auf Seite 66 berechnet wurde, dann erhält man folgende Prognose für die Anzahl der Überschreitungstage (siehe auch Abbildung 4.27):

$$\text{Überschreitungstage}_{pr} = 1{,}284 * PM10_{pr} = 1{,}284 * 44{,}8 = 58 \text{ Tage};$$
95%-Toleranzbereich für die Überschreitungstage ergibt sich als
[1,14*35,2 ; 1,43*54,4] = 40 Tage bis 78 Tage

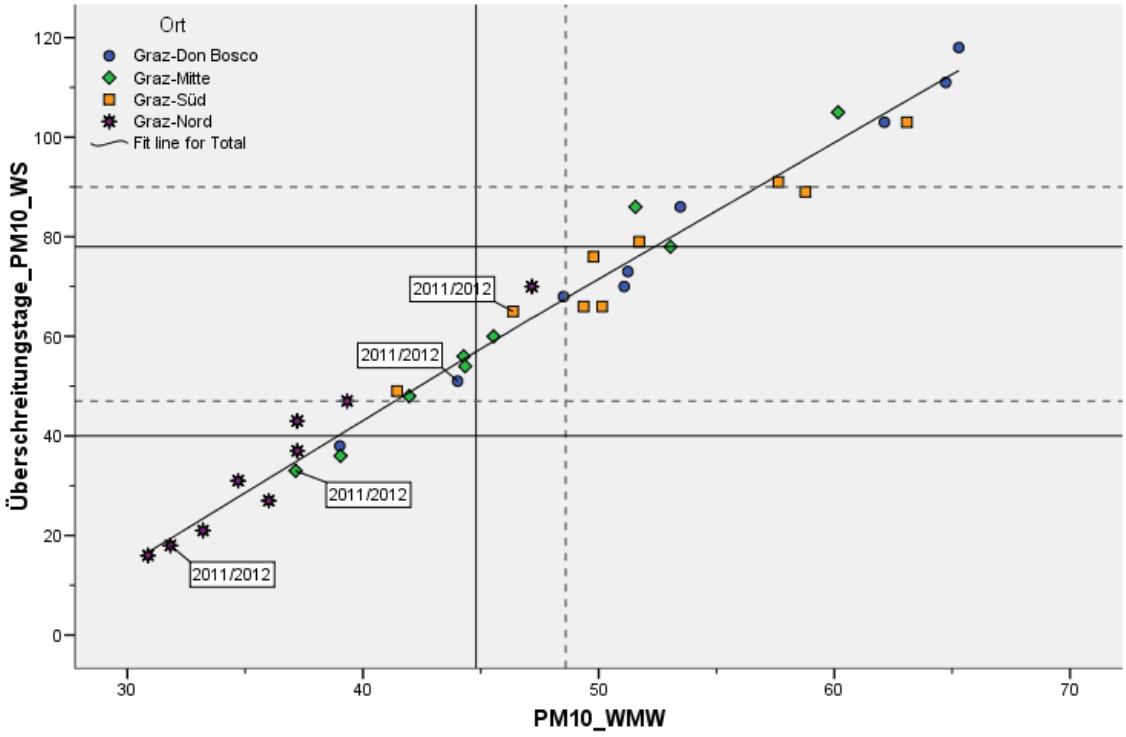


Abbildung 4.27: 95%-Toleranzbereich für Überschreitungstage, falls $PM10_{pr}$=44,8

Berechnung für Graz-Don Bosco, Graz-Mitte & Graz-Süd mit den Wintermittelwerten 10/11

Setzt man für PM_{10}_WMW die Wintermittelwerte 11/12 (siehe Tabelle auf Seite 67) ein, dann erhält man folgende Prognose für die Anzahl der Überschreitungstage (siehe auch Abbildung 4.28):

```
Überschreitungstage_pr = 1,284*PM10_pr = 1,284*47,7 = 61 Tage;
95%-Toleranzbereich für die Überschreitungstage ergibt sich als
[1,14*38,1 ; 1,43*57,3] = 43 Tage bis 82 Tage
```

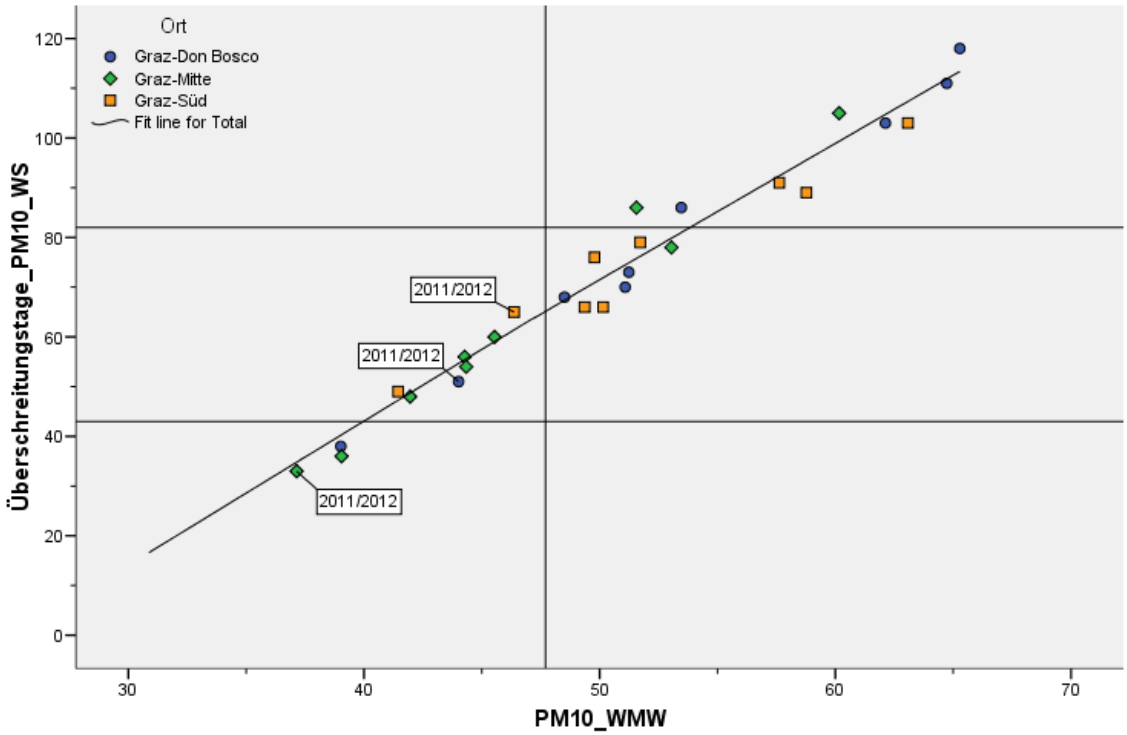


Abbildung 4.28: 95%-Toleranzbereich für Überschreitungstage, falls $PM10_{pr}$=47,7

4.7 Saisonbereinigte PM_{10}_WMW

Als Bezugswert für die Saisonbereinigung wird der Durchschnittswert der Wintermittelwerte von Graz-Don Bosco, Graz-Mitte und Graz-Süd genommen. Aus den Daten ergeben sich folgende Werte:

Tabelle 4.5: Mittelwerte WS 03/04 - WS 11/12

	N	Minimum	Maximum	**Mittelwert**	Standardabweichung
PM10_WMW	27	37,14	65,28	**50,55**	8,11
Spitzenwind_WMW	27	3,95	5,92	**4,96**	0,51
Lufttemp1_WMW	27	2,40	7,02	**4,00**	1,08
Frosttage1_WS	27	10,00	67,00	**44,04**	15,00
Niederschlagstage_WP	27	22,40	39,38	**30,09**	5,40
Splittstreuung [t]	27	768,21	5.916,93	**2.673,18**	1.982,43
Gültige Werte (Listenweise)	27				

Der **durchschnittliche Wintermittelwert $PM10d_{sb}$ = 50,5 µg/m^3** wird bei einer `Spitzenwindgeschwindigkeit = 5 m/s`, einer `Lufttemperatur = 4 °C`, bei `44 Frost-` und `30% Niederschlagstagen`, sowie einer `Splittstreuung = 2.670 t` erreicht.

Die entsprechenden Wintermittelwerte von PM_{10} werden saisonbereinigt zu

$$PM10_{sb} = PM10d_{sb} * PM_{10}_WMW / PM10_{pr} = 50{,}5 * PM_{10}_WMW / PM10_{pr}$$

und sollen um den mittleren Wert von 50,5 µg/m^3 schwanken. Führt man diese Transformation mit den Werten für $PM10_{pr}$ aus Modell 9 durch, so erhält man für die normierten Wintermittelwerte $PM10_{sb}$ von Graz-Don Bosco, Graz-Mitte und Graz-Süd jene Graphik in Abbildung 4.29.

Der saisonbereinigte Wert der WS 05/06 von Graz-Mitte liegt in der Nähe des Durchschnittswertes von 50,5 µg/m^3, der Wert der WS 10/11 von Graz-Süd mit 50,48 µg/m^3 entspricht im fast. Auch hier erkennt man aber, dass die Werte der aktuellen Wintersaison 11/12 zu niedrig ausfallen.

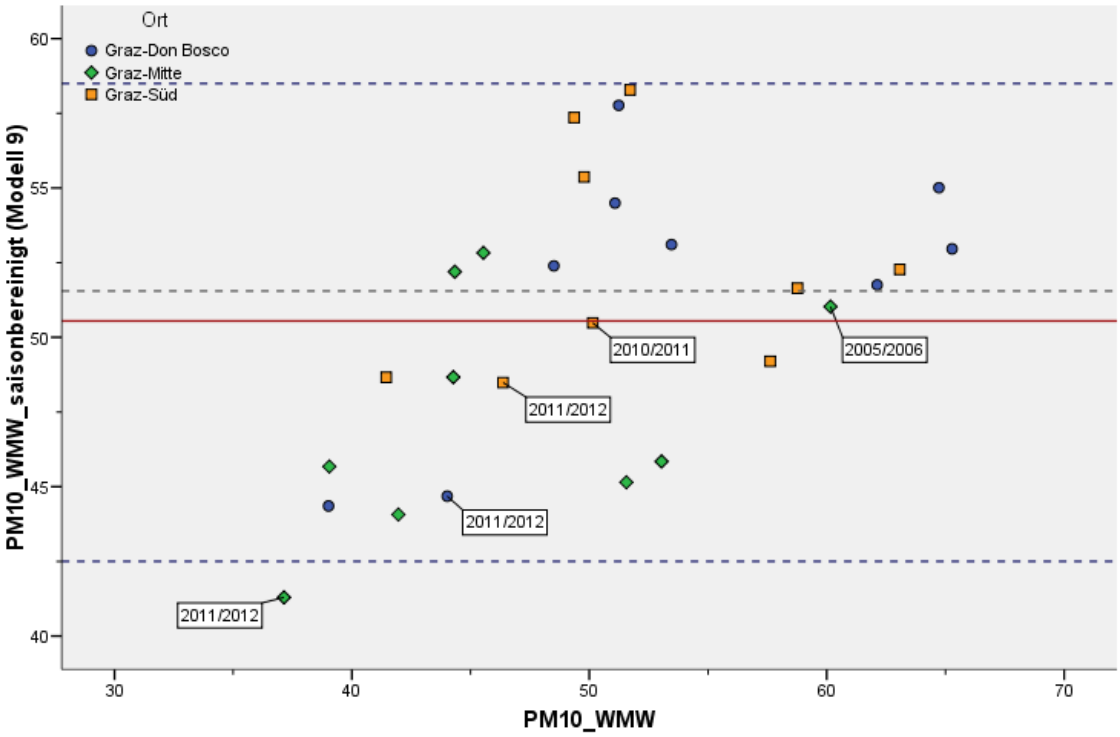


Abbildung 4.29: Saisonbereinigte Wintermittelwerte $PM10_{sb}$

Als grobe Abschätzung für die Streuung von $\texttt{PM10}_{\texttt{sb}}$ kann man `stol = 4` (Erfahrungswert) nehmen. Daraus ergibt sich ein 95%-Toleranzintervall für den saisonbereinigten Wert von

```
50,5 +/- 8, das ergibt einen 95%-Toleranzbereich von 42,5 bis 58,5.
```

Die Werte von Graz-Don Bosco und Graz-Süd im Winter 11/12 liegen bei 44,7 µg/m^3 und 48,5 µg/m^3, also im zufälligen Schwankungsbereich (blau strichlierte Linien), aber unter dem durchschnittlichem Wintermittelwert von 50,5 µg/m^3, der von Graz-Mitte mit 41,3 µg/m^3 sogar unter dem Toleranzbereich.

Berechnung für Graz-Don Bosco, Graz-Mitte und Graz-Süd mit den Wintermittelwerten 11/12

Die entsprechenden Wintermittelwerte von PM_{10} werden saisonbereinigt zu

$$PM10_{sb(11/12)} = PM10d_{sb(11/12)} * PM_{10}_WMW/PM10_{pr} = 42{,}5 * PM_{10}_WMW/PM10_{pr}$$

und sollen um den mittleren Wert von 42,5 µg/m^3 schwanken. Führt man diese Transformation mit den Werten für $PM10_{pr}$ aus Modell 9 durch, so erhält man folgende Graphik für die normierten Wintermittelwerte $PM10_{sb(11/12)}$ von Graz-Don Bosco, Graz-Mitte und Graz-Süd:

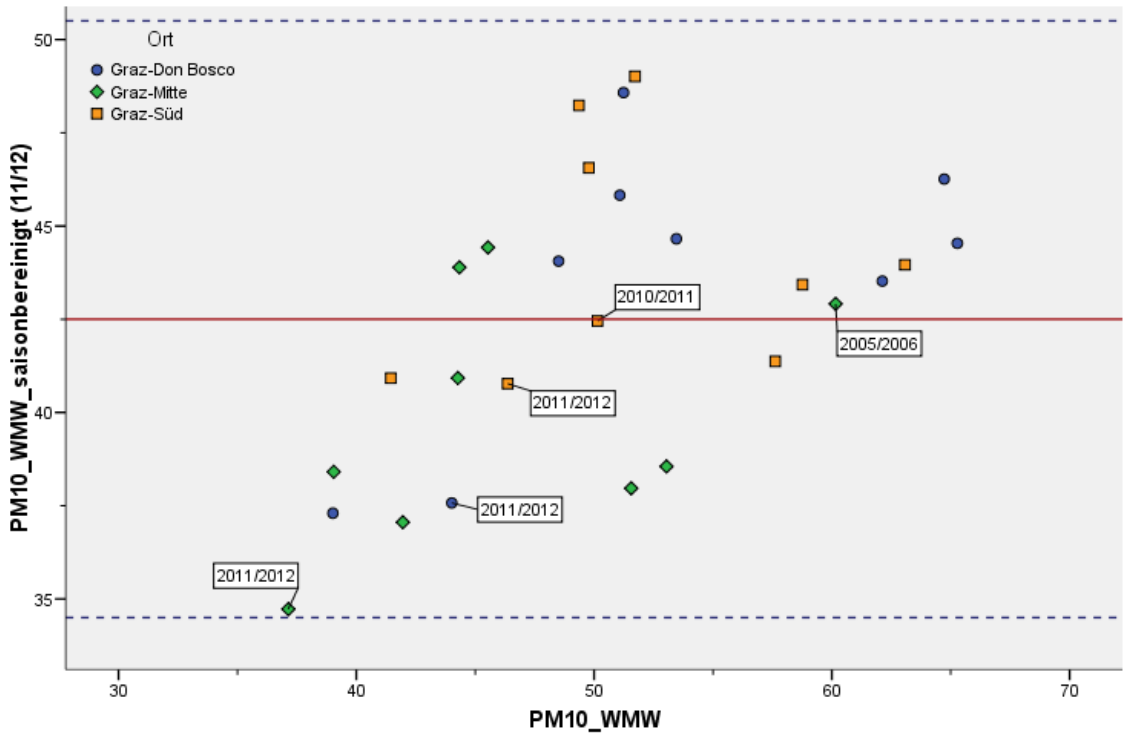


Abbildung 4.30: Saisonbereinigte Wintermittelwerte $PM10_{sb(11/12)}$

Mit der groben Abschätzung für die Streuung von $PM10_{sb(11/12)}$ von `stol = 4` ergibt sich ein 95%-Toleranzintervall für den saisonbereinigten Wert von

```
42,5 +/- 8, das ergibt einen 95%-Toleranzbereich von 34,5 bis 50,5.
```

Saisonbereinigte PM_{10}_WMW von Graz-Nord

Die saisonbereinigten Werte von Graz-Nord werden nach der Formel

$$PM10_{sb} = PM10d_{sb} * PM_{10}_WMW/PM10_{pr} = 50{,}5 * PM_{10}_WMW/PM10_{pr}$$

ermittelt. Abbildung 4.31 zeigt, dass ein Wert von Graz-Nord und der aktuelle Wintermittelwert von Graz-Mitte knapp außerhalb der Toleranzbereiche liegen.

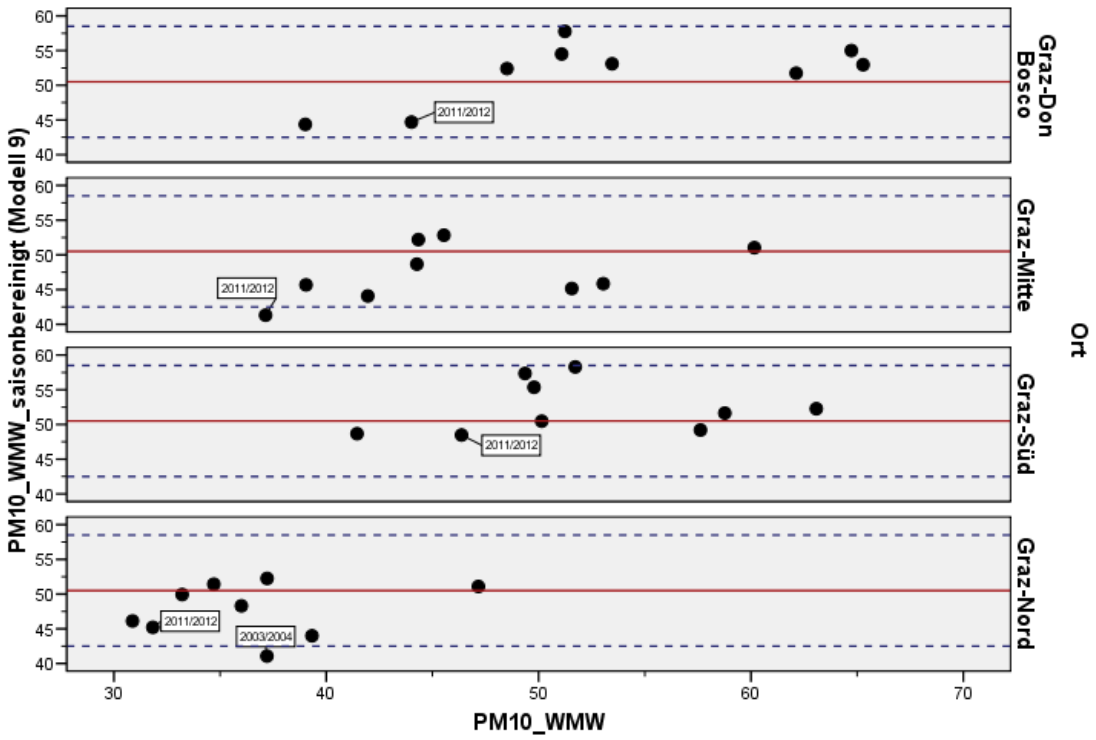


Abbildung 4.31: PM_{10}-WMW und saisonbereinigte WMW für alle Orte und WS

Berechnung für Graz-Nord mit den Wintermittelwerten 11/12

Die saisonbereinigten Werte von Graz-Nord werden nach der Formel

$$PM10_{sb(11/12)} = PM10d_{sb(11/12)} * PM_{10}_WMW/PM10_{pr} = 42{,}5 * PM_{10}_WMW/PM10_{pr}$$

ermittelt. Abbildung 4.32 zeigt wieder den Wert von Graz-Nord und jenen der aktuellen Saison von Graz-Mitte die hier exakt an der Grenze des Toleranzbereichs liegen.

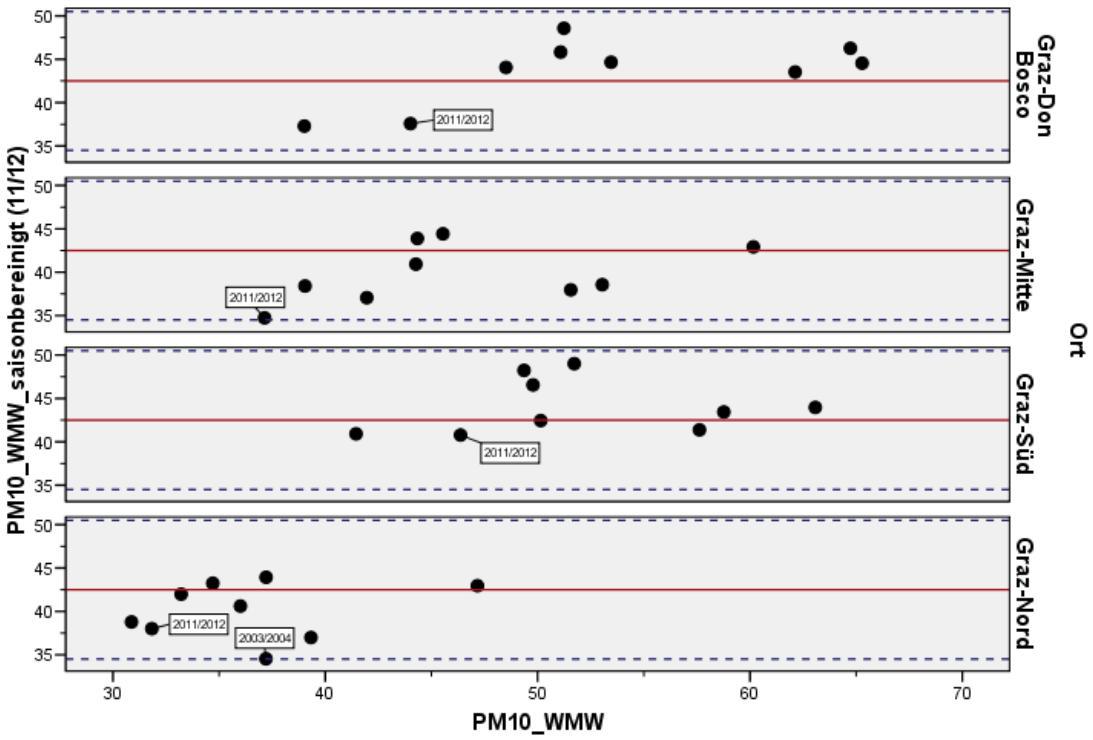


Abbildung 4.32: PM_{10}-WMW und saisonbereinigte WMW für alle Orte und WS

5 Zusammenfassung

Die Analysen der Wintermittelwerte der letzen Jahre haben gezeigt, dass $\mathtt{PM}_{10}$ am stärksten mit der `Spitzenwindgeschwindigkeit`, der Anzahl der `Frosttage`, dem Anteil der `Niederschlagstage`, der `Interaktion` zwischen dem Anteil der Niederschlagstage und der Spitzenwindgeschwindigkeit und der Anzahl der `Inversionstage (Lufttemperatur < 3°C)` zusammenhängt.

Für die Messorte **Graz-Süd** & **Graz-Nord** (9 Saisonen) wurde folgendes Regressionsmodell, das 52% der Varianz des Wintermittelwerts $\mathtt{PM}_{10}$ erklärt, ermittelt:

$$\mathtt{PM10}_{\mathtt{pr}} = 31{,}089 + 0{,}298*\mathtt{spitzenwind[m/s]} - 0{,}008*\mathtt{frosttage[Tage]} + 1{,}927*\mathtt{niederschlag[\%]} - 0{,}365*\mathtt{niederschlag[\%]}*\mathtt{spitzenwind[m/s]} + 0{,}335*\mathtt{inversionstage(lufttemperatur<3°C)[Tage]};$$
$$\mathtt{se} = 6{,}86;\ r^2_{\mathtt{corr}} = 0{,}52;\ \mathtt{n} = 18$$

Da der Toleranzbereich sehr breit ausfällt und das PM_{10}-Niveau in Graz-Nord unter dem der anderen drei Messstellen liegt wurde mit den drei Messorten **Graz-Don Bosco**, **Graz-Mitte** und **Graz-Süd** und der (neuen) Kovariable `Splittstreuung` ein Modell errechnet, dessen erklärender Anteil der Varianz sich auf 67% verbessert:

$$\mathtt{PM10}_{\mathtt{pr}} = 35{,}647 + 2{,}88*\mathtt{spitzenwind[m/s]} + 0{,}141*\mathtt{frosttage[Tage]} - 0{,}466*\mathtt{niederschlag[\%]} + 0{,}003*\mathtt{splitt[t]};$$
$$\mathtt{se} = 4{,}68;\ r^2_{\mathtt{corr}} = 0{,}67;\ \mathtt{n} = 27$$

- Mit Hilfe dieses Modells können beobachtete $\mathtt{PM}_{10}\mathtt{_WMW}$ von **Graz-Don Bosco**, **Graz-Mitte** oder **Graz-Süd** von zukünftigen Wintersaisonen danach **beurteilt** werden, ob sie **innerhalb** oder **außerhalb** der **meteorologisch bestimmten Bandbreite** liegen. Ist der gemessene Wert kleiner als die Bandbreite angibt,

dann deutet das auf eine signifikante Reduktion der PM_{10}-Belastung hin, die durch andere Faktoren (z. B. Reduktionsmaßnahmen) verursacht sein kann.

- Die PM_{10}-WMW liegen bei diesen Modellen im meteorologisch erklärten Bereich.
- Die Modelle können auf die Anzahl der Überschreitungstage angewandt werden:

$$\text{Überschreitungstage}_{pr} = 1{,}284 * PM10_{pr};$$
$$95\%\text{-KIV für den Koeffizienten: } [1{,}14\ ;\ 1{,}43].$$

- Der **saisonbereinigte WMW** von PM_{10} berechnet sich als

$$PM10_{sb} = PM10d_{sb} * PM_{10}_WMW/PM10_{pr} = 50{,}5 * PM_{10}_WMW/PM10_{pr}.$$

- Die PM_{10}-Messungen von **Graz-Nord** können durch das Modell dargestellt werden als

$$PM10_{pr}_GN = 0{,}783 * PM10_{pr}_GM.$$

- Für **Graz-Nord** können ebenfalls saisonbereinigte PM_{10}-Werte berechnet werden.

ANHANG A: Berechnung der Werte in Graz-Mitte 2009/2010

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R
1	nr	ort_neu	saison _wi	pm10_mean	%	Berechnung	überschreitung_ sum	%	lute_ mean	%	frost_ sum	%	inversion_l uft3_sum	%	invers _sum	%	ltusg_k_ mean	Kalkleiten
2	1	Don Bosco	1	62,12342497	78%	D8/D2	103	66%	3,216	108%	50	110%	43	53%	79	75%	-0,2958	
3	2	Don Bosco	2	64,7256361	75%	D8/D3	111	61%	3,31	105%	57	96%	41	56%	78	76%	-0,3793	
4	3	Don Bosco	3	65,27881823	74%	D8/D4	118	58%	2,399	145%	67	82%	38	61%	55	107%	0,55144	
5	4	Don Bosco	4	51,23727785	95%	D8/D5	73	93%	6,098	57%	16	344%	27	85%	82	72%	-0,165	
6	5	Don Bosco	5	51,08060941	95%	D8/D6	70	97%	4,215	83%	34	162%	27	85%	57	104%	0,74312	
7	6	Don Bosco	6	39,01363135	124%	D8/D7	38	179%	4,053	86%	39	141%	27	85%	49	120%	0,96223	
8	**7**	**Don Bosco**	**7**	**48,50550941**			**68**		**3,488**		**55**		**23**		**59**		**0,59938**	2,888829211
9	8	Mitte	1	53,04239835	**85%**	**MITTELWERT(E2;E17;E24)**	78	**66%**	4,154	**107%**	39	**113%**	23	**55%**	59	**75%**	0,64187	
10	9	Mitte	2	51,55927346	**82%**	**MITTELWERT(E3;E18;E25)**	86	**65%**	4,188	**109%**	48	**88%**	20	**62%**	56	**77%**	0,51407	
11	10	Mitte	3	60,15594663	**76%**	**MITTELWERT(E4;E19;E26)**	105	**55%**	3,311	**148%**	52	**74%**	24	**68%**	32	**115%**	1,46414	
12	11	Mitte	4	45,53721734	**98%**	**MITTELWERT(E5;E20;E27)**	60	**94%**	7,021	**61%**	10	**328%**	15	**88%**	49	**74%**	0,75845	
13	12	Mitte	5	44,26738618	**95%**	**MITTELWERT(E6;E21;E28)**	56	**85%**	4,962	**89%**	30	**143%**	14	**88%**	35	**104%**	1,49966	
14	13	Mitte	6	39,04690447	**119%**	**MITTELWERT(E7;E22;E29)**	36	**157%**	4,874	**104%**	33	**121%**	9	**81%**	24	**122%**	1,78362	
15	14	Mitte	7	34,09549858			13		7,429		6		4		25		1,261	**2,889997936**
16	**14**	**Mitte**	**7**	**44,33391182**		**MITTELWERT(D9*E9;D10*E10;D11 *E11;D12*E12;D13*E13;D14*E14)**	**54**		**4,607**		**40**		**12**		**38**		**1,71662**	
17	15	Süd	1	57,62102616	86%	D23/D17	91	84%	3,216	102%	50	116%	43	65%	79	84%	-0,2958	
18	16	Süd	2	58,76739792	88%	D23/D18	89	89%	3,31	115%	57	65%	41	78%	78	85%	-0,3793	
19	17	Süd	3	63,07643831	82%	D23/D19	103	77%	2,399	159%	67	55%	38	84%	55	120%	0,55144	
20	18	Süd	4	49,36088761	105%	D23/D20	66	120%	5,801	66%	17	218%	31	103%	81	81%	-0,3815	
21	19	Süd	5	51,7201255	100%	D23/D21	79	100%	3,815	100%	37	100%	32	100%	66	100%	0,34257	
22	20	Süd	6	41,44896028	125%	D23/D22	49	161%	3,867	99%	42	88%	35	91%	61	108%	0,77582	
23	**21**	**Süd**	**7**	**49,77921217**			**76**		**3,276**		**58**		**28**		**66**		**0,38578**	2,890187183
24	22	Nord	1	37,20597479	89%	D30/D24	43	49%	3,294	110%	49	112%	41	46%	87	67%	-0,219	
25	23	Nord	2	39,3244514	84%	D30/D25	47	45%	3,406	106%	54	102%	37	51%	82	71%	-0,2724	
26	24	Nord	3	47,16018225	70%	D30/D26	70	30%	2,572	140%	65	85%	32	59%	49	118%	0,72615	
27	25	Nord	4	34,7031859	96%	D30/D27	31	68%	6,165	59%	13	423%	25	76%	84	69%	-0,0989	
28	26	Nord	5	37,21289575	89%	D30/D28	37	57%	4,211	86%	33	167%	24	79%	54	107%	0,73985	
29	27	Nord	6	30,87669046	108%	D30/D29	16	131%	2,858	126%	41	134%	28	68%	42	138%	1,02141	
30	**28**	**Nord**	**7**	**33,21071322**			**21**		**3,61**		**55**		**19**		**58**		**0,71875**	2,890977416
31	29	Platte	1	20,99004668			5		3,364		57							
32	30	Platte	2	21,97013031			11		3,408		56							
33	31	Platte	3	27,35634538			21		2,328		74							
34	32	Platte	4	18,90481299			3		6,787		8							
35	33	Platte	5	20,42836039			9		4,142		33							
36	34	Platte	6	19,54720609			8		3,601		44							
37	35	Platte	7	14,66887077			0		3,325		57							

ANHANG B: Straßenstreuung in Graz

	Saison	Jahr	Monat	Salz [t]	Splitt [t]	
Winter 2011/12	9	2011	Oktober	7,10	75,60	
	9	2011	November	45,37	74,58	
	9	2011	Dezember	65,15	25,60	
	9	2012	Jänner	668,74	246,23	
	9	2012	Februar	1.539,31	346,14	
	9	2012	März	0,04	0,07	
	9	**2011/2012**	**Gesamt**	**2.325,71**	**768,21**	**3.093,92**
Winter 2010/11	8	2010	Oktober	11,73	87,99	
	8	2010	November	394,92	127,53	
	8	2010	Dezember	1.407,13	949,27	
	8	2011	Jänner	270,12	395,12	
	8	2011	Februar	479,61	192,32	
	8	2011	März	116,81	53,07	
	8	**2010/2011**	**Gesamt**	**2.680,31**	**1.805,30**	**4.485,61**
Winter 2009/10	7	2009	Oktober	0,00	153,50	
	7	2009	November	15,50	15,42	
	7	2009	Dezember	972,28	465,39	
	7	2010	Jänner	2.526,38	834,66	
	7	2010	Februar	1.008,04	386,46	
	7	2010	März	365,44	97,36	
	7	**2009/2010**	**Gesamt**	**4.887,64**	**1.952,79**	**6.840,43**
Winter 2008/09	6	2008	Oktober	0,00	0,00	
	6	2008	November	347,63	337,73	
	6	2008	Dezember	357,20	388,64	
	6	2009	Jänner	795,64	653,37	
	6	2009	Februar	572,00	376,27	
	6	2009	März	40,96	13,73	
	6	**2008/2009**	**Gesamt**	**2.113,42**	**1.769,73**	**3.883,15**

	Saison	Jahr	Monat	Salz [t]	Splitt [t]	
Winter 2007/08	5	2007	Oktober	0,00	120,00	
	5	2007	November	71,16	42,50	
	5	2007	Dezember	549,32	522,97	
	5	2008	Jänner	222,62	264,07	
	5	2008	Februar	25,60	45,14	
	5	2008	März	12,30	3,00	
	5	**2007/2008**	**Gesamt**	**881,00**	**997,67**	**1.878,67**
Winter 2006/07	4	2006	Oktober	0,00	8,00	
	4	2006	November	59,25	82,50	
	4	2006	Dezember	92,76	131,62	
	4	2007	Jänner	334,37	630,57	
	4	2007	Februar	15,50	59,05	
	4	2007	März	0,00	0,00	
	4	**2006/2007**	**Gesamt**	**501,88**	**911,74**	**1.413,62**
Winter 2005/06	3	2005	Oktober	17,94	45,00	
	3	2005	November	623,12	1.327,07	
	3	2005	Dezember	827,37	1.543,54	
	3	2006	Jänner	323,32	1.566,48	
	3	2006	Februar	381,74	1.015,55	
	3	2006	März	140,17	419,30	
	3	**2005/2006**	**Gesamt**	**2.313,66**	**5.916,93**	**8.230,59**
Winter 2004/05	2	2004	Oktober	0,00	0,00	
	2	2004	November	4,20	224,50	
	2	2004	Dezember	139,60	551,02	
	2	2005	Jänner	28,65	257,25	
	2	2005	Februar	769,64	2.330,50	
	2	2005	März	220,85	775,00	
	2	**2004/2005**	**Gesamt**	**1.162,95**	**4.138,27**	**5.301,22**
	1	**2003/2004**	**Gesamt**	**1.087,00**	**5.798,00**	**6.885,00**

ANHANG C: Modelle der Winternormierung

		spg [m/s]	frost [d]	lute [°C]	nied [%]	nied*spg	invers_luft3 [d]	splitt [t]	r^2_{corr}	se	n		Jahr
Modell 1	97,576	-10,207	0,162						0,97	1,13	10	(G-M, G-S)	2008
	112,451	-13,253	0,129						0,64	4,59	12	(G-M, G-S)	2009
	16,334	3,808	0,341						0,23	6,49	18	(G-M, G-S)	2012
	16,075	3,771	0,358						0,28	6,89	27	(G-M, G-S, G-DB)	2012
	106,529	**-11,846**	**-0,011**						**0,53**	**6,78**	**18**	**(G-S, G-N)**	**2012**
Modell 2	113,442	-10,516		-1,830					0,92	1,82	10	(G-M, G-S)	2008
	128,780	-14,660		-0,970					0,61	4,81	12	(G-M, G-S)	2009
	55,143	2,582		-4,443					0,26	6,36	18	(G-M, G-S)	2012
	58,541	2,014		-4,493					0,26	6,99	27	(G-M, G-S, G-DB)	2012
	105,350	**-11,688**		**-0,048**					**0,53**	**6,78**	**18**	**(G-S, G-N)**	**2012**
Modell 3	123,571	-11,388	0,243		-0,805				0,89	2,54	12	(G-M, G-S)	2009
	95,357	-4,296	0,394		-1,237				0,76	3,99	21	(G-M, G-S, G-DB)	2010
	20,173	4,027	0,379		-0,210				0,27	6,94	27	(G-M, G-S, G-DB)	2012
	109,262	**-11,749**	**0,004**		**-0,132**				**0,50**	**6,98**	**18**	**(G-S, G-N)**	**2012**
Modell 4	137,670	-4,657		-5,432	-1,286				0,79	3,79	21	(G-M, G-S, G-DB)	2010
	65,457	2,196		-4,799	-0,219				0,25	7,04	27	(G-M, G-S, G-DB)	2012
	110,940	**-11,573**		**-0,438**	**-0,159**				**0,50**	**6,97**	**18**	**(G-S, G-N)**	**2012**
Modell 5	342,351	-53,160	0,358		-8,432	1,434			0,82	3,46	21	(G-M, G-S, G-DB)	2010
	-168,276	44,310	0,432		5,795	-1,292			0,57	5,22	24	(G-M, G-S, G-DB)	2011
	-111,901	30,399	0,377		4,318	-0,904			0,34	6,61	27	(G-M, G-S, G-DB)	2012
	52,491	**-0,995**	**0,018**		**1,719**	**-0,355**			**0,48**	**7,14**	**18**	**(G-S, G-N)**	**2012**
Modell 6	-135,656	36,411	0,284		4,939	-1,094	0,333		0,71	4,30	24	(G-M, G-S, G-DB)	2011
	-87,292	24,558	0,289		3,684	-0,754	0,172		0,35	6,56	27	(G-M, G-S, G-DB)	2012
Modell 7	157,859	40,263	0,315		5,111	-1,171	0,550		0,79	3,54	16	(G-S, G-DB)	2011
	-31,181	14,699	0,299		2,018	-0,451	0,088		0,05	7,62	18	(G-S, G-DB)	2012
	-127,990	33,382	0,283		4,892	-1,014	0,156		0,33	6,08	18	(G-M, G-S)	2012
Modell 8	**31,089**	**0,298**	**-0,008**		**1,927**	**-0,365**	**0,335**		**0,52**	**6,86**	**18**	**(G-S, G-N)**	**2012**
Modell 9	**35,647**	**2,880**	**0,141**		**-0,466**			**0,003**	**0,67**	**4,68**	**27**	**(G-M, G-S, G-DB)**	**2012**

Literaturverzeichnis

[1] **Hörmann S., Pfeiler B., Stadlober E. (2005):** *Analysis and prediction of particulate matter PM10 for the winter season in Graz.* Austrian Journal of Statistics, 34, 4, (2005) 307-326.

[2] **Hörmann S., Stadlober E. (2004):** *Modellierung und Prognose der Feinstaubkonzentration in Graz-Mitte für die Zeitperiode Herbst/Winter.* Endbericht im Auftrag der Stadt Graz, Dez. 2004.

[3] **Stadlober E. (2007):** *KAPA GS Life04 ENV/AT/000006: Technischer Endbericht.* Arbeitspaket 2: Statistische Prognosemodelle, Juli 2007.

[4] **Stadlober E., Pfeiler B. (2003a):** *Explorative Analyse der Feinstaubkonzentrationen über ausgewählte Zeiträume.* Endbericht im Auftrag von Land Stmk. und Stadt Graz, Sept. 2003.

[5] **Stadlober E., Pfeiler B. (2003b):** *Explorative Analyse der Feinstaubkonzentrationen von Mai 2003 - Oktober 2003.* Endbericht im Auftrag der Stadt Graz, Dez. 2003.

[6] **Stadlober E., Pfeiler B. (2004a):** *Explorative Analyse der Feinstaubkonzentrationen von Mai 2003 - Dezember 2003.* Endbericht im Auftrag der Stadt Graz, April 2004.

[7] **Stadlober E., Pfeiler B. (2004b):** *Explorative Analyse der Feinstaubkonzentrationen von Oktober 2003 - März 2004.* Endbericht im Auftrag der Stadt Graz, Sept. 2004.

[8] **Stadlober E., Pfeiler B. (2004c):** *Explorative Analyse der Feinstaubkonzentrationen von Oktober 2003 - März 2004.* Endbericht im Auftrag der Stadt Graz, Nov. 2004.

[9] **Stadlober E., Hörmann S., Pfeiler B. (2008):** *Quality and performance of a daily forecasting model.* Atmospheric Environment 43 (2008), 1098-1109.

[10] **Stadlober E., Pfeiler B. (2008):** *Ermittlung von saisonbereinigten PM10-Mittelwerten des Winterhalbjahres.* Endbericht im Auftrag der Stadt Graz, Sep. 2008.

[11] **Stadlober E., Pfeiler B. (2009):** *Ermittlung von saisonbereinigten PM10-Mittelwerten des Winterhalbjahres.* Endbericht im Auftrag der Stadt Graz, Mai 2009.

[12] **Stadlober E., Pfeiler B. (2010):** *Ermittlung von saisonbereinigten PM10-Mittelwerten des Winterhalbjahres.* Endbericht im Auftrag der Stadt Graz, Mai 2010

[13] **Stadlober E., Pfeiler B. (2011):** *Ermittlung von saisonbereinigten PM10-Mittelwerten des Winterhalbjahres auf Basis der Daten 2003/2004-2010/2011.* Endbericht im Auftrag der Stadt Graz, Juli 2011