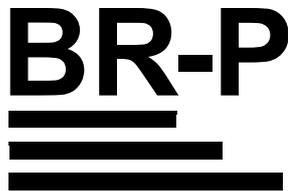




# Immissionsmessungen St. Gallen West Schlussbericht

## 2009

BR-P Broder Partner AG  
Ingenieure und Berater  
Falkensteinstrasse 27  
9006 St. Gallen  
Tel. 071 244 56 20  
Fax 071 244 56 34



Version	Erst.	Gepr.	Gen.	Datum
1	BR-P	Bro	--	24. Juni 2009
1.1	BR-P	Bro	--	11. Juli 2009

Autoren: Broder, Dörig, Hungerbühler, Weber  
Auftragsnummer: 8245.800

Datei: S:\8245 OSTLUFT IMMISSIONEN SG WEST4 BERICHT\410 BERICHT\_AKTUELL\PHASE C\BERICHT\_SG-W\_C\_68.DOC

Inhaltsverzeichnis	Seite
<b>Tabellenverzeichnis</b> _____	<b>i</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> _____	<b>ii</b>
<b>Zusammenfassung</b> _____	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b> _____	<b>5</b>
1.1 Zielsetzungen .....	5
1.2 Schlüsse aus der Überprüfung des Untersuchungsdesigns .....	5
<b>2 Ergebnisse für die Bauphase</b> _____	<b>7</b>
2.1 Einfluss der Baustellenemissionen auf die Immissionen .....	7
2.2 Charakteristische Parameter der Baustelle in Bezug auf die Immissionen .....	8
<b>3 Ergebnisse für die Betriebsphase</b> _____	<b>9</b>
3.1 Vorgehen .....	9
3.2 Messnetz .....	9
3.3 Emissionsmonitoring .....	9
3.4 Aktualisierung der Immissionsprognose .....	12
3.5 Resultate der Immissionsüberwachung .....	22
3.6 Vergleich Immissionsmessungen mit Immissionsprognose .....	29
<b>4 Zusammenfassende Folgerungen</b> _____	<b>31</b>
4.1 Verkehr .....	31
4.2 Luftschadstoffe .....	31
4.3 Immissionsprognose .....	32
4.4 Projekterfolg und Ausblick .....	32
<b>5 Anhänge</b> _____	<b>33</b>
5.1 Anhang A: Standortdatenblatt Messstation St. Gallen Bild .....	35
5.2 Anhang B: Abweichungen zwischen Monitor- und Passivsammlermessungen .....	37
5.3 Anhang C: Veränderung des NO <sub>2</sub> -NO <sub>x</sub> -Verhältnisses zwischen Vorher- und Nachher-Messphase .....	39
5.4 Anhang D: ÖV im Bereich der Industriestrasse .....	43
<b>6 Beilage: Resultate der Überprüfung des Designs der Untersuchung</b> _____	<b>6-1</b>
<b>B 1 Vorgehen in Bezug auf das Design der Untersuchung</b> _____	<b>6-3</b>
B 1.1 Grundlegende Annahmen (Hypothesen) für die Auswertung .....	6-3
B 1.2 Vorgehen bei den Abklärungen .....	6-3
<b>B 2 Ergebnisse Betriebsphase</b> _____	<b>6-5</b>
B 2.1 Korrelationsmodell .....	6-5
B 2.2 Erwartete Effekte aus den Vorhaben auf die Messungen an der Station Bild .....	6-11
B 2.3 Erwartete und mittels Korrelationsmodell detektierbare Effekte .....	6-12
B 2.4 Qualität der Erfassung der Begleitparameter .....	6-13
<b>7 Beilage: Resultate der Abklärung des Einflusses der Bauemissionen</b> _____	<b>7-1</b>
<b>C 1. Resultate Screening Bauphase</b> _____	<b>7-3</b>
C 1.1. Immissionen .....	7-3
C 1.2. Emissionen .....	7-5
C 1.3. Folgerungen aus Screening Immissionen / Emissionen .....	7-9
<b>C 2. Resultate Verfeinerung</b> _____	<b>7-11</b>
C 2.1. Emissionen .....	7-11
C 2.2. Immissionen .....	7-12
<b>C 3. Charakterisierung Immissionszusatzbelastung in der Bauphase</b> _____	<b>7-17</b>
C 3.1. Anteile der Baustellenbereiche .....	7-17
C 3.2. Charakteristische Parameter Baustelle in Bezug auf die Immissionen .....	7-19
<b>C 4. Schlussfolgerungen für Messungen bei Baustellen</b> _____	<b>7-21</b>

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Differenz zwischen den mittels Korrelationsmodell resultierenden Prognosen und den tatsächlichen Messungen für die Bauphase sowie mittels Korrelationsmodell verlässlich detektierbare Unterschiede.....	7
Tabelle 2:	Kenngrossen für den Zusammenhang zwischen Transportkubatur, Baustellenfläche sowie Distanz Baustelle - Immissionsmessstelle und den resultierenden Zusatzimmissionen bei der Baustelle Stadion mit Einkaufszentrum St. Gallen West.....	8
Tabelle 3:	Verkehr als DTV aus Modell und Zählungen ohne Neukalibration Modell.....	13
Tabelle 4:	Verkehr als DTV aus Modell und Zählungen mit Neukalibration Modell.....	13
Tabelle 5:	NO <sub>x</sub> -Emissionen in Abhängigkeit des Anteils SNF für einen Abschnitt der Zürcherstrasse mit VS-Einstufung als IO_HVS_3 gemäss HBEFA 2.1.....	18
Tabelle 6:	Immissionen in Bezug auf NO <sub>x</sub> , NO <sub>2</sub> und PM10 für den Vorher-Zustand 2004/2005, den Betriebszustand 2008/2009 und entsprechende Differenz sowie mittels Korrelationsmodell verlässlich detektierbare Unterschiede bzw. Signifikanz.....	22
Tabelle 7:	Vergleich zwischen HVS und Monitor für die Messstationen für das Jahr 2007 und den Nachher-Zustand und Anzahl Tagesmittel für HVS.....	24
Tabelle 8:	Immissionen für NO <sub>2</sub> für den Vorher-Zustand 2004/2005, den Nachher-Zustand 2008/2009 und für die in Bezug auf die durchschnittliche Emissionsentwicklung und den Witterungseinfluss bereinigten Nachher-Messungen sowie entsprechende Differenzen/Quotienten.....	26
Tabelle 9:	Korrekturfaktor für die durchschnittliche Emissionsentwicklung und den Witterungseinfluss in Bezug auf die NO <sub>2</sub> -Immissionsmessungen mit den Passivsammlern auf Basis der kontinuierlichen Referenzstationen.....	27
Tabelle 10:	Vergleich Differenz der Immissionsmessungen Nachher witterungsbereinigt – Vorher in Bezug auf NO <sub>x</sub> mit dem entsprechenden Resultat der Immissionsprognose.....	29
Tabelle 11:	Vergleich Differenz der Immissionsmessungen Nachher witterungsbereinigt – Vorher in Bezug auf NO <sub>2</sub> mit den entsprechenden Resultaten der Immissionsprognose.....	29
Tabelle 12:	Ergebnisse der multiplen linearen Regression der Wochenmittel an der Station St. Gallen Bild gegen die Stationen St. Gallen Rorschacherstrasse, Frauenfeld Bahnhofstrasse und Winterthur Obertor für NO <sub>x</sub> (ppb), NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) und PM10 (µg/m <sup>3</sup> ).....	6-5
Tabelle 13:	Ergebnisse der multiplen linearen Regression der Wochenmittel an der Station St. Gallen Bild gegen das Mittel der Stationen St. Gallen Rorschacherstrasse, Frauenfeld Bahnhofstrasse und Winterthur Obertor für NO <sub>x</sub> (ppb), NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) und PM10 (µg/m <sup>3</sup> ).....	6-6
Tabelle 14:	Vergleich der mit dem Korrelationsmodell berechneten und tatsächlichen Jahresmittelwerte für die Periode 1. Juni 2004 bis 31. Mai 2005.....	6-8
Tabelle 15:	Konfidenzintervall 95% der mit dem Korrelationsmodell berechneten Jahresmittelwerte (Bootstrapping mit 100'000 Stichproben).....	6-10
Tabelle 16:	Korrelationsmodell mit 95%-Vertrauensbereich unter Einschluss einer Messunsicherheit (mit Student-t von 1.7 hochgerechnet).....	6-10
Tabelle 17:	Vergleich der auf Grundlage des Emissionsmonitoringmodells prognostizierten Effekte aus den Vorhaben auf die Luftbelastungssituation und den mittels Korrelationsmodell verlässlich detektierbaren Unterschiede.....	6-12
Tabelle 18:	Differenz zwischen den mittels Korrelationsmodell resultierenden Prognosen und den tatsächlichen Messungen ( <i>kursiv und grau hinterlegt = negative Abweichungen</i> ) für verschiedene Perioden der Bauphase sowie mittels Korrelationsmodell verlässlich detektierbare Unterschiede.....	7-4
Tabelle 19:	Übersicht zum Ablauf der Bauphase für die Strassenprojekte und das Stadion mit Einkaufszentrum.....	7-7
Tabelle 20:	Immissionsrelevante Bauintensität.....	7-12
Tabelle 21:	Differenz zwischen den mittels Korrelationsmodell resultierenden Prognosen und den tatsächlichen Messungen für die Bauphase sowie mittels Korrelationsmodell verlässlich detektierbare Unterschiede.....	7-19
Tabelle 22:	Kenngrossen für den Zusammenhang zwischen Transportkubatur, Baustellenfläche sowie Distanz Baustelle - Immissionsmessstelle und den resultierenden Zusatzimmissionen bei der Baustelle Stadion mit Einkaufszentrum St. Gallen West.....	7-20

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Überblick St. Gallen West mit Messstation Bild und Passivsammlerstandorten .....	10
Abbildung 2: Übersicht zum Emissionsmonitoring für die Betriebsphase mit Situation Messwagen und Stadion .....	11
Abbildung 3: Zählungen SNF 2009 .....	14
Abbildung 4: Verkehr (DTV) im Gebiet St. Gallen West nach Neukalibration Modell .....	15
Abbildung 5: Immissionsprognose NO <sub>2</sub> für den Nachher-Zustand 2008 .....	19
Abbildung 6: Differenz Immissionsprognose NO <sub>x</sub> zwischen Nachher-Zustand 2008 und Vorher-Zustand 2004 .....	20
Abbildung 7: Differenz Immissionsprognose NO <sub>2</sub> zwischen Nachher-Zustand 2008 und Vorher-Zustand 2004 .....	21
Abbildung 8: Resultate der linearen Regression der NO <sub>2</sub> -Messungen mittels Monitor gegen diejenigen mittels Passivsammler an der Messstation Bild .....	24
Abbildung 9: Resultate der linearen Regression der NO <sub>2</sub> -Messungen mittels Monitor gegen diejenigen mittels Passivsammler an der Messstation Bild mit erzwungenem Achsenabschnitt $b \approx 0$ .....	25
Abbildung 10: NO <sub>2</sub> -Immissionen für den Vorher-Zustand 2004/2005 und Nachher-Zustand 2008/2009 sowie entsprechende Differenzen .....	28
Abbildung 11: NO <sub>2</sub> -Immissionen 2004 bis 2009 am Standort Bild gemessen mit Passivsammler und mit Monitor .....	37
Abbildung 12: Verhältnis der NO <sub>x</sub> - bzw. NO <sub>2</sub> -Immissionen zwischen der Messstation Bild und dem Mittel der Referenzstandorte für die Vorher- und die Nachherphase .....	39
Abbildung 13: Verhältnis NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> -Immissionen an der Messstation Bild im Vergleich zum Mittel der Referenzstandorte für die Vorher- und die Nachher-Phase .....	40
Abbildung 14: Verhältnis NO <sub>2</sub> /NO <sub>x</sub> -Immissionen an der Messstation Bild im Vergleich zum Mittel der Referenzstandorte für die Vorher- und die Nachher-Phase mit Korrekturen Messwerte Nachher-Phase (vgl. Text) .....	41
Abbildung 15: Linienplan im Bereich der Industriestrasse .....	43
Abbildung 16: Regression Station Bild gegen Mittel der Referenzstationen für NO <sub>x</sub> und NO <sub>2</sub> .....	6-7
Abbildung 17: Regression Station Bild gegen Mittel der Referenzstationen für PM <sub>10</sub> .....	6-8
Abbildung 18: Differenzierung der Baubereiche für die Strassenprojekte und das Stadion mit Einkaufszentrum .....	7-6
Abbildung 19: Verkehrsfreigabe 2006 (Quelle TBA) .....	7-8
Abbildung 20: Verkehrsfreigabe 2007 (Quelle TBA) .....	7-8
Abbildung 21: Differenzen zwischen der mit dem (windrichtungsunabhängigen) Korrelationsmodell prognostizierten und der tatsächlich beobachteten Immissionsbelastung im Tagesmittel mit PM <sub>10</sub> in Abhängigkeit der Windrichtung für die Referenzperiode 2004/05 und die Bauphase Dezember 2005 bis November 2006 .....	7-14
Abbildung 22: Differenzen zwischen der mit dem (windrichtungsunabhängigen) Korrelationsmodell prognostizierten und der tatsächlich beobachteten Immissionsbelastung mit NO <sub>x</sub> im Tagesmittel in Abhängigkeit der Windrichtung für die Referenzperiode 2004/05 und die Bauphase Dezember 2005 bis November 2006 .....	7-14
Abbildung 23: Differenzen zwischen der mit dem (windrichtungsunabhängigen) Korrelationsmodell prognostizierten und der tatsächlich beobachteten Immissionsbelastung mit NO <sub>2</sub> im Tagesmittel in Abhängigkeit der Windrichtung für die Referenzperiode 2004/05 und die Bauphase Dezember 2005 bis November 2006 .....	7-15
Abbildung 24: Differenzen zwischen der mit dem (windrichtungsunabhängigen) Korrelationsmodell prognostizierten und der tatsächlich beobachteten Immissionsbelastung mit PM <sub>10</sub> im Tagesmittel in Abhängigkeit der Transportkubaturen aller Baustellen und unterschieden nach Windrichtung für die Bauphase .....	7-17
Abbildung 25: Differenzen zwischen der mit dem (windrichtungsunabhängigen) Korrelationsmodell prognostizierten und der tatsächlich beobachteten Immissionsbelastung mit NO <sub>x</sub> im Tagesmittel in Abhängigkeit der Transportkubaturen aller Baustellen und unterschieden nach Windrichtung für die Bauphase .....	7-18
Abbildung 26: Differenzen zwischen der mit dem (windrichtungsunabhängigen) Korrelationsmodell prognostizierten und der tatsächlich beobachteten Immissionsbelastung mit NO <sub>2</sub> im Tagesmittel in Abhängigkeit der Transportkubaturen aller Baustellen und unterschieden nach Windrichtung für die Bauphase .....	7-18



## Zusammenfassung

### Ziele und Vorgehen

OSTLUFT erfasste zwischen Juni 2004 und Februar 2009 im Rahmen des Projektes "Immissionsmessungen St. Gallen West" die Luftqualität mit einer mobilen Messstation an der Station St. Gallen Bild und mit einem verdichteten Passivsammlermessnetz in den umliegenden Quartieren.

Das Projekt verfolgte das Ziel, die lufthygienische Situation in diesem insbesondere durch den Bau eines neuen Stadions mit Einkaufszentrum und die Verkehrsverlagerungen im Zusammenhang mit der Umgestaltung des Nationalstrassenanschlusses St. Gallen Breitfeld der Autobahn A1 stark beeinflussten Gebiet messtechnisch über den Zeitraum von einigen Jahren im Vergleich zur prognostizierten Emissions- bzw. Immissionsentwicklung zu überwachen.

### „Design der Untersuchung“

Die für das Projekt gesetzten Ziele waren ambitiös und hätten ein auf Grundlage eines Pilotprojekts festgelegtes, ausserordentlich sorgfältiges "Design der Untersuchung" erfordert. Im vorliegenden Fall war es aus Zeitgründen aber nicht möglich, eine Pilotphase durchzuführen.

Das Design beim Projekt "Immissionsmessungen St. Gallen West" wurde deshalb nach der ersten Messphase überprüft. Dabei ergaben sich folgende Schlüsse:

- Die Witterungseinflüsse auf die Messung am Standort Bild sind mittels eines Korrelationsprognosemodells, welches auf drei Referenzstationen beruht, auf Grund der statistisch signifikanten Korrelation der Messungen zu einem grossen Teil eliminierbar.
- Die Prognose der Immissionen an der Station Bild weist einen ausreichend kleinen „Prognosefehler“ auf, damit die erwarteten standortspezifischen Änderungen der Immissionsbelastung in der Betriebsphase für NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> sowie - falls die erwarteten Effekte übertroffen werden - auch für PM10 detektiert werden können.
- Eine semiquantitative Aussage zum Einfluss der Bauaktivitäten auf die Messung an der Station Bild ist realistisch.

### Ergebnisse für die Bauphase

#### **Bauphase - Einfluss der Baustellenemissionen auf die Immissionen**

Für den Zeitraum Dezember 2005 bis November 2006, die „reine“ Bauphase, ergibt sich eine signifikante Zusatzbelastung bei PM10, eine knapp signifikante Zusatzbelastung bei NO<sub>2</sub> und eine nicht signifikante Zusatzbelastung bei NO<sub>x</sub> gemäss nachstehender Tabelle.

Stoff	Messung	Korrelationsmodell		Differenz / Beurteilung
		Prognose	Detektierbar	
NO <sub>x</sub>	30.6 ppb	30.3 ppb	> 2.5 ppb	0.3 ppb / Nicht signifikant
NO <sub>2</sub>	32.6 µg/m <sup>3</sup>	31.1 µg/m <sup>3</sup>	> 1.5 µg/m <sup>3</sup>	1.5 µg/m <sup>3</sup> / Knapp signifikant
PM10	24.9 µg/m <sup>3</sup>	20.2 µg/m <sup>3</sup>	> 2 µg/m <sup>3</sup>	4.7 µg/m <sup>3</sup> / Signifikant

Sowohl beim PM10 wie beim NO<sub>2</sub>, d.h. bei beiden Schadstoffen mit signifikantem Effekt der Baustelle auf das Jahresmittel der Belastung, entsteht der Effekt vorwiegend durch Beaufschlagung der Messstelle aus

einer sich insbesondere bei Schwachwindlagen bildenden "Luftschadstoffwolke" zu einem vom Emissionsverlauf unabhängigen Zeitpunkt.

Beim NO<sub>x</sub> ist hingegen die direkte Beaufschlagung wesentlich für den Effekt der Baustelle auf das Jahresmittel. Da aber in der "Luftschadstoffwolke" mit der Verdünnung auch eine Umwandlung von NO zu NO<sub>2</sub> stattfindet, ergibt sich im Vergleich zu den sekundären Stoffen ein deutlich reduzierter Beitrag zur Belastung. Insgesamt resultiert beim NO<sub>x</sub> ein im Jahresmittel nicht signifikanter Effekt.

### **Bauphase - Charakteristische Parameter der Baustelle in Bezug auf die Immissionen**

In Bezug auf die räumlichen Verhältnisse lassen sich die Baustellen in St. Gallen West durch die Fläche und die mittlere Entfernung zur Immissionsmessstelle charakterisieren.

Da die Transportkubatur des Stadions mit Einkaufszentrum majorisierend ist und die Baustelle "Stadion" deutlich näher als die meisten Strassenbaustellen liegt, kann die gerundete Transportkubatur und die Fläche der Stadionbaustelle zur Charakterisierung der Effekte der Gesamtheit aller Baustellen gemäss nachstehender Tabelle verwendet werden.

Stoff	Transportkubatur (Jahr)	Fläche	Distanz	Zusatzbeitrag zum Jahresmittel	
				Beobachtung	Signifikanz
NO <sub>x</sub>	500'000 m <sup>3</sup>	50'000 m <sup>2</sup>	150 m	1 - 2 ppb	Nicht signifikant
NO <sub>2</sub>				1 - 2 µg/m <sup>3</sup>	Knapp signifikant
PM10				4 - 5 µg/m <sup>3</sup>	Signifikant

Die ermittelten immissionsseitigen Kenngrössen lassen sich auf vergleichbare Baustellen übertragen, sofern zur Emissionsminderung ebenso wirksame Massnahmen wie im Falle St. Gallen West angeordnet werden und deren adäquate Umsetzung überwacht wird:

- Mindestanforderungen an die Baumaschinen (korrekte Ausrüstung und Wartung aller Maschinen und Geräte mit Verbrennungsmotoren, Dieselmotoren >18 kW nur mit Partikelfiltersystem, ...).
- Staubmindernde Massnahmen bei staubintensiven Arbeiten gemäss Stand der Technik. Insbesondere sind auch die Baupisten feucht zu halten oder zu befestigen.
- Verwendung umweltverträgliche Produkte für Oberflächenbehandlungen, Dichtungen und Anstriche.
- Information Baupersonal über Entstehung, Ausbreitung, Wirkung und Minderung von Luftschadstoffen.
- Sicherstellung der Umsetzung und Kontrolle der verfügbaren Massnahmen durch eine unabhängige ökologische Baubegleitung.

### **Ergebnisse für die Betriebsphase**

#### **Betriebsphase - Verkehr**

Durch die direkte Anbindung der publikumsintensiven Einrichtungen an die Nationalstrasse und die flankierenden Massnahmen konnten - trotz dem von den publikumsintensiven Einrichtungen induzierten Verkehr - relevante verkehrliche Zusatzbelastungen von Strassen in der Nähe von Wohnquartieren und Erholungsräumen vermieden werden bzw. es wurde sogar eine Entlastung in Bezug auf Verkehrswege in diesen sensiblen Umgebungen erzielt.

**Betriebsphase - Luftschadstoffe**

Aus den mit statistischen Methoden witterungsbereinigten kontinuierlichen Messungen am Standort Bild ergibt sich, dass das Einkaufszentrum AFG-Stadion bzw. der entsprechende induzierte Verkehr in Kombination mit den lufthygienischen Effekten der Umgestaltung des Nationalstrassenanschlusses St. Gallen Breitfeld folgende Wirkung auf die Luftschadstoffbelastung hatte:

Stoff	Witterungsbereinigter Effekt am Standort Bild
NO <sub>x</sub>	Abnahme um 3.0 ppb bzw. 5.7 µg/m <sup>3</sup>
NO <sub>2</sub>	Abnahme um 2.4 bis 2.7 µg/m <sup>3</sup>
PM10	Keine signifikante Veränderung

An den Standorten mit NO<sub>2</sub>-Passivsammlern resultierten folgende witterungsbereinigten Wirkungen:

Standortcharakteristik	Effekt auf NO <sub>2</sub>
Dominierender Einfluss von Strassen mit relevanter Verkehrsabnahme	Abnahme um 3 bis 7 µg/m <sup>3</sup>
Wesentlicher Einfluss von Strassen mit relevanter Verkehrsabnahme	Abnahme um 1 bis 3 µg/m <sup>3</sup>
Standorte vom Typ „Quartierhintergrund“ bzw. „Autobahnhintergrund“	Nicht signifikante Veränderungen

Damit wurden - trotz des von den publikumsintensiven Einrichtungen induzierten Verkehrs - bei den Luftschadstoffen relevante Zusatzbelastungen von Wohnquartieren und Erholungsräumen vermieden bzw. die Belastung in solchen Gebieten konnte teilweise sogar reduziert werden.

In den Gebieten mit einer Luftschadstoffhintergrundbelastung, welche von der deutlich mehr Verkehr aufweisenden Nationalstrasse geprägt ist, bleiben die Veränderungen gering. Dies ist darauf zurück zu führen, dass die aus dem kanalisierten Mehrverkehr resultierenden höheren Emissionen zu einem wesentlichen Teil durch die lufthygienisch günstige Wirkung der im Rahmen der Umgestaltung des Anschlusses herabgesetzten Geschwindigkeitslimiten kompensiert werden.

Die Messungen haben damit den Nachweis erbracht, dass die lufthygienischen Auswirkungen der neuen publikumsintensiven Einrichtungen in Bezug auf Zusatzbelastung und räumliche Ausdehnung optimal beschränkt werden konnten.

**Betriebsphase - Immissionsprognosen**

Der Vergleich der Immissionsprognosen mit den Messungen zeigt, dass die Prognosen im Fall St. Gallen West insgesamt sowohl für NO<sub>x</sub> wie für NO<sub>2</sub> - bei Interpretation unter Beachtung der systembedingten Einschränkungen - realitätsnah sind. Die Prognosen erweisen sich - im Rückblick - als adäquate Grundlage für eine Bewertung der mit den Vorhaben in St. Gallen West resultierenden lufthygienischen Effekte.

**Betriebsphase - Ausblick**

Das Ziel des Projekts, die lufthygienische Situation in dem sich mit dem Bau eines neuen Stadions mit Einkaufszentrum stark entwickelnden Gebiet St. Gallen West im Vergleich zur prognostizierten Emissions- bzw. Immissionsentwicklung zu erfassen und die bei den Prognosen getroffenen Annahmen bzw. die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen in der Betriebsphase der Vorhaben zu überprüfen, wurde erreicht.

Grundsätzlich wäre es interessant, die Untersuchungen mit einer zweiten Nachhermessung in einem zeitlichen Abstand von 5 Jahren zu ergänzen, um die mittelfristigen Auswirkungen der Vorhaben zu erfassen. In dem sich rasch entwickelnden Gebiet St. Gallen West, in dem immer wieder neue Emissionsquellen entstehen, stellt dies aber leider keine realistische Option dar.



# 1 Einleitung

## 1.1 Zielsetzungen

OSTLUFT hat zwischen Juni 2004 und Februar 2009 im Rahmen des Projektes "Immissionsmessungen St. Gallen West" die Luftqualität mit einer mobilen Messstation an der Station St. Gallen Bild (vgl. Anhang A: Standortdatenblatt Messstation St. Gallen Bild, 5.1) und mit einem verdichteten Passivsammlermessnetz in den umliegenden Quartieren gemessen.

Mit dem Projekt wurde das Ziel verfolgt, die lufthygienische Situation in diesem sich insbesondere mit dem Bau eines neuen Stadions mit Einkaufszentrum stark entwickelnden und durch die Verkehrsverlagerungen im Zusammenhang mit der Umgestaltung des Nationalstrassenanschlusses St. Gallen Breitfeld der Autobahn A1 in hohem Masse beeinflussten Gebiet im Vergleich zur prognostizierten Emissions- bzw. Immissionsentwicklung zu erfassen.

Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der Validierung der bei den Prognosen getroffenen Annahmen zur Entwicklung des Verkehrs, der Emissionen bzw. Immissionen sowie der Annahmen in Bezug auf die Wirksamkeit der umgesetzten emissionsmindernden Massnahmen in der Bau- und Betriebsphase der Vorhaben dargestellt.

## 1.2 Schlüsse aus der Überprüfung des Untersuchungsdesigns

Die für das Projekt gesetzten Ziele waren ambitiös und hätten grundsätzlich ein ausserordentlich sorgfältiges "Design der Untersuchung" erfordert, wie es in der Regel auf Grundlage eines Pilotprojekts festgelegt wird. Im vorliegenden Fall war es aus Zeitgründen nicht möglich, eine Pilotphase durchzuführen.

Das Design beim Projekt "Immissionsmessungen St. Gallen West" wurde deshalb nach der ersten Messphase überprüft. Die Details der Überprüfung sind im Zwischenbericht zur Projektphase A dargestellt und in Kapitel 6 „Beilage: Resultate der Abklärung des Einflusses der Bauemissionen“ zusammengefasst.

Es ergaben sich folgende zentrale Schlussfolgerungen:

- Die Witterungseinflüsse auf die Messung am Standort Bild sind mittels eines Korrelationsprognosemodells, welches auf drei Referenzstationen beruht, auf Grund der statistisch signifikanten Korrelation der Messungen zu einem grossen Teil eliminierbar.
- Die Prognose der Immissionen an der Station Bild weist einen ausreichend kleinen „Prognosefehler“ auf, damit die erwarteten standortspezifischen Änderungen der Immissionsbelastung in der Betriebsphase für NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> sowie - falls die erwarteten Effekte übertroffen werden - auch für PM10 detektiert werden können.
- Eine semiquantitative Aussage zum Einfluss der Bauaktivitäten auf die Messung an der Station Bild ist realistisch.



## 2 Ergebnisse für die Bauphase

Die Ergebnisse der Abklärungen zu den Effekten in der Bauphase sind im Detail im Zwischenbericht zu Projektphase B dargestellt und in Kapitel 7 „Beilage: Resultate der Abklärung des Einflusses der Bauemissionen“ zusammengefasst.

Die wichtigsten Schlussfolgerungen sind nachstehend in 2.1 und 2.2 dargestellt.

### 2.1 Einfluss der Baustellenemissionen auf die Immissionen

Für die Abklärungen des Baustelleneinflusses wird das Korrelationsmodell für die Betriebsphase, welches in Bezug auf den Windeinfluss nicht differenziert ist, verwendet.

Für den Zeitraum Dezember 2005 bis November 2006, die „reine“ Bauphase, ergibt sich eine signifikante Zusatzbelastung bei PM10, eine knapp signifikante Zusatzbelastung bei NO<sub>2</sub> und eine nicht signifikante Zusatzbelastung bei NO<sub>x</sub> (Tabelle 1).

Tabelle 1: Differenz zwischen den mittels Korrelationsmodell resultierenden Prognosen und den tatsächlichen Messungen für die Bauphase sowie mittels Korrelationsmodell verlässlich detektierbare Unterschiede

Stoff	Periode	Messung	Korrelationsmodell		Differenz / Beurteilung
			Prognose	Detektierbar	
NO <sub>x</sub>	Dezember 2005 November 2006	30.6 ppb	30.3 ppb	> 2.5 ppb	0.3 ppb / Nicht signifikant
NO <sub>2</sub>	Dezember 2005 November 2006	32.6 µg/m <sup>3</sup>	31.1 µg/m <sup>3</sup>	> 1.5 µg/m <sup>3</sup>	1.5 µg/m <sup>3</sup> / Knapp signifikant
PM10	Dezember 2005 November 2006	24.9 µg/m <sup>3</sup>	20.2 µg/m <sup>3</sup>	> 2 µg/m <sup>3</sup>	4.7 µg/m <sup>3</sup> / Signifikant

Sowohl beim PM10 wie beim NO<sub>2</sub>, d.h. bei beiden Schadstoffen mit signifikantem Effekt der Baustelle auf das Jahresmittel der Belastung, entsteht der Effekt vorwiegend durch Beaufschlagung der Messstelle aus einer sich insbesondere bei Schwachwindlagen bildenden "Luftschadstoffwolke" zu einem vom Emissionsverlauf unabhängigen Zeitpunkt.

Beim NO<sub>x</sub> ist hingegen die direkte Beaufschlagung wesentlich für den Effekt der Baustelle auf das Jahresmittel. Da aber in der "Luftschadstoffwolke" mit der Verdünnung auch eine Umwandlung von NO zu NO<sub>2</sub> stattfindet, ergibt sich im Vergleich zu den sekundären Stoffen ein deutlich reduzierter Beitrag zur Belastung. Insgesamt resultiert beim NO<sub>x</sub> ein im Jahresmittel nicht signifikanter Effekt.

## 2.2 Charakteristische Parameter der Baustelle in Bezug auf die Immissionen

Als geeignete charakteristische Grössen in Bezug auf die Emissions-/Immissionsrelevanz der Baustellen konnten die Transportkubaturen identifiziert werden. Die entsprechenden für die Bauphase berechneten Werte sind

- Gesamttransportkubatur: 637'314 m<sup>3</sup>
- Transportkubatur Stadion mit Einkaufszentrum: 494'045 m<sup>3</sup>
- Transportkubatur Strassen: 143'269 m<sup>3</sup>

In Bezug auf die räumlichen Verhältnisse kann eine Baustelle am Besten durch die Fläche und die mittlere Entfernung zur Immissionsmessstelle charakterisiert werden.

Da die Transportkubatur der Strassenbaustellen in der betrachteten Phase deutlich kleiner als diejenige des Stadions mit Einkaufszentrum ist und die Baustelle "Stadion" deutlich näher als die meisten Strassenbaustellen liegt, wird in Tabelle 2 die gerundete Transportkubatur und die Fläche der Stadionbaustelle zur Charakterisierung der Effekte der Gesamtheit aller Baustellen verwendet.

Tabelle 2: Kenngrössen für den Zusammenhang zwischen Transportkubatur, Baustellenfläche sowie Distanz Baustelle - Immissionsmessstelle und den resultierenden Zusatzimmissionen bei der Baustelle Stadion mit Einkaufszentrum St. Gallen West.

Stoff	Transportkubatur (Jahr)	Fläche	Distanz	Zusatzbeitrag zum Jahresmittel	
				Beobachtung	Signifikanz
NO <sub>x</sub>	500'000 m <sup>3</sup>	50'000 m <sup>2</sup>	150 m	< 1 ppb	Nicht signifikant
NO <sub>2</sub>				1 - 2 µg/m <sup>3</sup>	Knapp signifikant
PM10				4 - 5 µg/m <sup>3</sup>	Signifikant

Die ermittelten immissionsseitigen Kenngrössen können mit der nötigen Vorsicht auf vergleichbare Baustellen übertragen werden, sofern ähnliche Vorkehren zur Emissionsminderung wie im Falle von St. Gallen West getroffen werden. Dies waren insbesondere folgende Massnahmen:

- Mindestanforderungen an die Baumaschinen (korrekte Ausrüstung/Wartung aller Maschinen/Geräte mit Verbrennungsmotoren, Dieselmotoren >18 kW nur mit Partikelfilter, ...).
- Staubmindernde Massnahmen bei staubintensiven Arbeiten gemäss Stand der Technik. Insbesondere Baupisten feucht halten oder befestigen und Ausfahrten ins öffentliche Strassennetz mit Radwaschanlagen.
- Verwendung umweltverträglicher Produkte für Oberflächenbehandlung, Anstriche, usw.
- Schulung des Baupersonals über Entstehung, Ausbreitung, Wirkung und Minderung von Luftschadstoffen auf Baustellen.
- Sicherstellung der Umsetzung und Kontrolle der verfügbaren Massnahmen durch eine unabhängige ökologische Baubegleitung.

### **3 Ergebnisse für die Betriebsphase**

#### **3.1 Vorgehen**

Die Ergebnisse der kontinuierlichen Messungen für die Betriebsphase werden in Relation gesetzt zu den Immissionsbelastungen, welche mit dem in der Designphase etablierten Korrelationsprognosemodell berechnet werden.

Auf Grundlage des Korrelationsmodells wird dabei aus dem Jahresmittel der Luftschadstoffbelastungen an den Referenzstationen der theoretische Jahresmittelwert an der Station Bild bestimmt. Dieser Korrelationsmodellwert stellt die Prognose für die Luftbelastung im Westen der Stadt St. Gallen dar, welche sich bei einer durchschnittlichen Emissionsentwicklung bzw. falls die Emissionsentwicklung der mittleren Entwicklung der Referenzstationen entsprechen würde unter Berücksichtigung der Witterung einstellt (vgl. B 2.1 'Korrelationsmodell' Seite 6-5).

Durch Bildung der Differenz zwischen der tatsächlich gemessenen und der mit dem Korrelationsmodell bestimmten Immissionsbelastung ergeben sich die durch die Inbetriebnahme der zwischen 2004 und 2008 realisierten Bauten verursachten Änderungen der Immissionsbelastung.

Die Passivsammlermessungen im Gebiet werden für den Vergleich „Vorher - Nachher“ in Bezug auf die durchschnittliche Emissionsentwicklung und den Witterungseinfluss auf Basis des Quotienten zwischen der theoretischen Immissionsbelastung im Nachher-Zustand und der gemessenen Immissionsbelastung im Vorher-Zustand korrigiert. Zur Kontrolle wird diese Bereinigung auch auf Passivsammler in der Stadt St. Gallen angewandt, welche nicht im Gebiet liegen und bei denen die Vorher- und Nachher-Messungen sich somit stark angleichen sollten.

Die im Vorfeld der Vorhaben der Bauvorhaben erstellten Immissionsprognosen werden unter Berücksichtigung der Verschiebung des Zeitpunkts der Inbetriebnahme um rund 4 Jahre und auf Grundlage der mittels Verkehrszählungen neukalibrierten Verkehrsmodellresultate aktualisiert.

Die Ergebnisse der (bereinigten) Messungen werden schliesslich mit den Resultaten der aktuellen Immissionsprognosen verglichen und in Bezug auf die Zielerreichung bewertet.

#### **3.2 Messnetz**

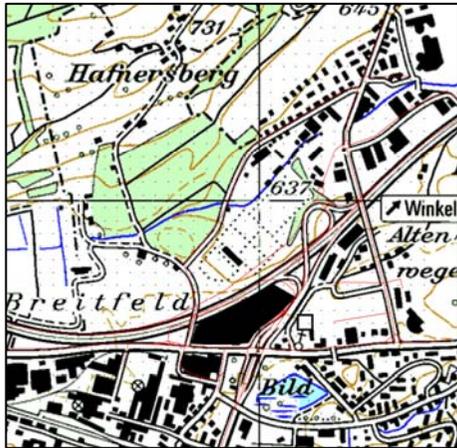
Das für die Untersuchungen etablierte Messnetz ist in Abbildung 1 (Seite 10) dargestellt. Es besteht aus einer Messstation mit kontinuierlicher Erfassung der Luftschadstoffe und der meteorologischen Parameter und neun Passivsammlerstandorten zur Messung von NO<sub>2</sub>.

#### **3.3 Emissionsmonitoring**

Das für das Emissionsmonitoring zur Verfügung stehende Verkehrsmodellnetz und das zur Kalibration der entsprechenden Verkehrsmodellresultate dienende Verkehrszählnetz sind in Abbildung 2 (Seite 11) dargestellt. Die Modellresultate wurde vom Büro Roland Müller, Küssnacht, im Auftrag des Tiefbauamtes des Kantons St. Gallen erarbeitet.

Die Resultate der Verkehrszählungen stammen aus den Verkehrszählnetzen des Bundes, des Kantons St. Gallen und der Stadt St. Gallen.

Abbildung 1: Überblick St. Gallen West mit Messstation Bild und Passivsammlerstandorten



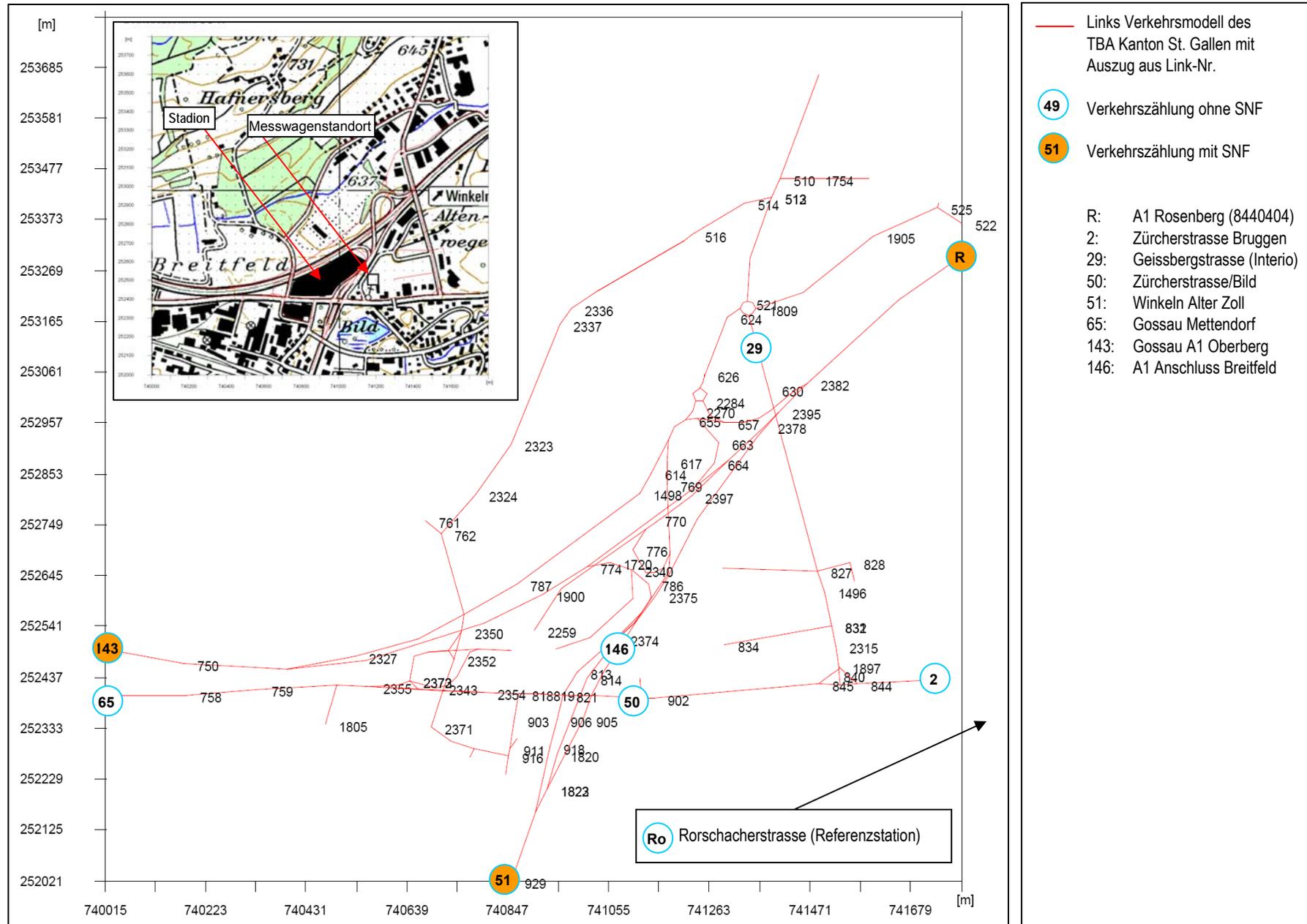
Legende:

Messstation Bild 

Passivsammlerstandorte 



Abbildung 2: Übersicht zum Emissionsmonitoring für die Betriebsphase mit Situation Messwagen und Stadion



### **3.4 Aktualisierung der Immissionsprognose**

#### **3.4.1 Vorgehen**

Die Immissionsprognose für die Vorhaben in St. Gallen West wurde im Jahr 2000 im Rahmen eines UVBs für den ursprünglich ins Auge gefassten Inbetriebnahmezeitpunkt der publikumsintensiven Einrichtungen, das Jahr 2004 erstellt. Im Zentrum der Betrachtung stand damals ausschliesslich die Veränderung der Luftbelastung durch diese Bauten. Die mit dem Umbau des Nationalstrassenanschlusses St. Gallen Bereitfeld verbundenen Belastungsänderungen wurden dem Ausgangszustand zugeschlagen.

Für den Vergleich mit den Messresultaten der Luftqualitätsüberwachung wurde für das Projekt Immissionsmessungen St. Gallen West die Prognose einerseits auf die kombinierte Wirkung des Umbaus des Nationalstrassenanschlusses und der Inbetriebnahme der publikumsintensiven Einrichtungen erweitert.

Andererseits erfolgte eine Aktualisierung in Bezug auf den tatsächlichen Zeitpunkt der Inbetriebnahme 2008 sowie auf die die geringere als ursprünglich erwartete Verkehrserzeugung der publikumsintensiven Nutzungen in St. Gallen West (Verkauf im Stadion und OBI).

#### **3.4.2 Verkehrsmodellresultate**

Die Verkehrsdaten wurden durch BR-P AG mit Hilfe der Zählresultate soweit kalibriert, dass eine Übereinstimmung mit den Zählungen innerhalb von 2000 Fahrzeugen pro Tag und/oder 5% des DTV gegeben ist.

Die Tabelle 3 zeigt die Verkehrsmodellresultate vor Neukalibration im Vergleich zu den Zählungen. In Tabelle 4 ist die Situation nach erfolgter Kalibration dargestellt.

Die Abweichungen zwischen Modell und Zählungen nach Neukalibration sind genügend klein für einen verlässlichen Vergleich zwischen Messung und Prognose in Bezug auf die Luftschadstoffe.

Zudem kann festgehalten werden, dass nicht zu erwarten ist, dass die Schlussfolgerungen in Bezug auf die Immissionsbelastungssituation bei einer zukünftig sich noch erhöhenden (aber aus heutiger Sicht kaum das ursprünglich erwartete Ausmass erreichenden) Verkehrserzeugung relevant beeinflusst werden<sup>1</sup>. Dies lässt sich aus der Tatsache schliessen, dass die grösste absolute Abweichung in Bezug auf das für die verminderte Verkehrserzeugung nicht bereinigte Verkehrsmodell von rund 4000 Fahrzeugen/Tag bei der Nationalstrasse mit einem DTV von rund 70'000 Fahrzeugen/Tag auftritt und damit Auswirkungen deutlich innerhalb der Prognoseunsicherheit zu erwarten sind (vgl. Tabelle 3).

<sup>1</sup> Gemäss Tagblatt vom 30.05.08 prognostiziert das Tiefbauamt der Stadt St. Gallen im Vollbetrieb 8'600 Fahrten pro Tag statt der ursprünglich angenommenen 15'000 Fahrten pro Tag.

Tabelle 3: Verkehr als DTV aus Modell und Zählungen ohne Neukalibration Modell

		2004			2008			
Zählstelle		Modell DTV	Zählung DTV	Zählung SNF	Modell DTV	Zählung DTV	Zählung SNF	Bemerkungen
Nr.	Name	Fz/Tg	Fz/Tg	%	Fz/Tg	Fz/Tg	%	
143	Gossau A1 Oberberg	46'300	46'448	7.2	50'400	50'481	6	
65	Gossau Mettendorf	19'300	16'613		18'238	16'870		
146	Anschluss Breiffeld	39'600	36'753		29'510	27'230		
50	Zürcherstrasse/Bild	26'000	22'584		23'988	21'198		
29	Geissbergstrasse	17'333	17'319		12'609	11'369		
2	St. Gallen Bruggen	18'900	22'100		20'299	21'959		
R	A1 Rosenberg	64'100	65'036	4.1	74'621	70'589	4.1	Modellwert nicht am gleichen Link
	Herisauer Strasse	10'727			4'494			
	Winkeln - Nord	21'200		3.9	27'340		2.8	
	Hafnersberg	2'909			2'109			
Ro	Rorschacherstrasse		14'922			14'684		

		2004			2008			
Zählstelle		Modell DTV	Zählung DTV	Zählung SNF	Modell DTV	Zählung DTV	Zählung SNF	Bemerkungen
Nr.	Name	Fz/Tg	Fz/Tg	%	Fz/Tg	Fz/Tg	%	
143	Gossau A1 Oberberg	100%	100%	100%	109%	109%	83%	
65	Gossau Mettendorf	100%	100%		94%	102%		
146	Anschluss Breiffeld	100%	100%		75%	74%		
50	Zürcherstrasse/Bild	100%	100%		92%	94%		
29	Geissbergstrasse	100%	100%		73%	66%		
2	St. Gallen Bruggen	100%	100%		107%	99%		
R	A1 Rosenberg	100%	100%	100%	116%	109%	100%	Modellwert nicht am gleichen Link
	Herisauer Strasse	100%			42%			
	Winkeln - Nord	100%		100%	129%		72%	
	Hafnersberg	100%			73%			
Ro	Rorschacherstrasse		100%			100%		

Tabelle 4: Verkehr als DTV aus Modell und Zählungen mit Neukalibration Modell

		2004			2008			
Zählstelle		Modell DTV	Zählung DTV	Zählung SNF	Modell DTV	Zählung DTV	Zählung SNF	Bemerkungen
Nr.	Name	Fz/Tg	Fz/Tg	%	Fz/Tg	Fz/Tg	%	
143	Gossau A1 Oberberg	46'300	46'448	7.2	49'529	50'481	6	
65	Gossau Mettendorf	19'300	16'613		17'570	16'870		
146	Anschluss Breiffeld	39'600	36'753		29'201	27'230		
50	Zürcherstrasse/Bild	26'000	22'584		22'873	21'198		
29	Geissbergstrasse	17'333	17'319		11'512	11'369		
2	St. Gallen Bruggen	18'900	22'100		19'422	21'959		
R	A1 Rosenberg	64'100	65'036	4.1	71'756	70'589	4.1	Modellwert nicht am gleichen Link
	Herisauer Strasse	10'727			4'474			
	Winkeln - Nord	21'200		3.9	26'583		2.8	
	Hafnersberg	2'909			2'091			
Ro	Rorschacherstrasse		14'922			14'684		

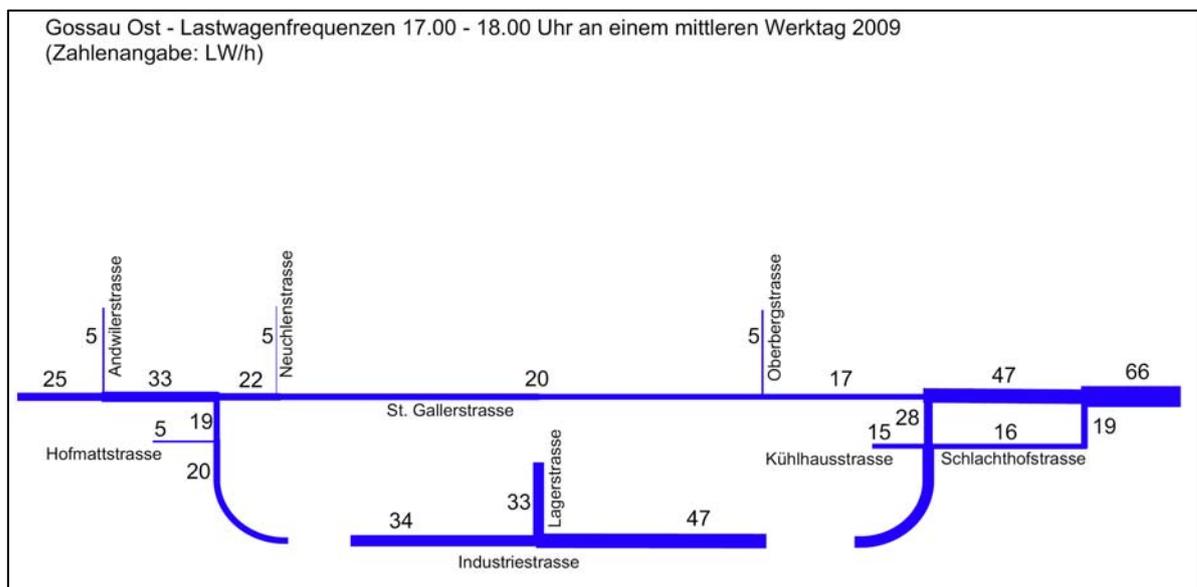
		2004			2008			
Zählstelle		Modell DTV	Zählung DTV	Zählung SNF	Modell DTV	Zählung DTV	Zählung SNF	Bemerkungen
Nr.	Name	Fz/Tg	Fz/Tg	%	Fz/Tg	Fz/Tg	%	
143	Gossau A1 Oberberg	100%	100%	100%	107%	109%	83%	
65	Gossau Mettendorf	100%	100%		91%	102%		
146	Anschluss Breiffeld	100%	100%		74%	74%		
50	Zürcherstrasse/Bild	100%	100%		88%	94%		
29	Geissbergstrasse	100%	100%		66%	66%		
2	St. Gallen Bruggen	100%	100%		103%	99%		
R	A1 Rosenberg	100%	100%	100%	112%	109%	100%	Modellwert nicht am gleichen Link
	Herisauer Strasse	100%			42%			
	Winkeln - Nord	100%		100%	125%		72%	
	Hafnersberg	100%			72%			
Ro	Rorschacherstrasse		100%			100%		

### 3.4.3 Schwerverkehr

In Bezug auf den Schwerverkehr, welcher einen überproportionalen Beitrag zu den Luftschadstoffemissionen verursacht, wurden durch das Tiefbauamt im Rahmen eines anderen Projektes Zählungen in der Abendspitzenstunde durchgeführt (Abbildung 3).

Da die Zählstellen aber ausserhalb des Prognosegebiets liegen, dienten die Ergebnisse ausschliesslich zu einer generellen Plausibilisierung.

Abbildung 3: Zählungen SNF 2009



### 3.4.4 Folgerungen aus beobachteten/prognostizierten Veränderungen des Verkehrs

Die Veränderungen der Verkehrsbelastung mit Inbetriebnahme der publikumsintensiven Einrichtungen in St. Gallen West Verkehrsdaten sind in Abbildung 4 in der Übersicht dargestellt.

Es zeigt sich, dass der Verkehr durch die direkte Anbindung der publikumsintensiven Einrichtungen an die Nationalstrasse und die flankierenden Massnahmen erfolgreich weitgehend auf die A1 kanalisiert werden konnte. Damit konnten relevante Zusatzbelastungen von Strassen in der Nähe von Wohnquartieren und Erholungsräumen vermieden werden bzw. es wurde sogar eine Entlastung in Bezug auf Verkehrswege in diesen sensitiven Umgebungen erzielt.

Auf Grund von einzelnen Zählergebnissen - insbesondere derjenigen an der Zürcherstrasse in Bruggen - scheint sogar eine grössere Kanalisierungswirkung erzielt worden zu sein, als erwartet (Abbildung 4).

Abbildung 4: Verkehr (DTV) im Gebiet St. Gallen West nach Neukalibration Modell

Bemerkungen:

Verkehrszählungen  
(soweit vorhanden)  
und Modellresultate  
im Nahbereich der Messstellen

Absolutwerte vgl. Tabelle 4

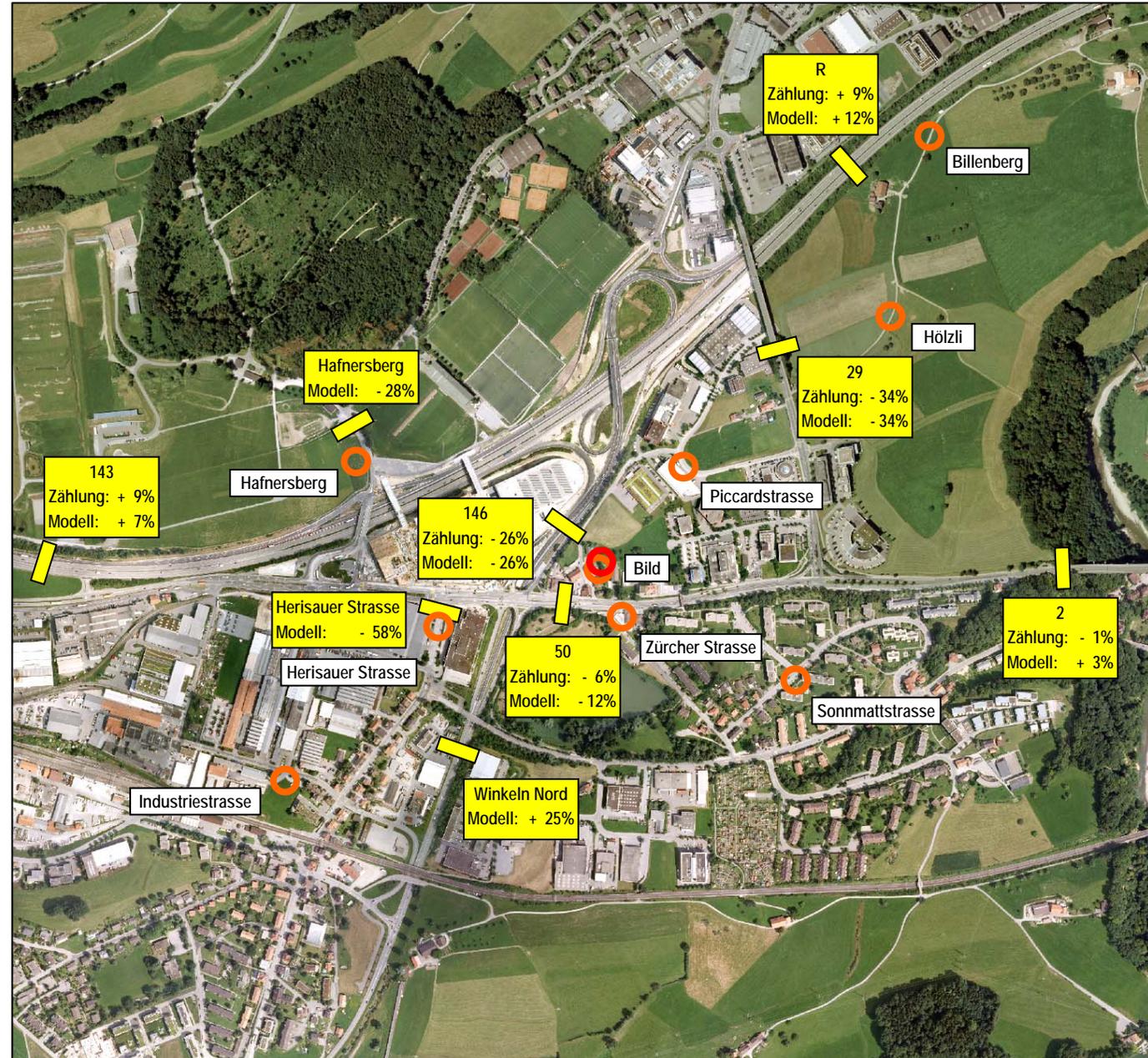
Legende:

Messstation Bild 

Passivsammlerstandorte 

Querschnitte Verkehr 

- R: A1 (Rosenberg)
- 2: Zürcherstrasse Bruggen
- 29: Geissbergstrasse
- 50: Zürcherstrasse/Bild
- 143: Gossau A1 Oberberg
- 146: A1 Anschluss Breitfeld



In Bezug auf die Messstation St. Gallen Bild ergibt sich, dass - mit Ausnahme der A1 - alle benachbarten Strassen um von rund 5% bis über 30% entlastet wurden. D.h. es ist - wie in den ursprünglichen Immissionsprognosen - auch im Rahmen der Aktualisierung eine entsprechende immissionsseitige Entlastung zu erwarten.

Ähnliche Schlussfolgerungen lassen sich auch für die schwergewichtig in den Wohngebieten und Erholungszonen angeordneten Passivsammler ziehen.

Dabei ist natürlich nicht eine proportionale Wirkung zu erwarten, da die Entlastungen nur den von der entsprechenden Strasse verursachten Teil der Gesamtbelastung betreffen und insbesondere beim NO<sub>2</sub> zusätzliche Nichtlinearitäten in Folge der Umwandlung des primär emittierten NO<sub>x</sub> in NO<sub>2</sub> zu berücksichtigen sind.

### **3.4.5 Grundsätzliche Aspekte und Einschränkungen/Sensitivitäten der Immissionsprognose**

#### *3.4.5.1 Grundsätzliche Aspekte*

Die im Rahmen dieser Untersuchung erarbeitete Immissionsprognose unterscheidet sich massgebend von denjenigen, welche im Rahmen von Umweltverträglichkeitsberichten erstellt werden.

Im Rahmen von UVBs ist entscheidend, welche Veränderung der Belastung durch das unter Betrachtung stehende Vorhaben zu einem bestimmten Zeitpunkt verursacht wird. D.h. es wird in erster Linie der Betriebszustand mit Vorhaben in einem bestimmten Jahr mit dem hypothetischen Zustand ohne Vorhaben im gleichen Jahr - dem Ausgangszustand - verglichen. Im Vordergrund steht damit die relative Veränderung durch das Vorhaben.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung stellt sich ein deutlich komplexeres Problem. Es ist zu prognostizieren, welche Veränderung der Immissionsbelastung sich durch die kombinierten Effekte folgender Variablen ergeben:

- Veränderung der Emissionen auf allen Stecken in Folge sinkender Emissionsfaktoren der Fahrzeuge zwischen 2004 und 2008
- Veränderung der Emissionen auf gewissen Stecken (insbesondere Nationalstrasse) in Folge Anpassung des Geschwindigkeitsregimes
- Veränderung der Hintergrundbelastungen in Folge weiträumiger Emissionsentwicklung
- Veränderung der Verkehrsbelastung auf allen Strecken in Folge der allgemeinen Verkehrsentwicklung
- Veränderung der Verkehrsbelastung auf allen Strecken in Folge der Änderung des Strassennetzes durch den Umbau des Autobahnknotens
- Veränderung der Verkehrsbelastung auf allen Strecken in Folge der Inbetriebnahme der publikumsintensiven Einrichtungen St. Gallen West

Die zu erwartenden Prognose-Unsicherheiten sind damit deutlich grösser bzw. die Prognosegenauigkeit ist deutlich eingeschränkter als bei UVBs. Dies muss bei der Interpretation der Resultate beachtet werden.

#### 3.4.5.2 *Einschränkungen/Sensitivitäten*

Wie bei allen Immissionsprognosen ergeben sich Einschränkungen/Sensitivitäten, welche bei der Interpretation zu beachten sind.

Vorerst ist zu beachten, dass von der Immissionsprognose keine punktgenauen Aussagen erwartet werden können. Die Resultate sind als Aussagen in Bezug auf Flächenbereiche zu interpretieren. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass beim Strassenimmissionsprognosemodell weder die Topographie noch die Bebauung berücksichtigt ist. Die Topographie spielt insbesondere im nahen Quellenumfeld aber eine grosse Rolle in Bezug auf die Ausbreitung. Beispielsweise ergeben sich bei Einschnitten oder in Bereichen mit Wällen Diskontinuitäten in Bezug auf den lateralen Schadstoffverlauf, d.h. ein flacherer Abfall aber auf tieferem Niveau ist zu erwarten.

Die Beschränkung der räumlichen Aussagekraft gilt in besonderem Masse im vorliegenden Fall, in dem ein sehr grosses Prognosegebiet vorliegt, womit die räumliche Auflösung aus Aufwandgründen geringer als im Normalfall bleiben muss.

Eine ähnliche Aussage gilt auch für die Abschirmwirkung von Gebäuden. Natürlich sind auch in Bezug auf das Windfeld keine quellennahen Effekte - wie z.B. Rotoren im Bereich von Gebäuden - berücksichtigt.

Grundsätzlich könnten viele dieser Effekte durch den Einsatz entsprechend komplexer Modelle berücksichtigt werden, aber das Kosten-Nutzen-Verhältnis für die Verwendung solcher Modelle wurde - zu Recht - in der Vergangenheit nur in ganz seltenen Fällen bejaht.

Bei Beachtung des Grundsatzes, dass die Resultate keine punktgenauen Aussagen darstellen, sondern unter Berücksichtigung der Modellsensitivitäten flächenhaft zu interpretieren sind, können die notwendigen Folgerungen auch aus den Ergebnissen von standardmässig eingesetzten Modellen mit hoher Verlässlichkeit gezogen werden.

Eine wesentliche weitere Sensitivität, welche nicht im Zusammenhang mit der Ausbreitung steht, ergibt sich aus den Verkehrsanteilen der Schwere Nutzfahrzeuge (SNF).

Obwohl der Einfluss der SNF auf die streckenbezogenen Emissionen sehr hoch ist, ist die Datenlage in Bezug auf die entsprechenden Anteile in der Regel unbefriedigend. Sehr viele Verkehrsprognosen und auch Verkehrszählungen beschränken sich auf den Gesamtverkehr oder den Personenwagenverkehr.

Im vorliegenden Fall wurden zusätzliche Erhebungen zum SNF-Verkehr durchgeführt. Trotzdem bleibt die Unsicherheit noch relativ hoch.

Die Sensitivität der Resultate in Bezug auf den Anteil der SNF am Gesamtverkehr ist in Tabelle 5 illustriert.

Tabelle 5: NO<sub>x</sub>-Emissionen in Abhängigkeit des Anteils SNF für einen Abschnitt der Zürcherstrasse mit VS-Einstufung als IO\_HVS\_3 gemäss HBEFA 2.1

VS		IO_HVS_3		HBEFA 2.1
EF	PW	0.222	Basis	Basis 2008
EF	SNF	10.081	40t/Euro3,4,5/GV	Basis 2008
Code		B		

ID	Länge [km]	V [km/h]	DTV [Fz/Tg]	VS Code	LW Anteil [%]	PW [Fz/Tg]	SNF [Fz/Tg]	EF PW [g/km]	EF SNF [g/km]	Emission PW [kg/a]	Emission SNF [kg/a]	Gesamtemission [kg/a]	Gesamtemission [%]
901	0.340	60	22'687	B	1	22'460	227	0.222	10.081	620	284	904	45%
901	0.340	60	22'687	B	2	22'233	454	0.222	10.081	613	568	1'181	59%
901	0.340	60	22'687	B	3	22'006	681	0.222	10.081	607	851	1'459	72%
901	0.340	60	22'687	B	4	21'780	907	0.222	10.081	601	1'135	1'736	86%
901	0.340	60	22'687	B	5	21'553	1'134	0.222	10.081	595	1'419	2'014	100%
901	0.340	60	22'687	B	6	21'326	1'361	0.222	10.081	588	1'703	2'291	114%
901	0.340	60	22'687	B	7	21'099	1'588	0.222	10.081	582	1'987	2'569	128%
901	0.340	60	22'687	B	8	20'872	1'815	0.222	10.081	576	2'271	2'846	141%
901	0.340	60	22'687	B	9	20'645	2'042	0.222	10.081	570	2'554	3'124	155%
901	0.340	60	22'687	B	10	20'418	2'269	0.222	10.081	563	2'838	3'402	169%

Geht man davon aus, dass Schätzungen des SNF-Anteils auf ± 1% erfolgen, resultiert in Bezug auf die Emissionen eine Differenz von 30%. Es ist aber ohne weiteres vorstellbar, dass z.B. ein Anteil SNF von 8% statt 4% geschätzt wird, was dann in einer Abweichung von gegen 65% resultiert. Dies belegt, dass diesem Aspekt bei der Datenerhebung in Zukunft eine entscheidende Rolle zukommt.

### 3.4.6 Resultate der aktualisierten Immissionsprognose

Die Resultate der auf Basis der rekalierten Verkehrsmodellresultate und den Emissionsfaktoren gemäss Handbuch des BAFU mit Immprog erarbeitet wurden sind in Abbildung 5 (Seite 19) für NO<sub>2</sub> dargestellt. Die Veränderung der Belastung zwischen Nachher- und Vorher-Zustand ist in Abbildung 6 (Seite 20) für NO<sub>x</sub> und in Abbildung 7 (Seite 21) für NO<sub>2</sub> dargestellt.

Unter Beachtung des in 3.4.5.2 dargelegten Grundsatzes, dass die Resultate keine punktgenauen Aussagen darstellen, sondern unter Berücksichtigung der Modellsensitivitäten flächenhaft zu interpretieren sind, werden in Bezug auf die Belastung mit NO<sub>2</sub> sowie die Veränderung beim NO<sub>x</sub> und beim NO<sub>2</sub> zwischen Vorher- und Nachher-Zustand die Standorte der Messungen als Bereiche ausgeschieden und „Von - bis - Werte“ aus den Graphiken bestimmt.

Es ergibt sich für den Standort der kontinuierlichen Messstation Bild, dass für NO<sub>x</sub> eine Abnahme um 4 bis 10 µg/m<sup>3</sup> (vgl. Abbildung 6; Seite 20) und bei NO<sub>2</sub> eine Abnahme um 2 bis 4 µg/m<sup>3</sup> (vgl. Abbildung 7, Seite 21) prognostiziert wird.

Beim PM10 kann auf Grundlage der NO<sub>2</sub>-Abnahme unter Anwendung eines Regressions-Modells von BR-P eine Abnahme um 0.5 bis 1.1 µg/m<sup>3</sup> erwartet werden.

Abbildung 5: Immissionsprognose NO<sub>2</sub> für den Nachher-Zustand 2008

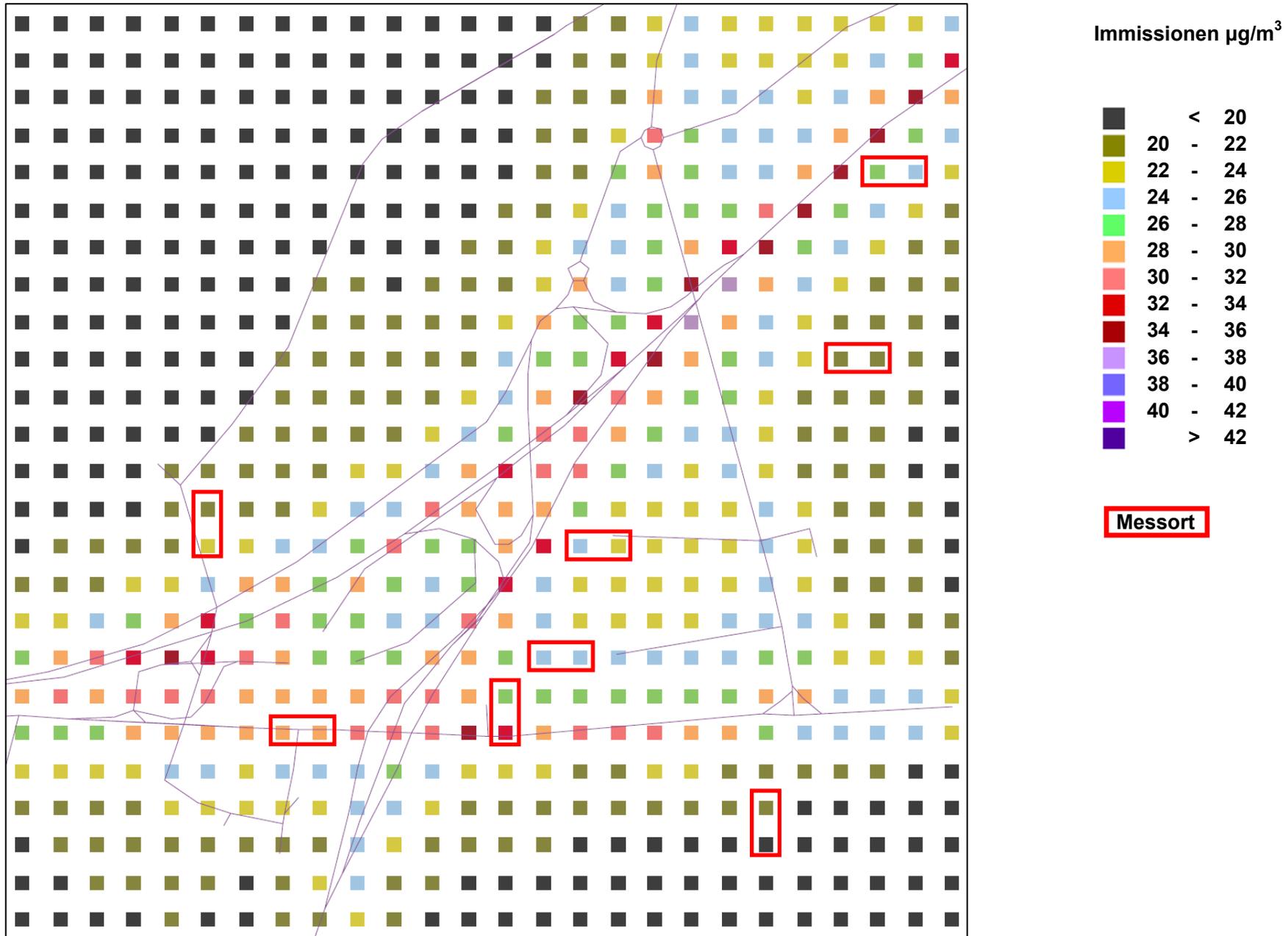


Abbildung 6: Differenz Immissionsprognose NO<sub>x</sub> zwischen Nachher-Zustand 2008 und Vorher-Zustand 2004

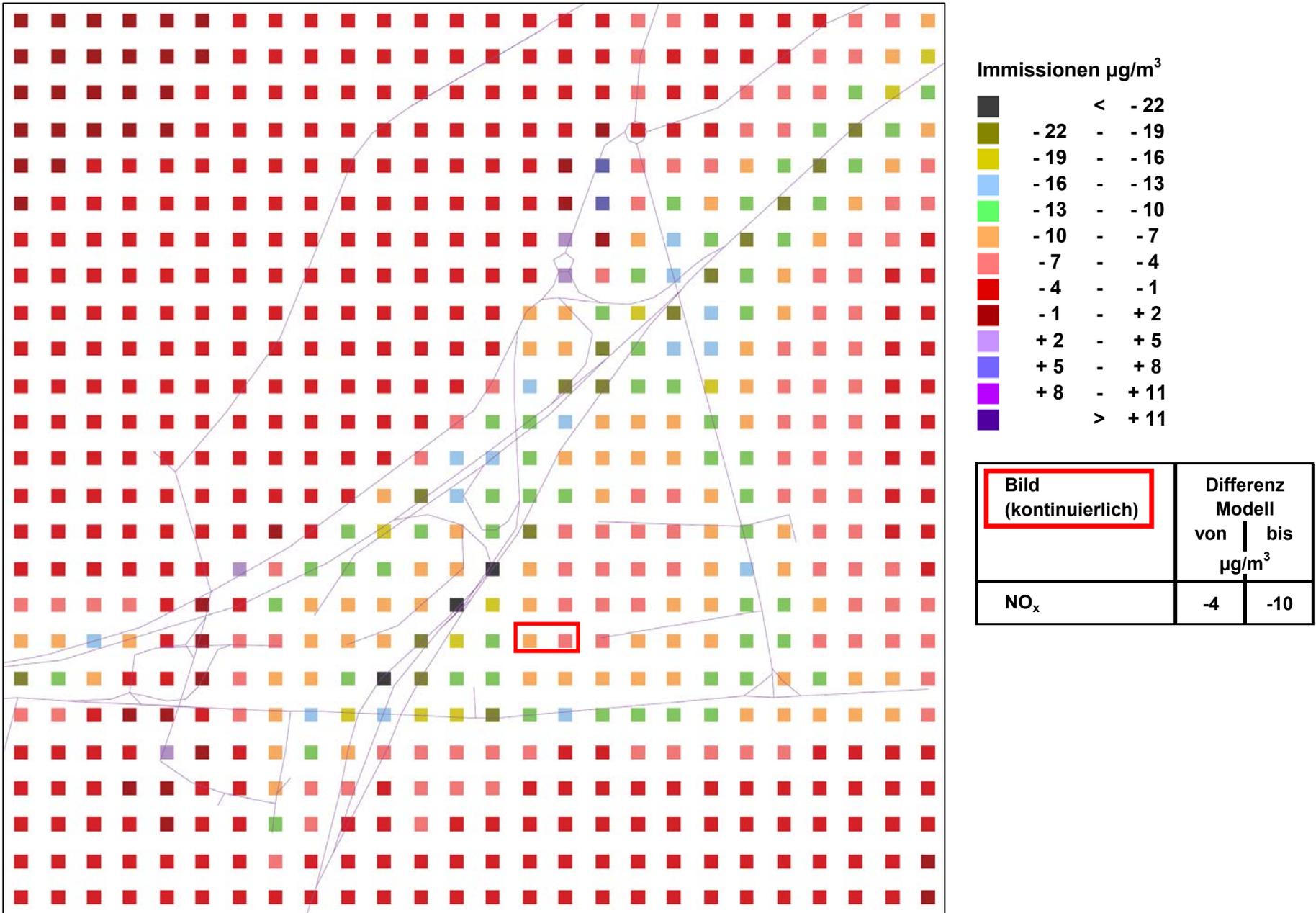
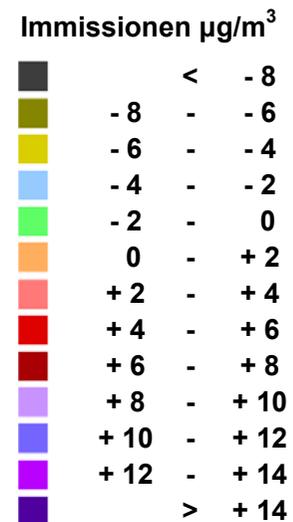
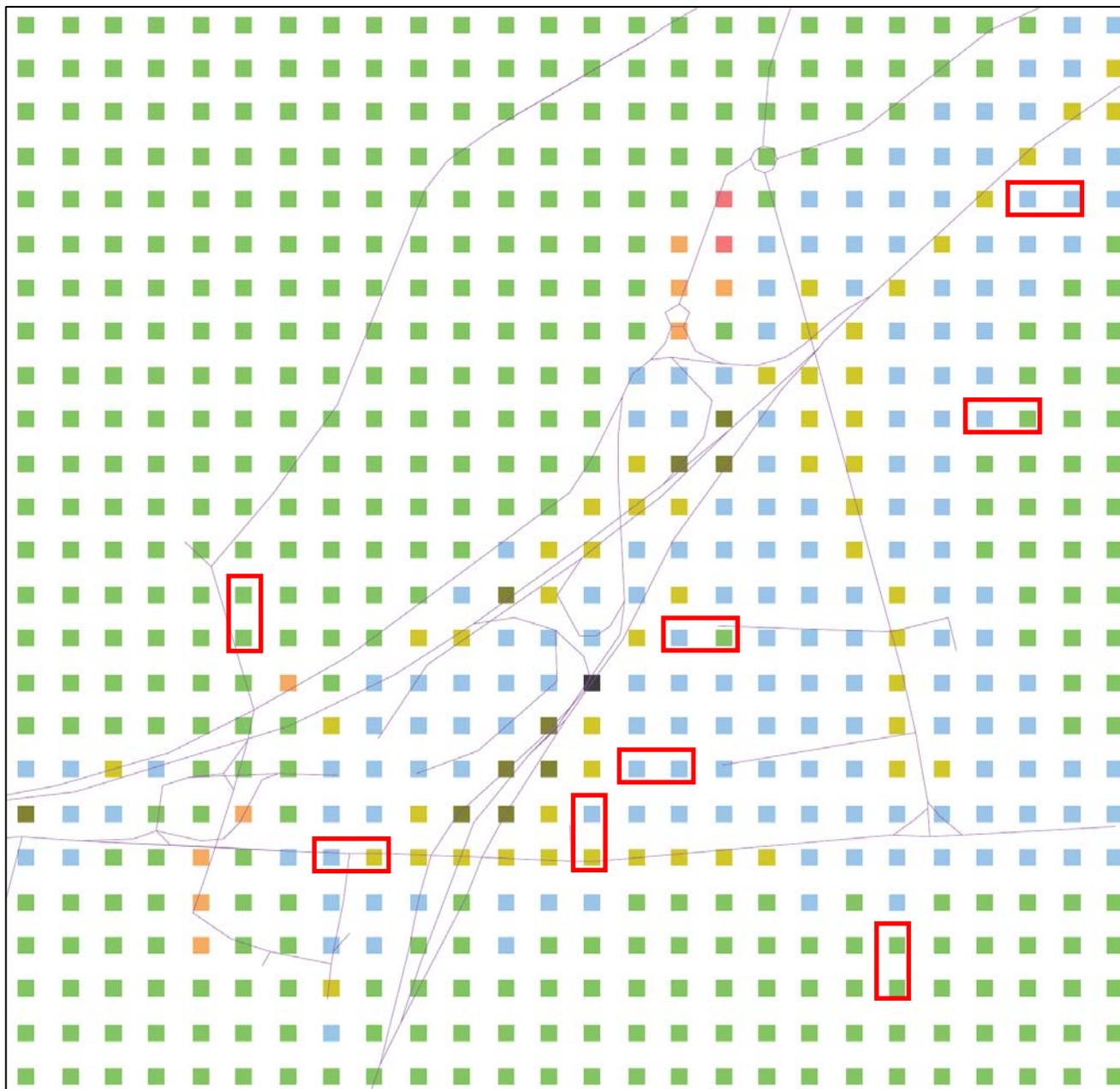


Abbildung 7: Differenz Immissionsprognose NO<sub>2</sub> zwischen Nachher-Zustand 2008 und Vorher-Zustand 2004



Messort	Differenz gemäss Modell	
	von $\mu\text{g}/\text{m}^3$	bis $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Sonnmattstrasse	0	-2
Piccardstrasse	0	-4
Zürcher Strasse	-2	-6
Billenberg	-2	-4
Hölzli	0	-4
Bild PS	-2	-4
Bild (kontinuierlich)	-2	-4
Herisauer Strasse	-2	-6
Hafnersberg	0	-2

### 3.5 Resultate der Immissionsüberwachung

#### 3.5.1 Vorgehen

Die Ergebnisse der kontinuierlichen Messungen für die Betriebsphase werden in Bezug auf die durchschnittliche Emissionsentwicklung auf Basis der mittleren Entwicklung der Referenzstationen bereinigt. Auf Grundlage des Korrelationsmodells wird dazu aus dem Jahresmittel der Luftschadstoffbelastungen an den Referenzstationen der theoretische Jahresmittelwert an der Station Bild bestimmt (vgl. B 2.1 'Korrelationsmodell', Seite 6-5).

Die NO<sub>2</sub>-Passivsammlermessungen werden für den Vergleich „Vorher - Nachher“ in Bezug auf die durchschnittliche Emissionsentwicklung und den Witterungseinfluss auf Basis des Quotienten zwischen der theoretischen Immissionsbelastung im Nachher-Zustand und der gemessenen Immissionsbelastung im Vorher-Zustand auf Grundlage der kontinuierlichen Messungen bereinigt.

Durch Bildung der Differenz zwischen der tatsächlich gemessenen und der mit dem Korrelationsmodell bestimmten Immissionsbelastung ergeben sich bei den kontinuierlichen Messungen die durch die Inbetriebnahme der zwischen 2004 und 2008 realisierten Bauten verursachten Änderungen der Immissionsbelastung. Bei den Passivsammlern wiederum ergeben sich die entsprechenden Effekte aus dem Vergleich Vorher-Messungen mit den in Bezug auf die durchschnittliche Emissionsentwicklung und den Witterungseinfluss bereinigten Nachher-Messungen.

#### 3.5.2 Kontinuierliche Immissionsüberwachung

##### 3.5.2.1 Resultate der Messungen

Die Resultate der Immissionsmessungen für den Vorher-Zustand 2004/2005 und den Nachher-Zustand 2008/2009, der mittels Korrelationsmodell berechnete Wert für den Nachher-Zustand sowie die entsprechende Differenz sind in Tabelle 6 für NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> sowie PM10 dargestellt.

Tabelle 6: Immissionen in Bezug auf NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> und PM10 für den Vorher-Zustand 2004/2005, den Betriebszustand 2008/2009 und entsprechende Differenz sowie mittels Korrelationsmodell verlässlich detektierbare Unterschiede bzw. Signifikanz  
[Umrechnung ppb NO<sub>x</sub> in µg/m<sup>3</sup>: 1.91]

Stoff	Messung Vorher	Messung Nachher	Nachher Korrelationsmodell	Differenz Modell – Messung Nachher	Detektierbare Differenzen Signifikanz
NO <sub>x</sub>	29.4 ppb	24.2 ppb	27.2 ppb	- 3.0 ppb - 5.7 µg/m <sup>3</sup>	Δ > 2.5 ppb Signifikant
NO <sub>2</sub>	29.4 µg/m <sup>3</sup>	27.6 µg/m <sup>3</sup>	29.0 µg/m <sup>3</sup>	- 1.4 µg/m <sup>3</sup>	Δ < 1.5 µg/m <sup>3</sup> Knapp nicht signifikant
PM10	18.7 µg/m <sup>3</sup>	17.3 µg/m <sup>3</sup>	17.4 µg/m <sup>3</sup>	- 0.1 µg/m <sup>3</sup>	Δ < 2 µg/m <sup>3</sup> nicht signifikant

Aus der Differenz zwischen der mit dem Korrelationsmodell bestimmten, der Emissionsentwicklung der Referenzstationen entsprechenden Belastung und der tatsächlich gemessenen Immissionsbelastung ergibt sich, dass durch die Inbetriebnahme der Bauten in St. Gallen West an diesem Standort für  $\text{NO}_x$  eine Abnahme um 3.0 ppb bzw.  $5.7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , für  $\text{NO}_2$  eine Abnahme um  $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und für  $\text{PM}_{10}$  eine Abnahme um  $0.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  resultiert.

Für  $\text{NO}_x$  ist das Resultat signifikant, beim  $\text{NO}_2$  knapp nicht signifikant und beim  $\text{PM}_{10}$  deutlich nicht signifikant.

### 3.5.2.2 Messtechnische Plausibilisierung

#### 3.5.2.2.1 Feststellungen

Für  $\text{NO}_2$  ist das Resultat - wenn man dasjenige für  $\text{NO}_x$  berücksichtigt - eher überraschend. Zu erwarten wäre bei einer anzunehmenden Umwandlungsrate von 40% eher eine Abnahme von  $2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als eine solche von  $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Dabei ist aber von vorneherein zu beachten, dass es um eine Abweichung von rund  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bei einer Gesamtbelastung von rund  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  geht. D.h. der Einfluss von  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auf die Differenz-Resultate kann durchaus auf Grund von Messunsicherheiten verursacht worden sein.

Beim  $\text{NO}_x$  und  $\text{PM}_{10}$  ergeben sich keine Hinweise auf Inplausibilitäten.

Trotzdem muss natürlich bei allen drei Luftschadstoffen untersucht werden, ob bei der Interpretation der Resultate messtechnische Einflüsse zu beachten sind.

#### 3.5.2.2.2 $\text{NO}_x$

Beim  $\text{NO}_x$  ergeben sich keine Hinweise auf zu beachtende Einflüsse.

#### 3.5.2.2.3 $\text{PM}_{10}$

Beim  $\text{PM}_{10}$  ist festzuhalten, dass die Resultate eine schwierig quantifizierbare Unsicherheit dadurch aufweisen, dass bei der Station St. Gallen Bild auf den Nachher-Zustand eine Änderung des Messkonzepts vorgenommen wurde. In Bezug auf die HVS erfolgte dabei ein Wechsel auf ein Stichprobenkonzept mit Erfassung von rund 95 Tagesmittelwerten.

Da im Vorher-Zustand an der Station Bild keine kontinuierlichen Messungen mit Monitor durchgeführt wurden, muss das Korrelationsmodell - wegen der Unterschiede zwischen den entsprechenden Resultaten (vgl. Tabelle 7) - aber für die Station Bild zwingend auf den HVS-Resultaten basieren.

Wie Tabelle 7 zeigt, ergeben sich allerdings für die Perioden 2007 und 2008-09 ähnliche Verhältnisse zwischen HVS und Monitor, womit auf Grundlage des Stichprobenkonzepts von einem tendenziell verlässlichen Basiswert für das Korrelationsmodell ausgegangen werden kann.

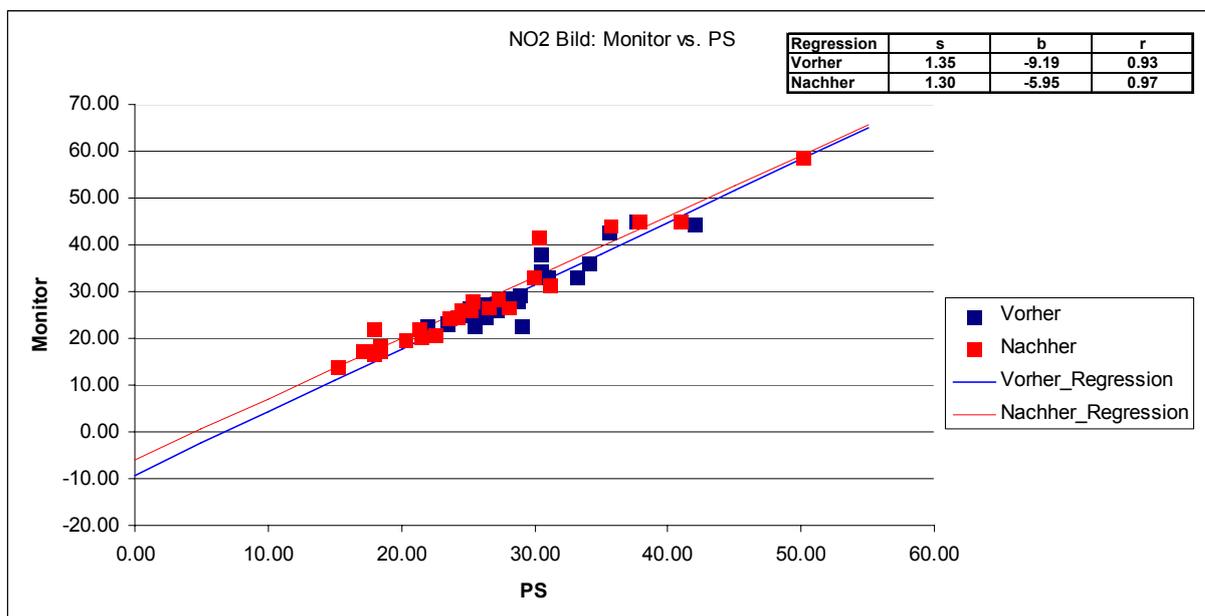
Tabelle 7: Vergleich zwischen HVS und Monitor für die Messstationen für das Jahr 2007 und den Nachher-Zustand und Anzahl Tagesmittel für HVS  
[grau hinterlegt: Basiswerte für das Korrelationsmodell]

Vergleich PM10 HVS / Monitor	St.Gallen Bild		St.Gallen Rorschacher Strasse		Frauenfeld Bahnhofstrasse		Winterthur Obertor	
	PM10	HVS	PM10	HVS	PM10	HVS	PM10	HVS
	µg/m3	Werte	µg/m3	Werte	µg/m3	Werte	µg/m3	Werte
Jahresmittel HVS 2004-05	18.7	364	14.3	23	21.1	45	23.3	332
Jahresmittel Monitor 2004-05	--		19.6		22.4		22.1	
Verhältnis (Werte zu Jahr; 365)	--	100%	137%	6%	106%	12%	95%	91%
Jahresmittel HVS 2007	19.4	335	18.0	32	20.1	315	21.5	318
Jahresmittel Monitor 2007	21.9		17.1		21.2		19.6	
Verhältnis (Werte zu Jahr; 365)	113%	92%	95%	9%	105%	86%	91%	87%
Jahresmittel HVS 2008-09	17.3	95	16.9	97	18.8	301	21.1	318
Jahresmittel Monitor 2008-09	19.4		18.5		20.5		22.0	
Verhältnis (Werte zu Jahr; 365)	112%	26%	110%	27%	109%	82%	104%	87%

### 3.5.2.2.4 NO<sub>2</sub>

In Bezug auf das eher überraschende Resultat für NO<sub>2</sub> ergeben sich erste Hinweise zur Erklärung aus einem Vergleich zwischen den Monitor- und den Passivsammlermessungen. Zwar lassen sich auf Grund einer systematischen Abweichung zwischen kurzzeitigen Monitor- und Passivsammlermessungen, welche zu relevanten negativen Achsenabschnitten führt, aus der direkten Regression noch keine Schlüsse ziehen (Abbildung 8; zu den Abweichungen vgl. 5.2 Anhang B: Abweichungen zwischen Monitor- und Passivsammlermessungen, Seite 37).

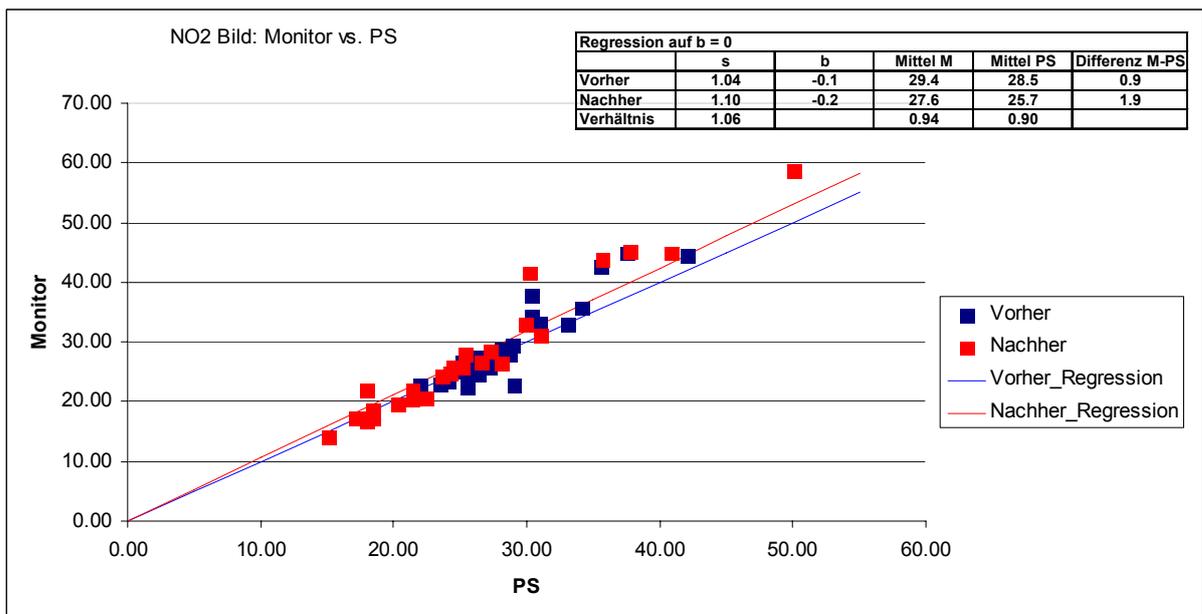
Abbildung 8: Resultate der linearen Regression der NO<sub>2</sub>-Messungen mittels Monitor gegen diejenigen mittels Passivsammler an der Messstation Bild



Erzwingt man hingegen einen Achsenabschnitt von etwa 0, zeigt sich ein wesentlicher Unterschied zwischen der Steigung der Regressionsgeraden in der Vorher- und derjenigen in der Nachher-Messphase (Abbildung 9). Dies kann nur durch messtechnische Effekte verursacht sein.

Vergleicht man die Mittelwerte der Monitor- und den Passivsammlermessungen für die Vorher- und die Nachher-Messphase so zeigt sich, dass in der Vorher-Phase der Monitor einen um  $0.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  höheren Wert als der Passivsammler ermittelte. In der Nachher-Phase aber betrug der Unterschied  $1.9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . D.h. dass mit dem Monitor in der Nachher-Phase verglichen mit dem Passivsammler im Mittel eine um rund  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  höhere Belastung gemessen wurde als in der Vorher-Phase.

Abbildung 9: Resultate der linearen Regression der  $\text{NO}_2$ -Messungen mittels Monitor gegen diejenigen mittels Passivsammler an der Messstation Bild mit erzwungenem Achsenabschnitt  $b \approx 0$ .



Die gleiche Schlussfolgerung ergibt sich aus einer Analyse der Veränderung des  $\text{NO}_2$ - $\text{NO}_x$ -Verhältnisses zwischen Vorher- und Nachher-Messphase (Details vgl. 5.3, Seite 39). Diese Veränderung wurde im Rahmen der Zwischenauswertungen gegen Ende der Nachher-Messphase diagnostiziert. Eine kurzfristige Vergleichsmessung mit einem zweiten Monitor ergab noch kein definitives Ergebnis in Bezug auf Messtechnikeffekte. Zusätzliche messtechnische Abklärungen sind geplant (vgl. 5.3).

Auf Grund der übereinstimmenden Schlussfolgerungen aus den Abklärungen zur Veränderung des  $\text{NO}_2$ - $\text{NO}_x$ -Verhältnisses und zur Differenz zwischen Monitor- und Passivsammlermessung, ist für  $\text{NO}_2$  eher von einer Abnahme um  $2.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  als von einer solchen um  $1.4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  auszugehen. Eine entsprechende Korrektur wird deshalb vorgenommen.

Sollten die weiteren messtechnische Überprüfungen ergeben, dass keine entsprechenden Effekte vorhanden waren, wird dadurch ausschliesslich der Wert der  $\text{NO}_2$ -Abnahme am Standort Bild beeinflusst. Die Schlussfolgerungen dieses Berichts bleiben davon unberührt (vgl. 5.3).

### 3.5.2.3 Schlussfolgerungen aus kontinuierlichen Messungen

Aus den kontinuierlichen Messungen können unter Beachtung der Befunde in Bezug auf die Messtechnik für den Standort Bild die folgenden Schlussfolgerungen gezogen werden:

#### Die Kombination

- **Inbetriebnahme des Einkaufszentrums AFG-Stadion mit dem entsprechenden induzierten Verkehr**
- **Umgestaltung des Nationalstrassenanschlusses St. Gallen Breitfeld mit der entsprechenden Verkehrsverlagerung**

bewirkt am Standort Bild beim

- **NO<sub>x</sub> eine signifikante Abnahme um 3.0 ppb bzw. 5.7 µg/m<sup>3</sup>**
- **NO<sub>2</sub> eine signifikante Abnahme um 2.4 µg/m<sup>3</sup> (Wert korrigiert für Messtechnikeffekte)**
- **für PM10 eine nicht signifikante Abnahme um 0.1 µg/m<sup>3</sup>.**

### 3.5.3 Resultate Immissionsüberwachung mit Passivsammler

Die Resultate der Immissionsmessungen für den Vorher-Zustand 2004/2005, den Nachher-Zustand 2008/2009 und die in Bezug auf die durchschnittliche Emissionsentwicklung und den Witterungseinfluss bereinigten Nachher-Messungen sind in Tabelle 8 für die NO<sub>2</sub>-Passivsammler dargestellt.

Tabelle 8: Immissionen für NO<sub>2</sub> für den Vorher-Zustand 2004/2005, den Nachher-Zustand 2008/2009 und für die in Bezug auf die durchschnittliche Emissionsentwicklung und den Witterungseinfluss bereinigten Nachher-Messungen sowie entsprechende Differenzen/Quotienten

Messort	Höhe	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	NO <sub>2</sub>	Nachher (bereinigt)	Nachher (bereinigt)
		Vorher	Nachher	Nachher bereinigt	- Vorher	/ Vorher
	1	2	3	4	4 - 2	4 / 2
	m.ü.M	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	µg/m <sup>3</sup>	□
Industriestrasse	652	25.9	26.7	27.1	1.2	1.05
Sonnmattstrasse	646	21.0	20.3	20.6	-0.4	0.98
Piccardstrasse	650	27.2	25.6	26.0	-1.2	0.95
Zürcher Strasse	650	38.3	34.3	34.8	-3.5	0.91
Billenbergl	640	28.1	27.0	27.4	-0.7	0.97
Hölzli	648	20.0	19.6	19.9	-0.1	0.99
Bild	655	28.8	25.7	26.1	-2.7	0.90
Herisauer Strasse	653	44.9	37.6	38.1	-6.8	0.85
Hafnersberg	650	25.1	23.2	23.5	-1.6	0.94
Referenz St. Gallen*	650	36.9	36.3	36.8	0.0	1.00

\* Mittel Rorschacher Strasse, Blumenbergplatz, St. Georgenstrasse

Die Bereinigung für die durchschnittliche Emissionsentwicklung und den Witterungseinfluss erfolgt dabei mit dem Quotienten gemäss Tabelle 9.

Tabelle 9: Korrekturfaktor für die durchschnittliche Emissionsentwicklung und den Witterungseinfluss in Bezug auf die NO<sub>2</sub>-Immissionsmessungen mit den Passivsammlern auf Basis der kontinuierlichen Referenzstationen

Stoff	Messung Vorher	Messung Nachher	Nachher Korrelationsmodell	Quotient Messung Vorher / Modellwert
NO <sub>2</sub>	29.4 µg/m <sup>3</sup>	27.6 µg/m <sup>3</sup>	29.0 µg/m <sup>3</sup>	1.014

Die zur Kontrolle dieser Bereinigung auch auf nicht im Gebiet St. Gallen West liegende Passivsammler in der Stadt St. Gallen angewandte Korrektur zeigt die erwartete Angleichung der Vorher- und Nachher-Messungen (Differenz < 0.1 µg/m<sup>3</sup>, d.h. Quotient Nachher/Vorher = 1; vgl. Tabelle 8). Damit lässt sich schliessen, dass die in Tabelle 8 ausgewiesenen Differenzen tatsächlich auf lokale Emissionsänderungen zurückzuführen sind.

Die Resultate der Immissionsmessungen für den Vorher-Zustand 2004/2005 und die in Bezug auf die durchschnittliche Emissionsentwicklung und den Witterungseinfluss bereinigten Nachher-Messungen 2008/2009 sowie die entsprechende Differenzen sind in Abbildung 10 (Seite 28) für die NO<sub>2</sub>-Passivsammler zusammenfassend im Zusammenhang mit den Verkehrsänderungen dargestellt.

Die Veränderungen an der Industriestrasse wurden im Emissionscontrolling nicht modelliert. Die Zusatzbelastung durch die neue ÖV-Linienführung mit rund 250 Bussen pro Tag lässt sich direkt dem Ostwind-Linienplan bzw. dem SBB-Fahrplan entnehmen (vgl. 5.4, Seite 43).

**Aus den Passivsammlermessungen ergibt sich die Folgerung, dass die Kombination**

- **Inbetriebnahme des Einkaufszentrums AFG-Stadion mit dem entsprechenden induzierten Verkehr**
- **Umgestaltung des Nationalstrassenanschlusses St. Gallen Breitfeld mit der entsprechenden Verkehrsverlagerung**

beim NO<sub>2</sub> folgende Veränderungen bewirkt:

- **Signifikante Abnahme um 3 bis 7 µg/m<sup>3</sup> an Standorten mit dominierendem Einfluss durch Strassen mit relevanten Verkehrsabnahmen (Standorte Zürcherstrasse und Herisauerstrasse)**
- **Signifikante Abnahme um 1 bis 3 µg/m<sup>3</sup> an Standorten mit wesentlicher Beeinflussung durch Strassen mit relevanten Verkehrsabnahmen (Standorte Bild, Piccardstrasse und Hafnersberg)**
- **Nicht signifikante Abnahme um < 1 µg/m<sup>3</sup> an Standorten mit Belastung mit Typ „Quartierhintergrund“ (Sonnmattstrasse) bzw. „Autobahn hintergrund“ (Billenberg und Hölzli)**
- **Signifikante Zunahme um 1.2 µg/m<sup>3</sup> am durch die neue ÖV-Linienführung in St. Gallen West mehr belasteten Standort Industriestrasse.**

Abbildung 10: NO<sub>2</sub>-Immissionen für den Vorher-Zustand 2004/2005 und Nachher-Zustand 2008/2009 sowie entsprechende Differenzen

Bemerkungen:

Werte Passivsammler für Periode  
 - Vorher: 25.05.04 bis 24.05.05  
 - Nachher 05.02.08 bis 03.02.09

Nachher: In Bezug auf die durchschnittliche Emissionsentwicklung und den Witterungseinfluss bereinigte Werte

NO<sub>2</sub>-Werte in µg/m<sup>3</sup>

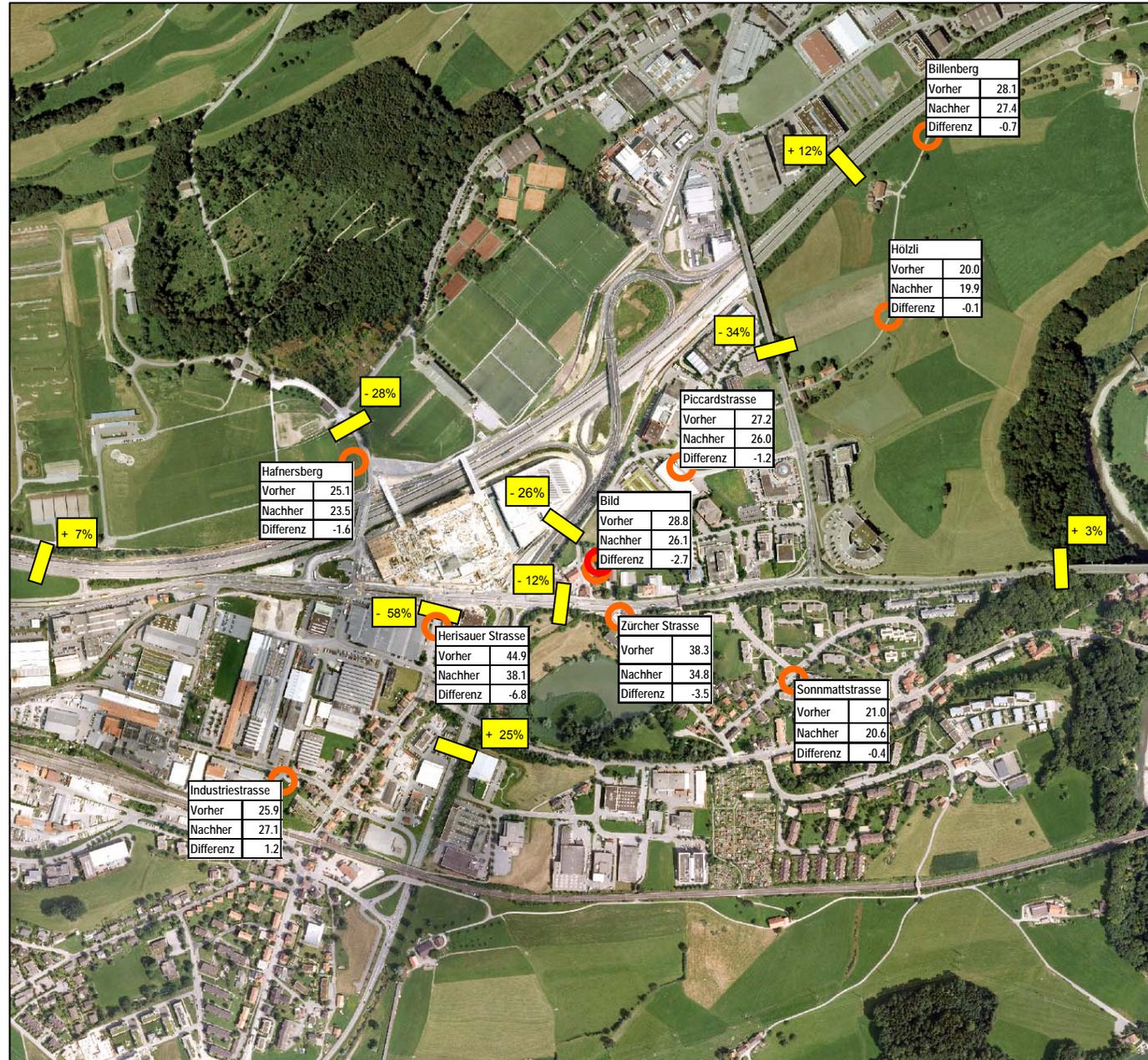
Verkehr: Differenz Nachher - Vorher aus Modellresultaten

Legende:

Messstation Bild 

Passivsammlerstandorte 

Querschnitte Verkehr 



### 3.6 Vergleich Immissionsmessungen mit Immissionsprognose

#### 3.6.1 Resultate

Die Ergebnisse des Vergleichs der witterungsbereinigten Immissionsmessungen mit den auf Grundlage des neukalibrierten Verkehrsmodells erarbeiteten Immissionsprognose ist in Tabelle 10 für NO<sub>x</sub> und in Tabelle 11 für NO<sub>2</sub> dargestellt.

Tabelle 10: Vergleich Differenz der Immissionsmessungen Nachher witterungsbereinigt – Vorher in Bezug auf NO<sub>x</sub> mit dem entsprechenden Resultat der Immissionsprognose

Bild (kontinuierlich)	Vorher µg/m <sup>3</sup>	Nachher witterungs- bereinigt µg/m <sup>3</sup>	Nachher - Vorher µg/m <sup>3</sup>	Differenz gemäss Modell	
				von	bis
NO <sub>x</sub>	56.3	50.6	-5.7	-4	-10

Die prognostizierte Abnahme beim NO<sub>x</sub> beträgt 4 bis 10 µg/m<sup>3</sup> im Vergleich zur Messung, welche 5.7 µg/m<sup>3</sup> ergab. Dieser Wert liegt im Schwankungsbereich der Prognose.

Auch beim NO<sub>2</sub> liegen die gemessenen Werte mit Ausnahme der Messstellen Herisauer Strasse und Billenberg innerhalb des Prognoseintervalls. Bei der Herisauer Strasse liegt der gemessene Differenzwert mit 6.8 µg/m<sup>3</sup> um 0.8 µg/m<sup>3</sup> oberhalb des Prognoseintervalls, was als unerheblich einzustufen ist. Bei der Messstelle Billenberg wiederum liegt die gemessene Differenz unterhalb des Prognoseintervalls. Dafür dürften Modell-Randeffekte verantwortlich sein (vgl. 3.6.2).

Tabelle 11: Vergleich Differenz der Immissionsmessungen Nachher witterungsbereinigt – Vorher in Bezug auf NO<sub>2</sub> mit den entsprechenden Resultaten der Immissionsprognose.  
[Bei Bild (kontinuierlich) ist der korrigierte Wert eingetragen; vgl. 3.5.2.2.4]

Messort	NO <sub>2</sub> Vorher µg/m <sup>3</sup>	NO <sub>2</sub> Nachher witterungs- bereinigt µg/m <sup>3</sup>	Nachher - Vorher µg/m <sup>3</sup>	Differenz gemäss Modell	
				von	bis
Sonnmattstrasse	21.0	20.6	-0.4	0	-2
Piccardstrasse	27.2	26.0	-1.2	0	-4
Zürcher Strasse	38.3	34.8	-3.5	-2	-6
Billenberg	28.1	27.4	-0.7	-2	-4
Hölzli	20.0	19.9	-0.1	0	-4
Bild PS	28.8	26.1	-2.7	-2	-4
Bild (kontinuierlich)	29.4	27.0	-2.4	-2	-4
Herisauer Strasse	44.9	38.1	-6.8	-2	-6
Hafnersberg	25.1	23.5	-1.6	0	-2

### 3.6.2 Schlussfolgerungen

Bei der Bewertung ist zu beachten, dass die Prognose ursprünglich für die UVP bzw. den UVB der publikumsintensiven Einrichtungen in St. Gallen West erarbeitet wurde. Dementsprechend ist das Prognosegebiet auf den Nahbereich dieser Einrichtungen mit den höchsten Belastungsänderungen ausgelegt, wodurch bei einem Teil der Passivsammler zwingend Randeffekte der Modellierung zu erwarten sind (Hölzli, Billenberg).

Im Rahmen des UVB stand die Veränderung der Belastung durch das unter Betrachtung stehende Vorhaben zu einem bestimmten Zeitpunkt im Vordergrund des Interesses. Im vorliegenden Fall, in dem die Veränderung zwischen dem Vorher-Zustand 2004/05 und dem Nachher-Zustand 2008/09 zu prognostizieren ist, schlagen sich auch die Unsicherheiten in Bezug auf die abnehmenden Emissionsfaktoren, die allgemeine Verkehrsentwicklung und die Änderung der Hintergrundbelastung *direkt* im Prognoseergebnis nieder.

Das ‚Vorhaben‘ im Falle St. Gallen West setzt sich zudem komplex aus einer Vielzahl Teilvorhaben zusammen. Zu prognostizieren sind die Effekte einer Kombination von Änderungen der Geometrie des Strassennetzes, Veränderungen des Geschwindigkeitsregimes auf einzelnen Strecken sowie Änderungen in der Verkehrsbelastung durch die der Inbetriebnahme der publikumsintensiven Einrichtungen St. Gallen West.

Es ist offensichtlich, dass die zu erwartenden Unsicherheiten damit deutlich grösser sind als bei Prognosen im Rahmen von UVBs.

Berücksichtigt man diese Einschränkungen bei der Interpretation der Prognoseergebnisse stellt die Prognose eine sehr befriedigende Abbildung der Realität dar.

Dies gilt im Übrigen auch für die im Rahmen der in der Projektphase ‚Design der Untersuchung‘ im Jahre 2007 erstellte Schätzung der Veränderungen. Damals wurde auf der Grundlage der für die UVP der publikumsintensiven Einrichtungen in St. Gallen West erarbeiteten Immissionsprognose (Ist-Zustand 2000, Betriebszustand 2004) am Standort Bild beim  $\text{NO}_x$  eine Reduktion um 5 bis 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  und beim  $\text{NO}_2$  eine solche um 1.5 bis 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  vorhergesagt (Immissionsmessungen St. Gallen West, Zwischenbericht Projektphase A, Design der Untersuchung; Ostluft, 2007; vgl. B 2.2.6, Seite 6-11).

Da es sich dabei nur um Angaben zum wahrscheinlichsten Wertebereich handelte und eine erhebliche Unsicherheit zusätzlich anzunehmen war, darf die überraschend gute Übereinstimmung mit den gemessenen Differenzwerten nicht überbewertet werden. Das Resultat betätigt aber die aus dem Vergleich der im Rahmen dieser Untersuchung erarbeiteten neuen Prognoseresultate mit den Messungen gezogenen Folgerungen.

**Insgesamt liefern die Immissionsprognosen im Fall des Projektes St. Gallen West sowohl für  $\text{NO}_x$  wie für  $\text{NO}_2$  - bei Interpretation unter Beachtung der systembedingten Einschränkungen - realitätsnahe Ergebnisse. Die Prognosen erweisen sich - im Rückblick - als adäquate Grundlage für eine Bewertung der mit den Vorhaben in St. Gallen West resultierenden lufthygienischen Effekte.**

## 4 Zusammenfassende Folgerungen

### 4.1 Verkehr

Die Untersuchungen zeigen, dass durch die direkte Anbindung der publikumsintensiven Einrichtungen an die Nationalstrasse und in Folge der flankierenden Massnahmen der Verkehr erfolgreich weitgehend auf die A1 kanalisiert werden konnte.

Auf Grund von einzelnen Zählergebnissen kann sogar auf eine grössere Kanalisierungswirkung als auf Grundlage der Verkehrsmodellierung erwartet geschlossen werden.

Damit konnten - trotz des von den publikumsintensiven Einrichtungen induzierten Verkehrs - relevante verkehrliche Zusatzbelastungen von Strassen in der Nähe von Wohnquartieren und Erholungsräumen vermieden werden bzw. es stellte sich sogar eine Entlastung in Bezug auf den Strassenverkehr in diesen sensitiven Umgebungen ein.

### 4.2 Luftschadstoffe

Aus den mit statistischen Methoden witterungsbereinigten kontinuierlichen Messungen am Standort Bild ergibt sich unter Beachtung der Befunde in Bezug auf die Messtechnik, dass das Einkaufszentrum AFG-Stadion bzw. der entsprechende induzierte Verkehr in Kombination mit der Umgestaltung des Nationalstrassenanschlusses St. Gallen Breitfeld folgende Wirkung auf die Luftschadstoffbelastung hatte:

- NO<sub>x</sub>: Signifikante Abnahme um 3.0 ppb bzw. 5.7 µg/m<sup>3</sup>
- NO<sub>2</sub>: Signifikante Abnahme um 2.4 µg/m<sup>3</sup> (Wert korrigiert für Messtechnikeffekte)
- PM10: Keine signifikante Veränderung.

An den Standorten mit NO<sub>2</sub>-Passivsammlermessungen resultierten folgende Wirkungen:

- Signifikante Abnahme um 3 bis 7 µg/m<sup>3</sup> an Standorten mit dominierendem Einfluss durch Strassen mit relevanten Verkehrsabnahmen
- Signifikante Abnahme um 1 bis 3 µg/m<sup>3</sup> an Standorten mit wesentlicher Beeinflussung durch Strassen mit relevanten Verkehrsabnahmen
- Nicht signifikante Veränderungen an Standorten vom Typ „Quartierhintergrund“ bzw. „Autobahn hintergrund“.

Damit wurden - trotz des von den publikumsintensiven Einrichtungen induzierten Zusatzverkehrs - auch bei den Luftschadstoffen relevante Zusatzbelastungen von Wohnquartieren und Erholungsräumen vermieden bzw. die Belastung in solchen Gebieten konnte tendenziell sogar reduziert werden.

In den Gebieten mit einer von der mehrbelasteten Nationalstrasse geprägten Luftschadstoffhintergrundbelastung bleiben die Veränderungen gering, da die aus dem kanalisierten Mehrverkehr resultierenden höheren Emissionen zu einem wesentlichen Teil durch die lufthygienisch günstige Wirkung der im Rahmen der Umgestaltung des Anschlusses herabgesetzten Geschwindigkeitslimiten kompensiert wurde.

Die Messungen haben damit den Nachweis erbracht, dass die Auswirkungen aus dem induzierten Verkehr der neuen publikumsintensiven Einrichtungen resultierenden Luftschadstoffe in Bezug auf Zusatzbelastung und räumliche Ausdehnung optimal beschränkt werden konnten.

### 4.3 Immissionsprognose

Der Vergleich der Immissionsprognosen mit den Messungen zeigt, dass die Prognosen im Falle St. Gallen West insgesamt sowohl für  $\text{NO}_x$  wie für  $\text{NO}_2$  - bei Interpretation unter Beachtung der systembedingten Einschränkungen - realitätsnah sind. Die Prognosen erweisen sich - im Rückblick - als adäquate Grundlage für eine Bewertung der mit den Vorhaben in St. Gallen West resultierenden lufthygienischen Effekte.

Bei der Interpretation der Prognosen ist allerdings zu beachten, dass - falls das Kosten-Nutzen-Verhältnis nicht für den Einsatz entsprechend komplexer Modelle spricht - keine punktgenauen Aussagen resultieren. Die Resultate sind vielmehr als Aussagen in Bezug auf Flächenbereiche zu interpretieren. Dies ergibt sich aus der Tatsache, dass bei Strassenimmissionsprognosemodellen in der Regel weder die Topographie noch die Bebauung berücksichtigt ist. Die Topographie und die Bebauung spielen aber insbesondere im nahen Quellenumfeld eine wesentliche Rolle in Bezug auf die Ausbreitung. Natürlich sind auch in Bezug auf das Windfeld keine quellennahen Effekte - wie z.B. Rotoren im Bereich von Gebäuden - berücksichtigt.

Zusätzlich besteht eine wesentliche weitere Sensitivität der Resultate in Bezug auf die Verkehrsanteile der Schwere Nutzfahrzeuge (SNF). Die Datenlage in Bezug auf diese Verkehrsanteile entspricht - da Verkehrszählungen sich meist auf den Gesamtverkehr beschränken - in der Regel der Bedeutung des Einflusses der SNF auf die Emissionen nicht. Diesem Aspekt bei der Datenerhebung wird in Zukunft eine entscheidende Rolle in Bezug auf die Qualität von Immissionsprognosen zukommen.

### 4.4 Projekterfolg und Ausblick

Das Ziel des Projekts, die lufthygienische Situation in dem sich insbesondere mit dem Bau eines neuen Stadions mit Einkaufszentrum stark entwickelnden Gebiet St. Gallen West im Vergleich zur prognostizierten Emissions- bzw. Immissionsentwicklung zu erfassen und die bei den Prognosen getroffenen Annahmen und die Wirksamkeit der getroffenen Massnahmen in der Betriebsphase der Vorhaben zu überprüfen, wurde erreicht.

Dabei ist aber festzuhalten, dass mit dem Projekt sowohl die für den Normalbetrieb eines Lufthygienenetzes gültigen messtechnischen Grenzen wie die statistischen Limiten in Bezug auf die Auswertungen erreicht wurden.

Grundsätzlich wäre es denkbar, die Untersuchungen mit einer zweiten Nachher-Messung im zeitlichen Abstand von 5 Jahren - in der deutlichere Effekte als unmittelbar nach Inbetriebnahme der Vorhaben zu erwarten sind - zu ergänzen. In einem sich rasch entwickelnden Gebiet, in dem immer wieder neue Emissionsquellen entstehen, stellt dies aber keine realistische Option dar.

Sollen die Nachher-Messungen an einzelnen Passivsammlerstandorten periodisch bzw. in einigen Jahren wiederholt werden, müssen die den Standort massgebend beeinflussenden Emissionsänderungen zum damaligen Zeitpunkt gut dokumentiert sein. Dies erweist sich natürlich als einfacher, wenn dabei eine einzelne Quelle dominant ist. Im Falle St. Gallen West trifft dies auf den Standort Zürcherstrasse zu, für den mit der benachbarten Verkehrszählung der DTV zur Verfügung steht. Weitere Daten wie zum Anteil Schwerverkehr können auch mit Kurzzeitmessungen (Handzählungen) beschafft werden. An diesem Standort liesse sich damit sowohl die Verkehrsentwicklung im Gebiet wie der Immissionsverlauf verfolgen.

## **5 Anhänge**



## 5.1 Anhang A: Standortdatenblatt Messstation St. Gallen Bild

### Standortdatenblatt

Messstandorte / Messtationen



Standort St.Gallen, Bild (SG)

Der Messstandort liegt am Stadtrand von St.Gallen in einem sich stark entwickelnden Quartier auf einer leichten Kuppellage auf 855 m ü.M. Er befindet sich ca. 100 m südöstlich des geplanten neuen Stadions St.Gallen West. 50 m südlich der Station führt eine Hauptstrasse (Zürcherstrasse) vorbei, 85 m westlich die Autobahzufahrt St.Gallen Breitfeld zur A1. Die A1 verläuft ca. 250 m nördlich der Messtation.

Messdaten seit 2004

Standorttyp 



Koordinaten 741180 / 252470

Höhe ü.M. 855 m

Luftschadstoffe

- Feinstaub
- Ozon
- Stickstoffdioxid
- KBI

Meteorologische Parameter

- Temperatur
- Globalstrahlung

Quelle: [www.ostluft.ch](http://www.ostluft.ch)



## 5.2 Anhang B: Abweichungen zwischen Monitor- und Passivsammlermessungen

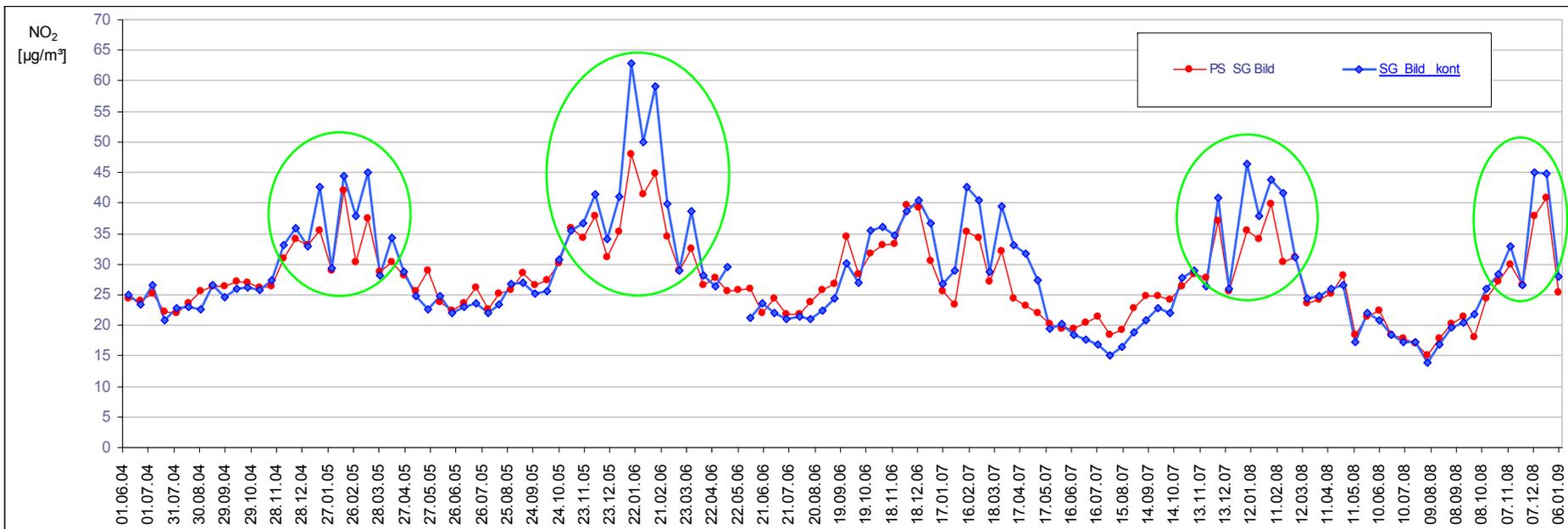
Abbildung 11 zeigt den Vergleich zwischen den Monitor- und Passivsammlermessungen am Standort Bild auf Basis der üblichen 14-Tage-Messperioden der Passivsammler.

Über den Grossteil des Messzeitraums und des Messbereichs besteht eine sehr gute Übereinstimmung. In Bezug auf den Messzeitraum treten im Jahr 2007 grössere Abweichungen auf. Diese haben aber für die Auswertungen keine Bedeutung, da sie einen Teil der Bauphase betreffen, welcher nicht in die Betrachtungen einbezogen wurde.

Hingegen zeigen sich über den gesamten Messzeitraum - soweit die Messwerte des Monitors über rund  $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$  liegen - grössere Differenzen zum Passivsammler. Diese Abweichungen erwecken den Eindruck, systematischer Natur zu sein. Ob der Effekt auf den Messstandort Bild beschränkt ist, müsste mit ähnlichen Messungen aus anderen Projekten abgeklärt werden.

Allerdings ist nun das Ergebnis der direkten linearen Regression in 3.5.2.2 (Seite 23) mit diesem Befund erklärbar. Die Abweichung zwischen Monitor- und Passivsammlermessungen bei den höheren Messwerten führt dazu, dass die Steigung der Ausgleichsgeraden zu gross und damit der Achsenabschnitt negativ wird.

Abbildung 11:  $\text{NO}_2$ -Immissionen 2004 bis 2009 am Standort Bild gemessen mit Passivsammler und mit Monitor





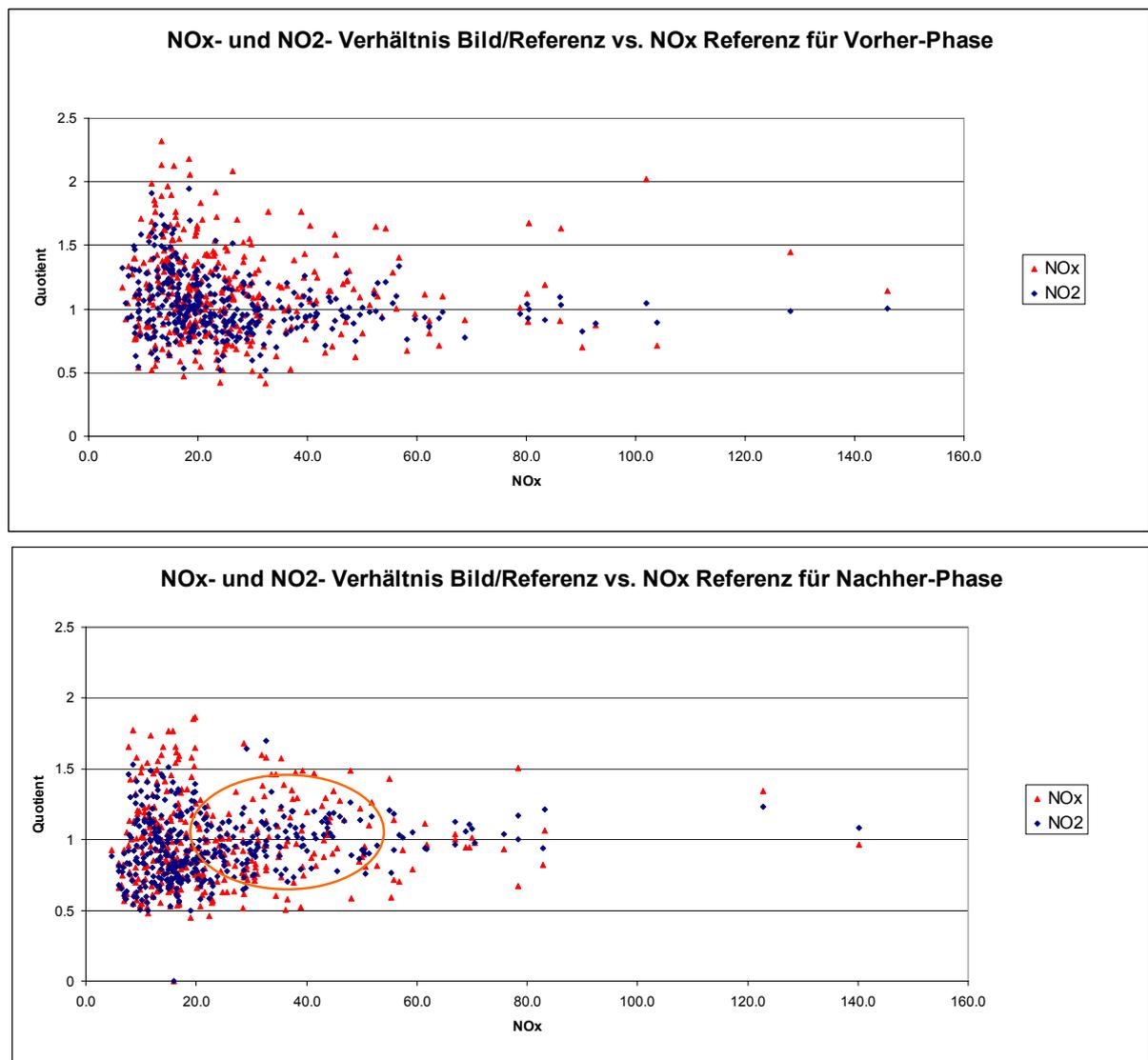
### 5.3 Anhang C: Veränderung des NO<sub>2</sub>-NO<sub>x</sub>-Verhältnisses zwischen Vorher- und Nachher-Messphase

In Abbildung 12 ist das Verhältnis der NO<sub>x</sub>- bzw. NO<sub>2</sub>-Immissionen zwischen der Messstation Bild und dem Mittel der Referenzstandorte in Abhängigkeit von der NO<sub>x</sub>-Konzentration des Mittels der Referenzstandorte dargestellt.

Die Abbildung zeigt, dass bei den mittleren NO<sub>x</sub>-Immissionen eine deutliche Erhöhung des NO<sub>2</sub>-Gehalts am Messstandort Bild im Vergleich zu den Referenzstandorten festzustellen ist, obwohl die NO<sub>x</sub>-Immissionen einen leicht gegenläufigen Effekt zeigen.

D.h. die NO<sub>2</sub>-Immissionen nehmen in diesem mittleren Bereich nicht in dem Masse ab, wie dies auf Grund der abnehmenden NO<sub>x</sub>-Immissionen zu erwarten wäre. Deutlicher ist dies noch in Abbildung 13 ersichtlich.

Abbildung 12: Verhältnis der NO<sub>x</sub>- bzw. NO<sub>2</sub>-Immissionen zwischen der Messstation Bild und dem Mittel der Referenzstandorte für die Vorher- und die Nachher-Phase



Es wäre naheliegend, dies mit der speziellen emissionsseitigen Entwicklung der Charakteristik der Emissionen des Strassenverkehrs im Gebiet St. Gallen West zu erklären, welche durch den Einsatz modernster Busse im Rahmen der Intensivierung des ÖV resultierte.

Allerdings zeigen die Emissionsberechnungen, dass der ÖV insgesamt nur für 3.5% der NO<sub>x</sub>-Emissionen im Gebiet verantwortlich ist. Wenn man die Nationalstrasse ausklammert, beträgt der Anteil 6.5%.

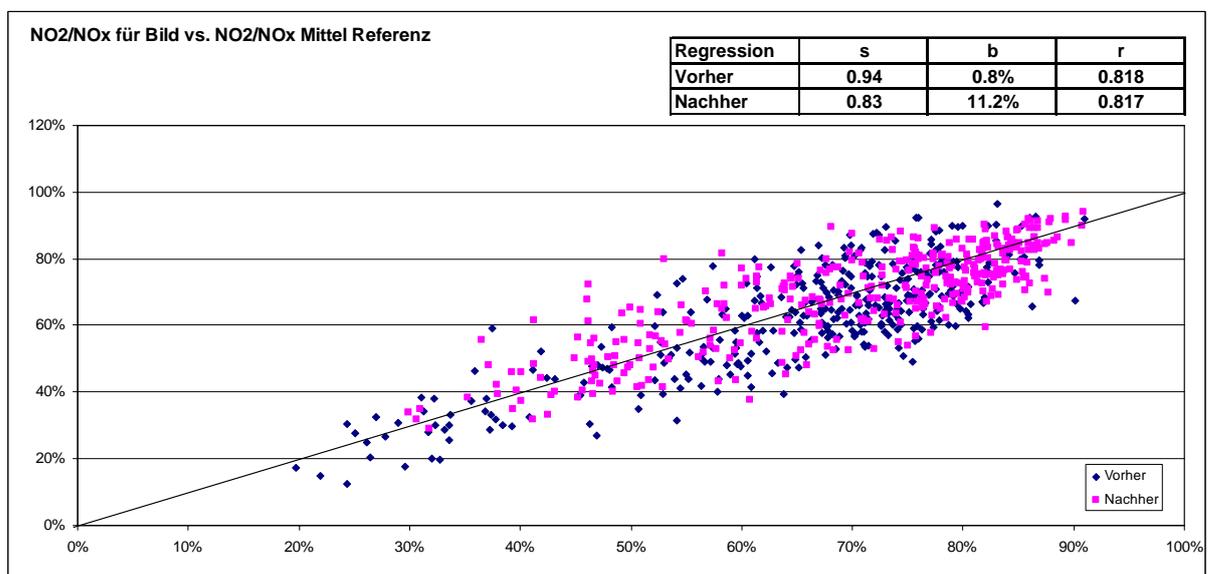
Berücksichtigt man dann noch, dass auch die modernen Busse nicht 100% NO<sub>2</sub> ausstossen, die Immissionen nur zum Teil aus dem Gebiet stammen (Hintergrundbelastungen) und der Effekt der erhöhten NO<sub>2</sub>-Emissionen vorwiegend im Nahbereich der Strassen - d.h. im Bereich mit der stärksten Auslenkung aus dem chemischen Gleichgewicht - wirksam ist, ist die beobachtete Verschiebung für diese Ursache zu gross (wenn man nicht annimmt, dass die vom BAFU veröffentlichten Emissionsfaktoren in hohem Masse falsch sind). Dies insbesondere unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Station Bild offensichtlich nicht als strassennah zu betrachten ist.

Auch die Art der Verschiebung - vorwiegend bei mittleren NO<sub>x</sub>-Konzentrationen - weist nicht auf diese Ursache hin.

Andere physikalisch-chemische Ursachen für eine solche Verschiebung würden ein sehr komplexes Zusammenwirken verschiedenster Faktoren bedingen, wofür im Moment keine Indizien vorhanden sind.

Abbildung 13 zeigt das Ergebnis der linearen Regression für das NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>- Verhältnis an der Messstation Bild gegen dasjenige im Mittel der Referenzstandorte für die Vorher- und die Nachher-Phase. Es ergibt sich, dass in der Nachher-Phase an der Station Bild auch dann rund 11% NO<sub>2</sub> zu erwarten sind, wenn bei den Referenzstandorten kein NO<sub>2</sub> vorliegt (Umwandlungsgrad 0%). Dies weist sehr deutlich auf einen messtechnischen Artefakt hin.

Abbildung 13: Verhältnis NO<sub>2</sub>/NO<sub>x</sub>-Immissionen an der Messstation Bild im Vergleich zum Mittel der Referenzstandorte für die Vorher- und die Nachher-Phase

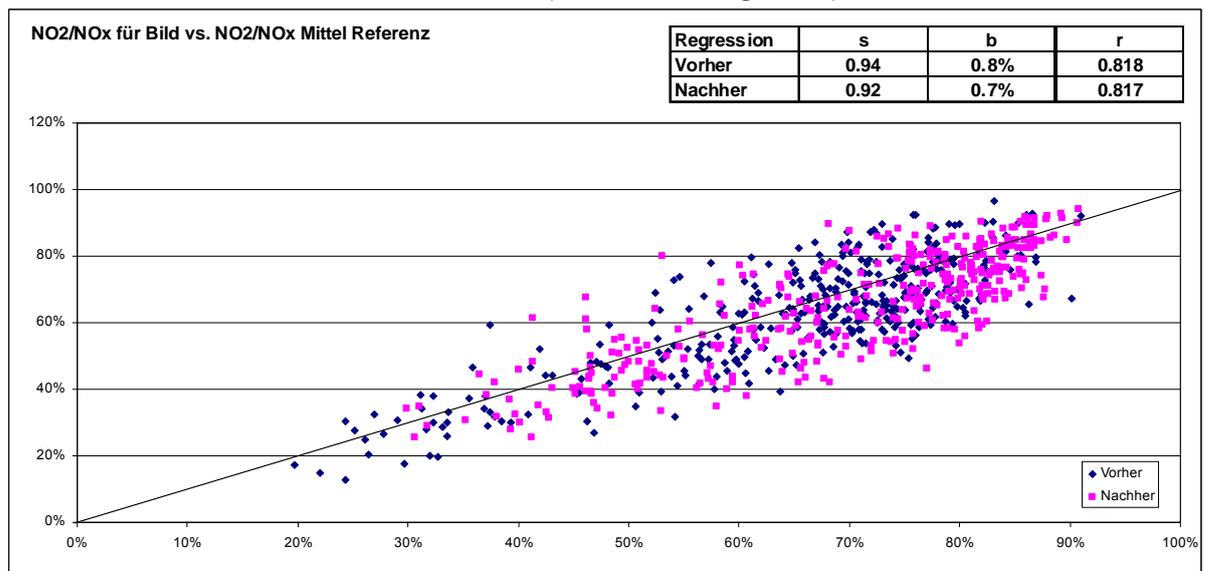


Damit ist zu prüfen, ob eine messtechnische Ursache vorgelegen haben könnte.

Da die Wahrscheinlichkeit für solche Einflüsse beim Wechsel von Messgeräten erhöht ist und am Standort Bild zwischen 13.08.2008 und 03.12.2008 in Folge Wartungsarbeiten ein Ersatzmessgerät eingesetzt werden musste, wurde untersucht, ob und in welchem Mass Abweichungen zwischen den Messgeräten eine solche Verschiebung verursacht haben könnten.

Dazu wurde für die  $\text{NO}_2$ -Werte dieses Messzeitraumes eine Korrekturfunktion (Kombination Korrekturfaktor - Offset) gesucht, welche bei gleichbleibender Korrelation das „Rest- $\text{NO}_2$ “ beim Standort Bild im Falle des Umwandlungsgrades 0 bei den Referenzstationen zum Verschwinden bringt oder mindestens stark minimiert. In Abbildung 14 ist die Regression ersichtlich, welche sich ergibt, wenn die  $\text{NO}_2$ -Werte zwischen 13.08.2008 und 03.12.2008 20% tiefer gewesen wären, falls sie mit dem Originalgerät gemessen worden wären (z.B. Messgerät 1 mit -10% und Messgerät 2 mit +10% gegenüber absolutem Standard, beide somit innerhalb Toleranz).

Abbildung 14: Verhältnis  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Immissionen an der Messstation Bild im Vergleich zum Mittel der Referenzstandorte für die Vorher- und die Nachher-Phase mit Korrektur Messwerte Nachher-Phase (zur Korrektur vgl. Text)



Es zeigt sich, dass eine entsprechende Abweichung zwischen den Messgeräten die beobachtete Verschiebung im  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnis erklären würde.

Ähnliche Resultate ergeben sich mit einer Reihe anderer Korrekturfunktionen. Entscheidend dabei ist aber, dass bei Anwendung aller dieser Korrekturfunktionen ein Jahresmittelwert für  $\text{NO}_2$  am Standort Bild resultiert, der 1 bis  $1.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$  tiefer ist, als bei Verwendung der Originaldaten. Damit würde mit dem postulierten Messtechnikeffekt auch die Drift der Messung Bild im Vergleich zum Passivsammler erklärt.

Ostluft plant, zu überprüfen, ob vom Auftreten des angenommenen (oder eines anderen) Messtechnikeffekts ausgegangen werden kann/muss. Sollte die Überprüfung ergeben, dass dies nicht der Fall ist, behalten die Schlussfolgerungen dieses Berichts - mit Ausnahme der Erklärung der Abweichung zwischen Passivsammler und Monitor am Standort Bild - trotzdem ihre Gültigkeit. Hingegen würde sich das interessante Untersuchungsthema stellen, welche (neuartigen) physikalisch-chemischen Mechanismen diesen Effekt umfassend erklären können.



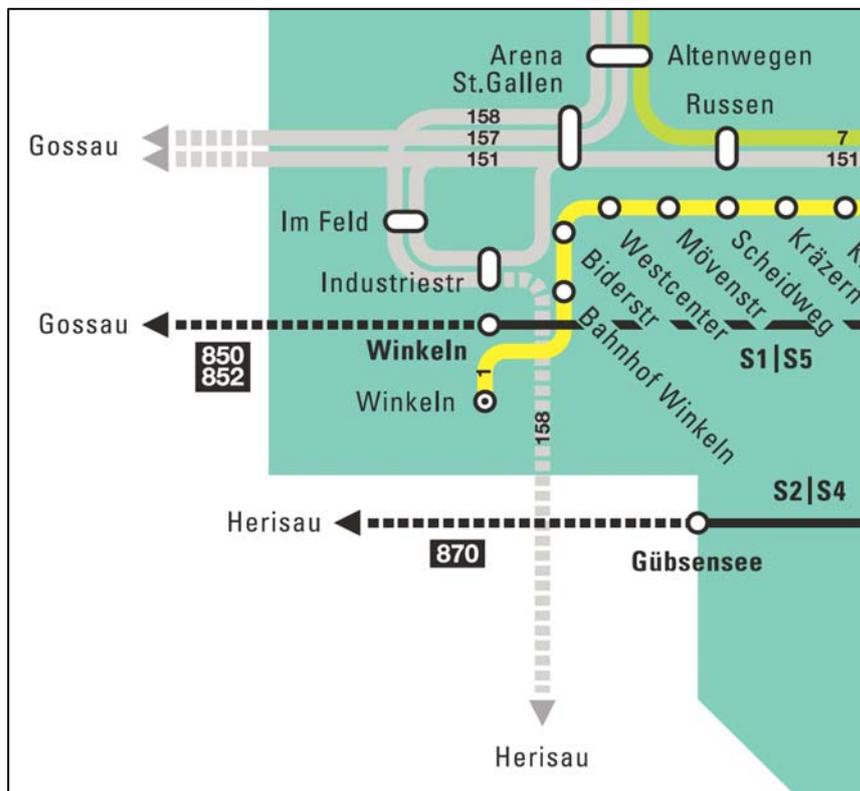
#### 5.4 Anhang D: ÖV im Bereich der Industriestrasse

Abbildung 15 zeigt den Linienplan des ÖV im Bereich der Industriestrasse Winkeln.

Gemäss Linienplan verkehren die Linie 158 ‚Herisau-Abtwil‘ bzw. ‚Abtwil-Herisau‘ und die Linie 151 ‚St. Gallen-Gossau‘ bzw. ‚Gossau-St. Gallen‘. Der Fahrplan SBB führt auch noch andere Linien auf, die die Haltestellen bedienen (Linie 116/117, 120/121, ...).

Insgesamt verkehren im Jahresdurchschnitt rund 250 Busse pro Tag.

Abbildung 15: Linienplan im Bereich der Industriestrasse





## **6 Beilage: Resultate der Überprüfung des Designs der Untersuchung**

[Auszug aus dem Bericht „Immissionsmessungen St. Gallen West, Zwischenbericht Projektphase A (Design der Untersuchung)“ vom 7. September 2007]



## B 1 Vorgehen in Bezug auf das Design der Untersuchung

### B 1.1 Grundlegende Annahmen (Hypothesen) für die Auswertung

Das Vorgehen beruht auf folgenden Annahmen (Hypothesen):

1. Es existieren Referenzstationen (Rorschacherstrasse, ...), welche im Zeitraum der Vorhermessung auf Basis einer Mittelungsperiode von höchstens einigen wenigen Tagen eine statistisch signifikante Korrelation der Messungen zum Standort Bild zeigen.  
Damit sind Witterungseinflüsse auf die Messung am Standort Bild "eliminierbar".
2. Das auf dieser Statistik basierende Korrelationsprognosemodell für die Messungen am Standort Bild weist eine Abweichung auf, welche den erwarteten Einfluss der standortspezifischen Änderungen der Emissionen nicht majorisiert.  
Damit sind standortspezifische Emissionsänderungen grundsätzlich detektierbar.
3. Die Erfassung der Begleitparameter lässt eine hinreichend detaillierte Abschätzung der standortspezifischen Änderungen der Emissionen zu.  
Damit werden die differentiellen Immissionsänderungen "erklärbar".

### B 1.2 Vorgehen bei den Abklärungen

Die Prüfung der vorhandenen Messungen und der erfassten Begleitparameter im Hinblick auf die Tauglichkeit für das Vorgehen bei der Auswertung umfasst folgende Arbeitsschritte:

1. Etablierung eines Korrelationsmodells Immissionsbelastung Referenzstandort(e) - Standort Bild für die interessierenden Messgrößen (NO<sub>x</sub>, PM, ...) anhand des Datensatzes mit Wahl der Bestvariante (Mittelungsperiode, ...).
2. Überprüfung des Korrelationsmodells Immissionsbelastung Referenzstandort(e) - Standort Bild.
3. Beschaffung der für das Emissionsmonitoringmodell<sup>2</sup> notwendigen Daten.
4. Etablierung des Emissionsmonitoringmodells auf der Basis der vorhandenen Begleitparametermessungen für den Vorher-Zustand.
5. Validierung des Emissionsmonitoringmodells im Hinblick auf die immissionsseitige Antwort der Station Bild auf Änderungen der Emissionsverhältnisse. Dazu steht die Anwendung des Ausbreitungsmodells Improg im Vordergrund.
6. Schlussfolgerungen / Kurzberichterstattung im Hinblick auf
  - die Chancen, die Ziele des Projekts mit dem gewählten Design zu erreichen
  - die zur Erreichung der Ziele notwendigen Modifikationen des Messkonzepts
  - die Realisierbarkeit der entsprechenden Modifikation des Messkonzepts
  - die Modifikationsmöglichkeiten für die Ziele unter Wahrung der Projektzweckmässigkeit.

<sup>2</sup> Für das Emissionsmonitoring stehen aus offensichtlichen Gründen keine direkten Messungen zur Verfügung. Zu Grunde liegen auf Modellprognosen in Bezug auf den Verkehr, Fahrmodi, ..., beruhende „Modellemissionen“. Deshalb liegt ein Emissionsmonitoringmodell vor.



## B 2 Ergebnisse Betriebsphase

### B 2.1 Korrelationsmodell

#### B 2.1.1 Etablierung

In die Analyse werden die Daten der Ostluft-Messstationen St. Gallen Bild, St. Gallen Rorschacherstrasse, Frauenfeld Bahnhofstrasse und Winterthur Obertor einbezogen.

Zu Grunde gelegt wird der von den Baumassnahmen am Standort Bild noch nicht beeinflusste Zeitraum vom 1. Juni 2004 bis 31. Mai 2005. Fehlende Messwerte werden - sofern nicht mehr als zwei Tage betroffen sind - interpoliert, damit möglichst viele gültige Wochenmittel zur Verfügung stehen.

Umfangreiche statistische Analysen zeigen die stabilsten Korrelationen für den Mittelungszeitraum von einer Woche. Dies ist am Beispiel des PM10 illustriert im Zwischenbericht Phase A.

Die multiple lineare Regression<sup>3</sup> der Luftschadstoffe NO<sub>x</sub>, NO<sub>2</sub> und PM10 für die Wochenmittel ergibt sehr gute Korrelationskoeffizienten (Tabelle 12). Die Details der Berechnung sind im Zwischenbericht Phase A dargestellt.

Tabelle 12: Ergebnisse der multiplen linearen Regression der Wochenmittel an der Station St. Gallen Bild gegen die Stationen St. Gallen Rorschacherstrasse, Frauenfeld Bahnhofstrasse und Winterthur Obertor für NO<sub>x</sub> (ppb), NO<sub>2</sub> (µg/m<sup>3</sup>) und PM10 (µg/m<sup>3</sup>).

Stoff	Regressionskoeffizient s			Achsenabschnitt a	Korrelationskoeffizient r
	St. Gallen Rorschacherstrasse	Frauenfeld Bahnhofstrasse	Winterthur Obertor		
NO <sub>x</sub> (ppb)	0.73	-0.10	0.24	3.0	0.959
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	0.36	0.36	0.10	6.1	0.925
PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	0.14	0.69	-0.02	0.6	0.917

Allerdings resultieren Regressionskoeffizienten s(i), welche atmosphärenphysikalisch kaum sinnvoll interpretiert werden können.

Weitere Analysen mit sinnvollen atmosphärenphysikalischen Gewichtungen zeigen, dass mit einer Mittelung über die drei Referenzstationen vergleichbare Korrelationskoeffizienten resultieren (Tabelle 13, Seite 6-6).

Auch die Achsenabschnitte liegen im gleichen Bereich wie bei der reinen statistischen Regression.

Die Details der Berechnung sind im Zwischenbericht Phase A dargestellt.

<sup>3</sup> Regressionsgleichung: Stoff Bild =  $\sum_i$  [Regressionskoeffizient(i) x Stoff Station(i)] + Achsenabschnitt bzw.  $c(\text{Bild}) = \sum_i [s(i) \times c(i)] + a$

Tabelle 13: Ergebnisse der multiplen linearen Regression der Wochenmittel an der Station St. Gallen Bild gegen das Mittel der Stationen St. Gallen Rorschacherstrasse, Frauenfeld Bahnhofstrasse und Winterthur Obertor für  $\text{NO}_x$  (ppb),  $\text{NO}_2$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und  $\text{PM}_{10}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Stoff	Regressionskoeffizient s			Achsenabschnitt a	Korrelationskoeffizient r
	Mittel				
	St. Gallen Rorschacherstrasse	Frauenfeld Bahnhofstrasse	Winterthur Obertor		
$\text{NO}_x$ (ppb)	1.15			-0.9	0.948
$\text{NO}_2$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.82			5.6	0.922
$\text{PM}_{10}$ ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	0.80			1.4	0.906

Im Folgenden wird auf der Regression mit den Mittelwerten der Referenzstationen basiert, da keine relevanten Unterschiede zur rein statistischen multiplen Regression beobachtet werden, die Mittelung immissionsklimatologisch Sinn macht und einzelne Ausreisser an den Referenzstandorten durch die Mittelung an Gewicht verlieren.

Damit ergibt sich das Regressionsmodell wie folgt:

$$\text{NO}_x \text{ (Bild)} = 1.15 \times \text{NO}_x \text{ (Mittel Referenzstandorte)} - 0.9 \quad (\text{ppb})$$

$$\text{NO}_2 \text{ (Bild)} = 0.82 \times \text{NO}_2 \text{ (Mittel Referenzstandorte)} + 5.6 \quad (\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

$$\text{PM}_{10} \text{ (Bild)} = 0.80 \times \text{PM}_{10} \text{ (Mittel Referenzstandorte)} + 1.4 \quad (\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

Die Resultate der Regression sind in Abbildung 16 für  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  (Seite 6-7) sowie Abbildung 17 für  $\text{PM}_{10}$  (Seite 6-8) dargestellt.

Im Anhang des Zwischenberichts Phase A sind die entsprechenden Regressionen getrennt für die Wochentage, den Samstag und den Sonntage dargestellt. Es zeigt sich, dass diese - in Bezug auf die Emissionsverhältnisse grundsätzlich sinnvolle - Aufteilung in keinem Gewinn in der Aussagekraft resultiert.

Abbildung 16: Regression Station Bild gegen Mittel der Referenzstationen für NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub>

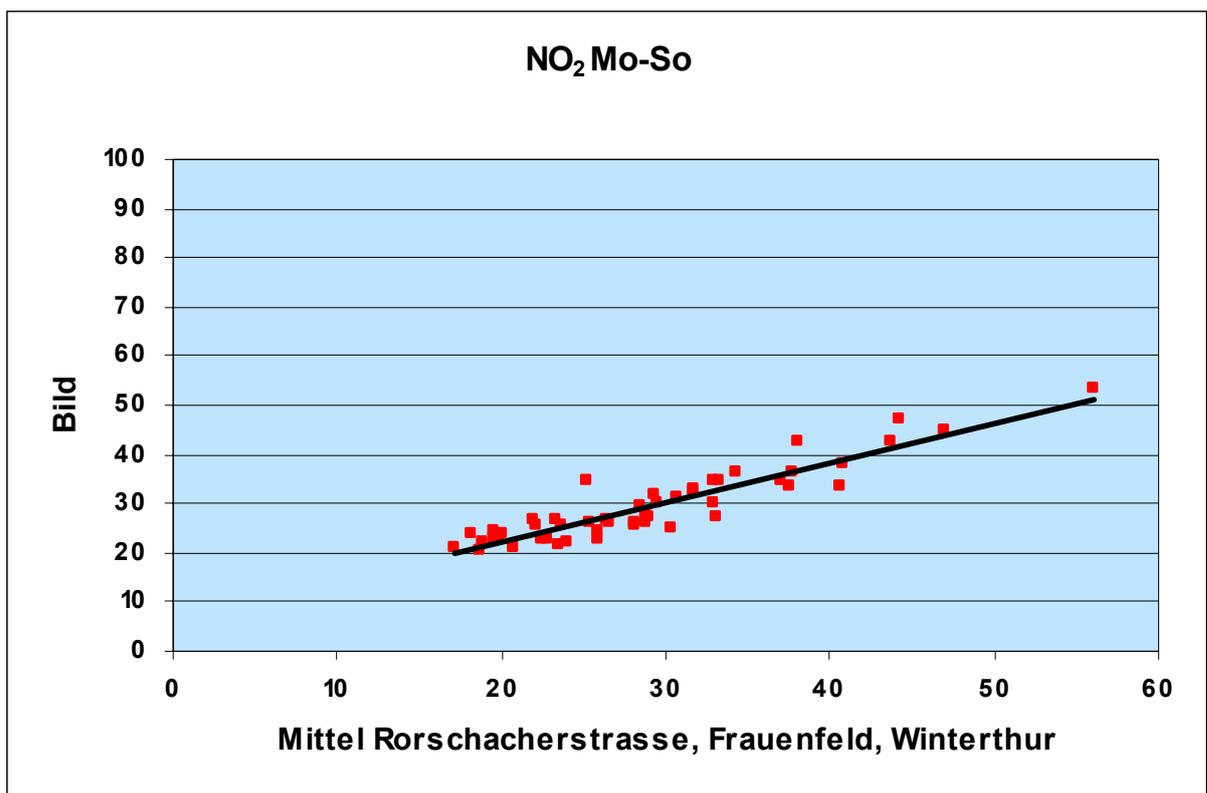
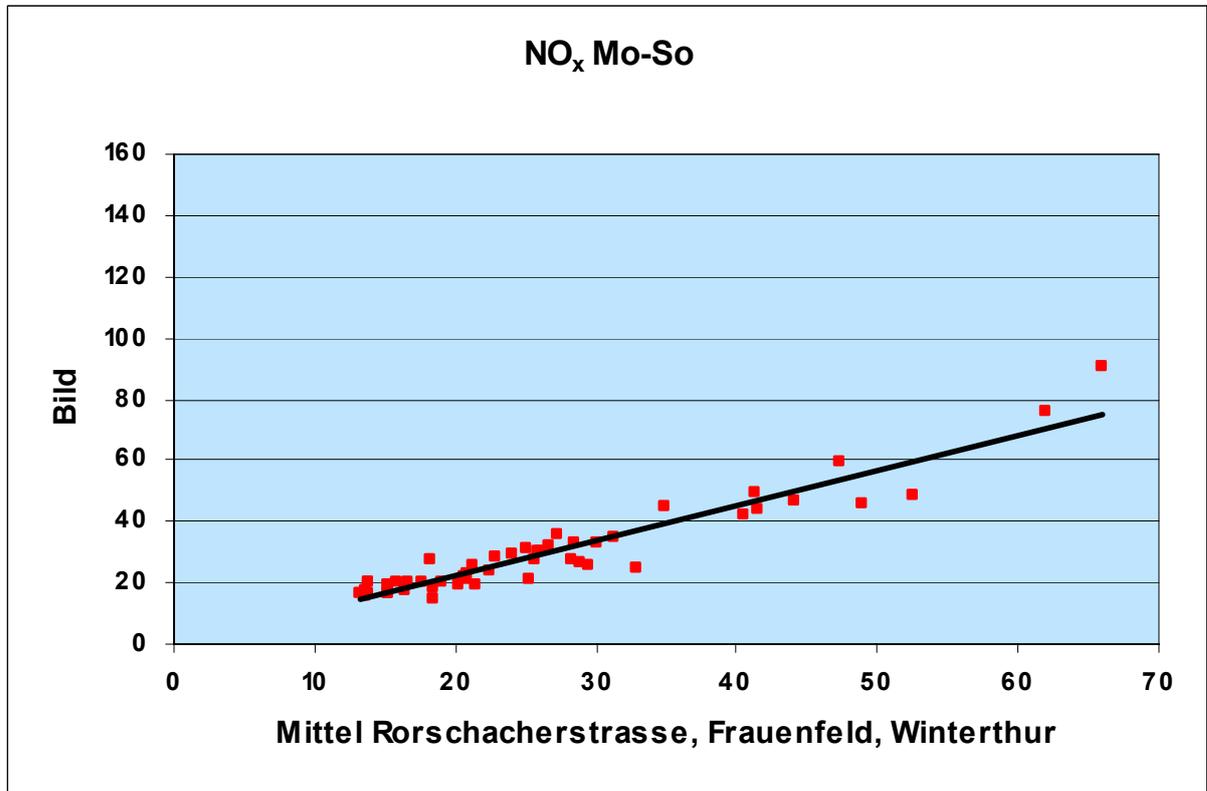
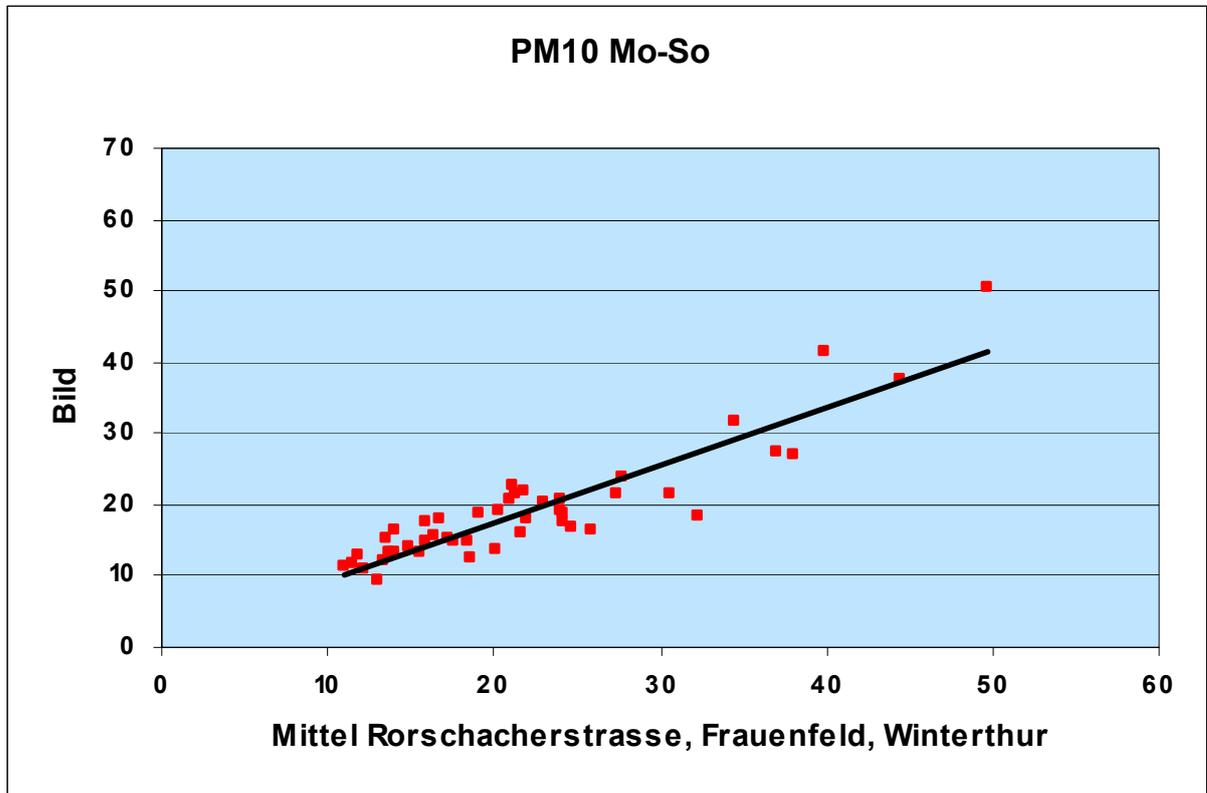


Abbildung 17: Regression Station Bild gegen Mittel der Referenzstationen für PM10



#### B 2.1.2 Verhältnis der Jahresmittelwerte

Auf Grundlage des Korrelationsmodells kann nun aus dem Jahresmittel der Luftschadstoffbelastungen, berechnet als Mittelwert über die Referenzstationen, der Jahresmittelwert an der Station Bild bestimmt werden. Dieses Jahresmittel stellt - für die zukünftigen Zustände - die Prognose für die Luftbelastung im Westen der Stadt St. Gallen dar, welche sich bei einer durchschnittlichen Emissionsentwicklung eingestellt hätte<sup>4</sup>.

Tabelle 14: Vergleich der mit dem Korrelationsmodell berechneten und tatsächlichen Jahresmittelwerte für die Periode 1. Juni 2004 bis 31. Mai 2005

Stoff	Berechnung mit Korrelationsmodell	Berechnet	Tatsächlich
<b>NO<sub>x</sub> (Bild)</b>	= 1.15 x 26.5 - 0.9 =	<b>29.6 ppb</b>	<b>29.5 ppb</b>
<b>NO<sub>2</sub> (Bild)</b>	= 0.82 x 29.1 + 5.6 =	<b>29.5 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>29.4 µg/m<sup>3</sup></b>
<b>PM10 (Bild)</b>	= 0.80 x 22.1 + 1.4 =	<b>19.1 µg/m<sup>3</sup></b>	<b>19.2 µg/m<sup>3</sup></b>

<sup>4</sup> Genauer: Falls die Emissionsentwicklung der mittleren Entwicklung der Referenzstationen entsprechen würde.

Natürlich müssen die mittels Regressionsmodell bestimmten und die tatsächlich beobachteten Jahresmittel an der Station St. Gallen Bild für die Periode 1. Juni 2004 bis 31. Mai 2005 übereinstimmen. Einerseits faktisch, da ja die Effekte der Baustellen und der Betrieb der neuen E-mittenten erst ab Juni 2005 auftreten. Andererseits muss eine sehr gute Übereinstimmung bestehen, da der Datensatz dieser Periode zur Ableitung des Regressionsmodells diente.

Die für die zukünftigen Zustände wichtige Frage, wie verlässlich die Bestimmung der bei einer mittleren Entwicklung im Gebiet zu erwartenden Jahresmittelwerte mittels Regressionsmodell ist, muss auf statistischem Weg erfolgen.

### B 2.1.3 Verlässlichkeit der mittels Regressionsmodell bestimmten Jahresmittelwerte

Grundsätzlich ist für die Validierung eines Modells die Entwicklung an einem ersten Datensatz und die Prüfung an mindestens einem zweiten Datensatz, besser sogar an einer Vielzahl unabhängiger Datensätze, die optimale Lösung.

In der Praxis steht meist - wie im vorliegenden Projekt - aber nur ein Datensatz zur Verfügung. Man behalf sich früher in diesem Fall - wenn möglich - mit einer Datenteilung. D.h. die Daten werden stochastisch auf zwei Datensätze aufgeteilt.

Dies ist aber nur möglich, falls die Anzahl Elemente pro Stichprobe genügend gross ist. Beim vorliegenden Projekt - bei dem die Daten einen Jahresgang aufweisen - müsste sogar gefordert werden, dass pro Jahreszeit eine genügend grosse Stichprobe vorhanden ist.

Zudem entfällt seit einigen Jahren der Vorbehalt der zu grossen erforderlichen Computerleistung für die Anwendung moderner alternativer statistischer Verfahren selbst in Bezug auf den PC.

Im vorliegenden Projekt wird auf eine Datenteilung verzichtet und auf die (rechenleistungsintensive) statistische Methode des "Bootstrapping"<sup>5</sup> zurück gegriffen.

Nach Susumu Shikano (2005) sind Bootstrap und Jackknife Verfahren, "*mit denen Konfidenzintervalle (...) gebildet werden. (...) Während bei parametrischen Verfahren die interessierende Verteilung mathematisch hergeleitet wird, rekonstruiert das Bootstrap-Verfahren die Verteilung direkt aus einer Stichprobe, indem viele (Bootstrap-)Stichproben ‚mit Zurücklegen‘ daraus gezogen werden. Das Bootstrap-Verfahren wurde auf der Basis des Jackknife-Verfahrens entwickelt, das wegen seiner geringeren Rechenintensität schon länger praktiziert wird. Bei diesem Verfahren werden anstelle der Stichproben ‚mit Zurücklegen‘ mehrere Teilmengen aus den Daten gezogen, um dasselbe Ziel zu erreichen. Der Vorteil beider Verfahren liegt vor allem in ihrer breiten Anwendbarkeit auf unterschiedlichste statistische Kennwerte.*"

Aus der Anwendung des Bootstrapping ergeben sich Konfidenzintervalle für den auf Grund der Referenzstationen geschätzten Jahresmittelwert an der Station Bild (ausgedrückt als Streuung der Abweichung zwischen den Mittelwerten an der Station Bild und den Referenzstationen). Dabei wird ein Resampling mit 100'000 Stichproben verwendet. Die Ergebnisse für das 95%-Konfidenzintervall sind in Tabelle 15 dargestellt.

<sup>5</sup> Bootstrapping is a general approach to statistical inference based on building a sampling distribution for a statistic by resampling from the data at hand. The term 'bootstrapping,' due to Efron (1979), is an allusion to the expression 'pulling oneself up by one's bootstraps {Stiefelschlaufe}'. (John Fox; Bootstrapping Regression Models; Appendix to An R and S-PLUS Companion to Applied Regression; January 2002)

Tabelle 15: Konfidenzintervall 95% der mit dem Korrelationsmodell berechneten Jahresmittelwerte (Bootstrapping mit 100'000 Stichproben)

Stoff	Berechnet	95%-Konfidenzintervall			Details
		Untere Grenze	Obere Grenze	± % des berechneten Werts	
NO <sub>x</sub> (ppb)	29.6	28.2	31.1	±5%	Zwischenbericht Phase A
NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	29.5	28.6	30.3	±3%	Zwischenbericht Phase A
PM10 (µg/m <sup>3</sup> )	19.1	18.0	20.2	±6%	Zwischenbericht Phase A

Aus der Anwendung des Bootstrapping kann geschlossen werden, dass auf dem 95%-Niveau die Jahresmittelwerte an der Station Bild auf zwischen ±3% für NO<sub>2</sub>, ±5% für NO<sub>x</sub> und ±6% für PM10 prognostizierbar sind. Berücksichtigt man zusätzlich eine (bezogen auf verschiedene Jahre relative) Messunsicherheit in der gleichen Grössenordnung, was für die in einem gemeinsamen Netz betriebenen Stationen eine gute Annahme darstellen dürfte, ergeben sich die in Tabelle 16 zusammengefassten Vertrauensbereiche.

Tabelle 16: Korrelationsmodell mit 95%-Vertrauensbereich unter Einschluss einer Messunsicherheit (mit Student-t von 1.7 hochgerechnet)

Stoff	Berechnung mit Korrelationsmodell	Vertrauensbereich
NO <sub>x</sub> (Bild)	= 1.15 x NO <sub>x</sub> (Mittel Referenzstandorte) - 0.9	±9%
NO <sub>2</sub> (Bild)	= 0.82 x NO <sub>2</sub> (Mittel Referenzstandorte) + 5.6	±5%
PM10 (Bild)	= 0.80 x PM10 (Mittel Referenzstandorte) + 1.4	±10%

Damit sind Unterschiede zwischen Prognose und Messung von der Grössenordnung von 2.5 ppb bei NO<sub>x</sub>, 1.5 µg/m<sup>3</sup> bei NO<sub>2</sub> und 2 µg/m<sup>3</sup> bei PM10 als statistisch auf hohem Niveau gesichert zu betrachten. Dies ist zu vergleichen mit den mit Inbetriebnahme der Vorhaben erwarteten Veränderungen (vgl. B 2.2.6).

Damit kann die grundlegende Annahme (Hypothese) Nr. 1 für die Auswertung der Daten aus B 1.1 (Seite 6-3)

"1. Es existieren Referenzstationen (Rorschacherstrasse, ...), welche im Zeitraum der Vorhermessung auf Basis einer Mittelungsperiode von höchstens einigen wenigen Tagen eine statistisch signifikante Korrelation der Messungen zum Standort Bild zeigen."

als erfüllt betrachtet werden und Witterungseinflüsse auf die Messung am Standort Bild sind "eliminierbar".

## B 2.2 Erwartete Effekte aus den Vorhaben auf die Messungen an der Station Bild

### B 2.2.4 Definition der vorzunehmenden Prüfung

Für die Prüfung der grundlegenden Annahme (Hypothese) Nr. 2 für die Auswertung der Daten aus B 1.1 (Seite 6-3)

"2. Die auf dieser Statistik basierende Korrelationsprognosemodell für die Messungen am Standort Bild weist eine Abweichung auf, welche den erwarteten Einfluss der standortspezifischen Änderungen der Emissionen nicht majorisiert."

sind die aus den Vorhaben im Gebiet auf die Messungen an der Station Bild zu erwartenden Effekte zu bestimmen.

Dies erfolgt vorerst für die Betriebsphase der Vorhaben.

### B 2.2.5 Emissionsmonitoringmodell für die Betriebsphase

Die Emissionen können auf Grundlage der Verkehrsmodellrechnungen des Kantons (DTV) unter Verwendung der Verkehrszählungen zur Bestimmung der Anteile der SNF bzw. zur Überprüfung der Modellwerte bestimmt werden.

Die Daten der Verkehrszählungen stehen als Stundenwerte für die gesamte Zeitperiode zur Verfügung. Die Modellrechnungen liegen für den DTV für einzelne Zustände vor.

Die Informationen zu den verschiedenen Zuständen beziehen sich grundsätzlich auf das Jahr 2004 (ursprünglicher Zeitpunkt der Inbetriebnahme des Stadions). Dies ist bei der Interpretation zu beachten.

Die Emissionsberechnungen erfolgen dann linkbezogen auf der Basis der Emissionsfaktoren des BAFU.

### B 2.2.6 Zu erwartende Effekte für die Betriebsphase

Vorerst ist festzuhalten, dass eine getrennte Betrachtung der verschiedenen Vorhaben (Stadion-EKZ, A1-Anschluss, ...) nicht möglich ist, da sie zeitlich kombiniert in Betrieb gehen.

D.h. folgende Zustände sind massgebend:

- Ausgangszustand ohne umgebauten A1-Anschluss und ohne Stadion-EKZ.
- Betriebszustand mit umgebautem A1-Anschlusses und mit dem Stadion-EKZ.

Die Prognose mit Immprog auf der Basis der Daten 2004 zeigt, dass am Messwagenstandort beim NO<sub>x</sub> eine Reduktion im Bereich von 5 bis 6 µg/m<sup>3</sup> (2.5 bis 3 ppb) und beim NO<sub>2</sub> 1.5 - 3.0 µg/m<sup>3</sup> zu erwarten ist. Beim PM10 kann von grob geschätzten Abnahmen zwischen 0.4 und 0.8 µg/m<sup>3</sup> ausgegangen werden.

### B 2.3 Erwartete und mittels Korrelationsmodell detektierbare Effekte

Der Vergleich zwischen den auf Grundlage des Emissionsmonitoringmodells prognostizierten Effekten aus den Vorhaben auf die Luftbelastungssituation (B 2.2.6, Seite 6-11) und den mittels Korrelationsmodell verlässlich detektierbaren Unterschiede (B 2.1.3, Seite 6-9) zeigt das in Tabelle 17 dargestellte Bild.

Tabelle 17: Vergleich der auf Grundlage des Emissionsmonitoringmodells prognostizierten Effekte aus den Vorhaben auf die Luftbelastungssituation und den mittels Korrelationsmodell verlässlich detektierbaren Unterschiede

Stoff	Prognostiziert	Detektierbar	Beurteilung
NO <sub>x</sub>	2.5 - 3 ppb	> 2.5 ppb	Falls Prognose zutrifft, knapp nachweisbar
NO <sub>2</sub>	1.5 - 3 µg/m <sup>3</sup>	> 1.5 µg/m <sup>3</sup>	Falls Prognose zutrifft, nachweisbar
PM10	0.4 - 0.8 µg/m <sup>3</sup>	> 2 µg/m <sup>3</sup>	Falls Prognose zutrifft, nicht nachweisbar

Damit kann die grundlegende Annahme (Hypothese) Nr. 2 für die Auswertung der Daten aus B 1.1 (Seite 6-3)

"2. Das Korrelationsprognosemodell für die Messungen am Standort Bild weist eine Abweichung auf, welche den erwarteten Einfluss der standortspezifischen Änderungen der Emissionen nicht majorisiert."

als für NO<sub>x</sub> knapp und NO<sub>2</sub> komfortabel erfüllt betrachtet werden.

Nicht erfüllt ist die Hypothese für PM10. Allerdings ist die Unsicherheit der Prognose bei PM10 besonders gross, da insbesondere der Aufwirbelungsanteil nur unzureichend quantifiziert werden kann.

Damit sind standortspezifische Emissionsänderungen für NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> grundsätzlich detektierbar.

#### B 2.4 Qualität der Erfassung der Begleitparameter

Für die Verifizierung der grundlegenden Annahme (Hypothese) Nr. 3 für die Auswertung der Daten aus B 1.1 (Seite 6-3)

"3. Die Erfassung der Begleitparameter lässt eine hinreichend detaillierte Abschätzung der standortspezifischen Änderungen der Emissionen zu."

ist zu prüfen, ob das Emissionsmonitoringmodell hinreicht, die verkehrlichen Auswirkungen zu erfassen.

Wie in B 2.2.5 ausgeführt, können die Emissionen auf Grundlage der Verkehrsmodellrechnungen des Kantons (DTV) unter Verwendung der Verkehrszählungen zur Bestimmung der Anteile der SNF bzw. zur Überprüfung der Modellwerte bestimmt werden. Allerdings stehen für die wichtigen Strassen im Nahfeld der Messstation Bild (Zürcherstrasse und Anschluss) keine vollständigen Angaben zum lufthygienisch äusserst bedeutsamen Schwerverkehrsanteil (% SNF) zur Verfügung. Sie müssen auf Basis der Ergebnisse der umliegenden Messstellen interpoliert werden.

Die Daten der Verkehrszählungen stehen als Stundenwerte für die gesamte Zeitperiode zur Verfügung. Die Modellrechnungen liegen für den DTV für einzelne Zustände vor.

In Bezug auf den Schwerverkehr ist die Datenlage für die Strassen im Nahfeld der Messstation punktuell zu verbessern.

Falls für die Auswertung der Lufthygienemessungen eine Kalibration des Vorher-Zustandes 2004/2005, d.h. ohne geänderten Autobahn-Anschluss erfolgt und die Schwerverkehrsanteile auf den Strassen im Nahfeld der Messstation mittels Stichproben validiert werden, kann von einer hinreichenden Qualität des Emissionsmonitoringmodells ausgegangen werden.

Damit werden die differentiellen Immissionsänderungen für die Betriebsphase "erklärbar".



## **7 Beilage: Resultate der Abklärung des Einflusses der Bauemissionen**

[Auszug aus dem Bericht „Immissionsmessungen St. Gallen West, Zwischenbericht Projektphase B (Abklärung des Einflusses der Bauemissionen)“ vom 13. Mai 2008]



## C 1. Resultate Screening Bauphase

### C 1.1. Immissionen

Es wird für das Screening das Korrelationsmodell für die Betriebsphase verwendet. Verglichen werden die Mittelwerte aus Messung und Modellprognose für verschiedene Perioden in der Bauphase 1. Juni 2005 bis 31. Dezember 2007.

Dabei ist zu beachten, dass

- eine getrennte Betrachtung der verschiedenen Vorhaben (Stadion, A1-Anschluss, ...) nicht möglich ist, da sie zeitlich kombiniert in Ausführung standen.
- zwischen 1. Juni 2005 und 30. November 2005 vorwiegend Vorbereitungsarbeiten für den Strassenbau (A1 und Erschliessungsstrassen) stattfanden.
- zwischen 1. Dezember 2005 und Frühjahr 2006 der Aushub für das Stadion mit Einkaufszentrum erfolgte.
- zwischen Frühjahr 2006 und Ende 2007 Bauvorgänge unterschiedlicher Immissionsrelevanz beim Strassen- und Stadionbau stattfanden.

Der Vergleich zwischen den Messergebnissen und der Prognose mittels des Korrelationsmodells zeigt das in Tabelle 18 dargestellte Bild.

Die ausgewiesenen „Modellimmissionen“ sind dann zu erwarten, falls die Emissionsentwicklung am Standort St. Gallen West der mittleren Entwicklung der Referenzstationen entspricht.

Positive Abweichungen weisen somit auf lokale Mehremissionen und negative Differenzen auf lokale Emissionsabnahmen im Vergleich zu den Referenzstandorten hin.

Im Rahmen des Screenings zeigte sich - im ersten Moment überraschend - für das Jahr 2007 bei  $\text{NO}_x$  und  $\text{NO}_2$  eine deutliche, signifikante Entlastung im Vergleich zu der mit dem Modell prognostizierten mittleren Emissionsentwicklung (Tabelle 18).

Zu erwarten gewesen wären in Folge der Bauaktivitäten Zusatzbelastungen und keine Entlastungen.

Die Erklärung dieses Effektes ergibt sich - wie in C 1.2 dargestellt - im Rahmen des Screenings der Emissionen.

Tabelle 18: Differenz zwischen den mittels Korrelationsmodell resultierenden Prognosen und den tatsächlichen Messungen (*kursiv und grau hinterlegt = negative Abweichungen*) für verschiedene Perioden der Bauphase sowie mittels Korrelationsmodell verlässlich detektierbare Unterschiede

Stoff	Periode	Messung	Korrelationsmodell		Differenz / Beurteilung
			Prognose	Detektierbar	
NO <sub>x</sub>	Juni 2005 Mai 2006	31.9 ppb	30.9 ppb	> 2.5 ppb	1.0 ppb / Nicht signifikant
	2006	31.3 ppb	32.1 ppb	> 2.5 ppb	0.9 ppb / Nicht signifikant
	2007	22.4 ppb	26.7 ppb	> 2.5 ppb	4.3 ppb / Signifikant
	Dezember 2005 November 2006	30.6 ppb	30.3 ppb	> 2.5 ppb	0.3 ppb / Nicht signifikant
	Dezember 2006 November 2007	25.6 ppb	30.1 ppb	> 2.5 ppb	4.4 ppb / Signifikant
NO <sub>2</sub>	Juni 2005 Mai 2006	32.9 µg/m <sup>3</sup>	31.3 µg/m <sup>3</sup>	> 1.5 µg/m <sup>3</sup>	1.6 µg/m <sup>3</sup> / Knapp signifikant
	2006	32.5 µg/m <sup>3</sup>	31.1 µg/m <sup>3</sup>	> 1.5 µg/m <sup>3</sup>	1.4 µg/m <sup>3</sup> / Nicht signifikant
	2007	26.1 µg/m <sup>3</sup>	28.7 µg/m <sup>3</sup>	> 1.5 µg/m <sup>3</sup>	2.6 µg/m <sup>3</sup> / Signifikant
	Dezember 2005 November 2006	32.6 µg/m <sup>3</sup>	31.1 µg/m <sup>3</sup>	> 1.5 µg/m <sup>3</sup>	1.5 µg/m <sup>3</sup> / Knapp signifikant
	Dezember 2006 November 2007	27.6 µg/m <sup>3</sup>	29.6 µg/m <sup>3</sup>	> 1.5 µg/m <sup>3</sup>	2.0 µg/m <sup>3</sup> / Signifikant
PM <sub>10</sub>	Juni 2005 Mai 2006	24.7 µg/m <sup>3</sup>	21.3 µg/m <sup>3</sup>	> 2 µg/m <sup>3</sup>	3.4 µg/m <sup>3</sup> / Signifikant
	2006	24.8 µg/m <sup>3</sup>	20.4 µg/m <sup>3</sup>	> 2 µg/m <sup>3</sup>	4.4 µg/m <sup>3</sup> / Signifikant
	2007	19.5 µg/m <sup>3</sup>	17.5 µg/m <sup>3</sup>	> 2 µg/m <sup>3</sup>	2.0 µg/m <sup>3</sup> / Knapp signifikant
	Dezember 2005 November 2006	24.9 µg/m <sup>3</sup>	20.2 µg/m <sup>3</sup>	> 2 µg/m <sup>3</sup>	4.7 µg/m <sup>3</sup> / Signifikant
	Dezember 2006 November 2007	19.5 µg/m <sup>3</sup>	17.5 µg/m <sup>3</sup>	> 2 µg/m <sup>3</sup>	2 µg/m <sup>3</sup> / Knapp signifikant

## C 1.2. Emissionen

### C 1.2.1 Räumliche Aspekte

Die Bereiche mit relevanten Baumassnahmen sind in Abbildung 18 (Seite 7-6) dargestellt und mit einer Identifikations-Nr. bezeichnet.

### C 1.2.2 Zentrale zeitliche Aspekte

Der zeitliche Ablauf der Bauphase kann grob in vier Zeitabschnitte unterteilt werden:

- Von **Juni bis November 2005** wurden vorwiegend Vorarbeiten in Bezug auf die Strassen durchgeführt.
- Von **Dezember 2005 bis November 2006** fanden parallel wesentliche Arbeiten beim Stadion mit Einkaufszentrum (Aushub, Rohbau) und in Bezug auf die Strassen statt. Im Dezember 2006 wurden wesentliche Teile des umgebauten A1-Anschlusses dem Verkehr übergeben.
- Vom **Dezember 2006 bis September 2007** wurden beim Stadion mit Einkaufszentrum Rohbau- und Ausbauarbeiten parallel ausgeführt. Die Arbeiten am A1-Anschluss wurden im Jahr 2007 weitgehend abgeschlossen. Ab Oktober 2007 stand der A1-Anschluss dem Verkehr zur Verfügung. Zeitgleich lief der Betrieb des Einkaufszentrums im der IKEA an.
- Vom **September 2007 bis Mitte 2008** wird die Bauphase überlagert durch die Inbetriebnahmephase des Stadions mit Einkaufszentrum.

Dieser zeitliche Ablauf ist in Tabelle 19 (Seite 7-7) in Verbindung mit Abbildung 18 im Detail dargestellt.

Abbildung 18: Differenzierung der Baubereiche für die Strassenprojekte und das Stadion mit Einkaufszentrum

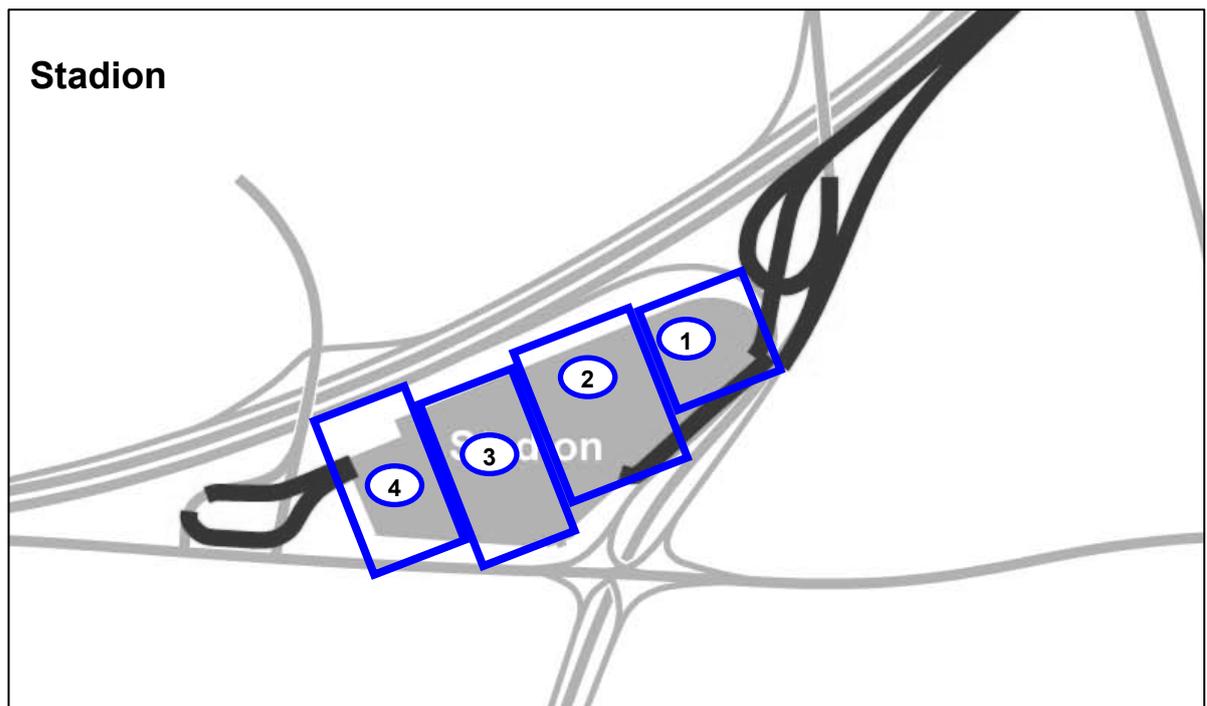
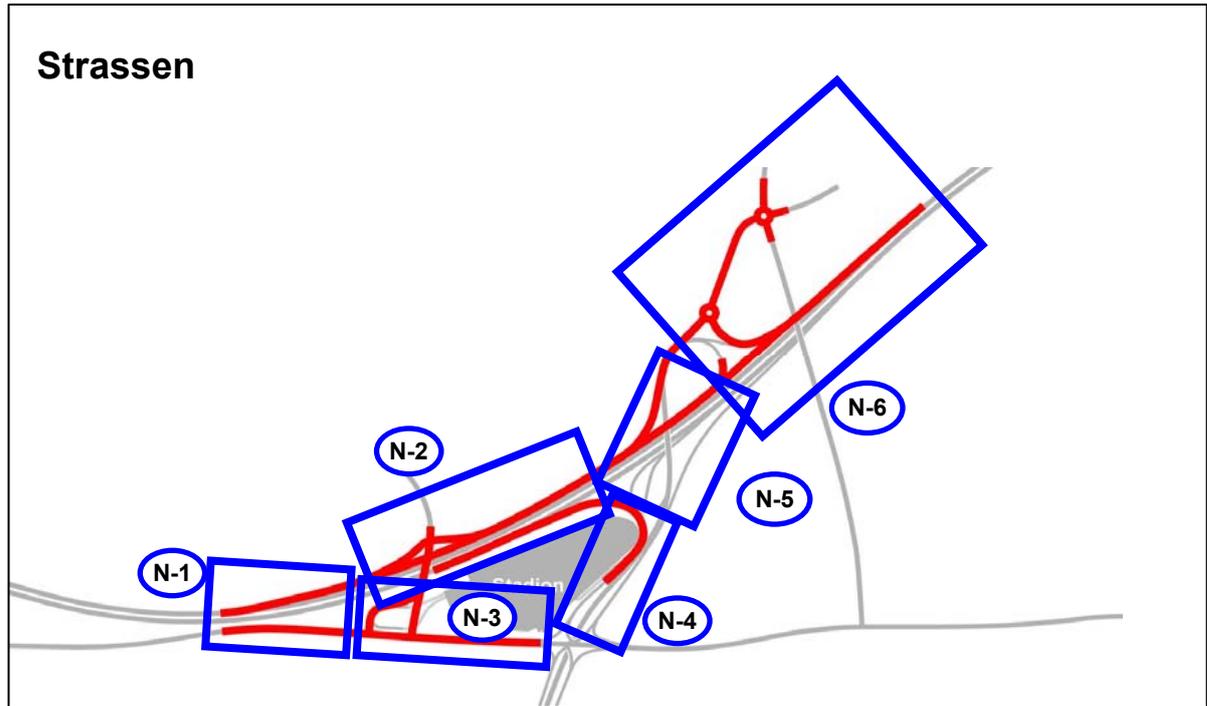


Tabelle 19: Übersicht zum Ablauf der Bauphase für die Strassenprojekte und das Stadion mit Einkaufszentrum  
[Bereiche vgl. Abbildung 18, Seite 7-6]

Bauaktivitäten	Jahr	2005												2006												2007												2008											
		Monat												Monat												Monat												Monat											
		Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August	September	Oktober	November	Dezember	Januar	Februar	März	April	Mai	Juni	Juli	August								
<b>Strassen</b>	<b>Bereich</b>																																																
A1 Vorarbeiten	N-2 / N-4	[Orange cells]																																															
A1 Hauptarbeiten		[Orange cells]																																															
Zürcherstrasse	N-1 / N-3	[Orange cells]																																															
ÜF Hafnerbergstrasse	N-2	[Orange cells]																																															
Verlängerung Ein-/Ausfahrten	N-1 / N-2 / N-5 / N-6	[Orange cells]																																															
Meilensteine		[Blue cells: 1, 2]																																															
Datenlage		[Yellow/Green cells]																																															
<b>Stadion mit Einkaufszentrum</b>																																																	
Aushub		[Orange cells]																																															
Rohbau		[Orange cells]																																															
Ausbau		[Orange cells]																																															
Meilensteine		[Blue cells: 3, 4, 5]																																															
Datenlage		[Green cells]																																															

Datenlage Strassen: Für das Jahr 2005 ist der Detaillierungsgrad der verfügbaren Daten geringer als ab 2006

Meilenstein 1: Verkehrsfreigabe November 2006 (vgl. Abbildung 19)

Meilenstein 2: Verkehrsfreigabe Ende 2007 (vgl. Abbildung 20)

Meilenstein 3: Betriebsaufnahme IKEA

Meilenstein 4: Volle Betriebsaufnahme Einkaufszentrum Shopping Arena

Meilenstein 5: Betriebsaufnahme Stadion

In Abbildung 19 sind die im Dezember 2006 und in Abbildung 20 die im Herbst 2007 für den Verkehr freigegebenen Strassenabschnitte rot bezeichnet.

Abbildung 19: Verkehrsfreigabe 2006 (Quelle TBA)

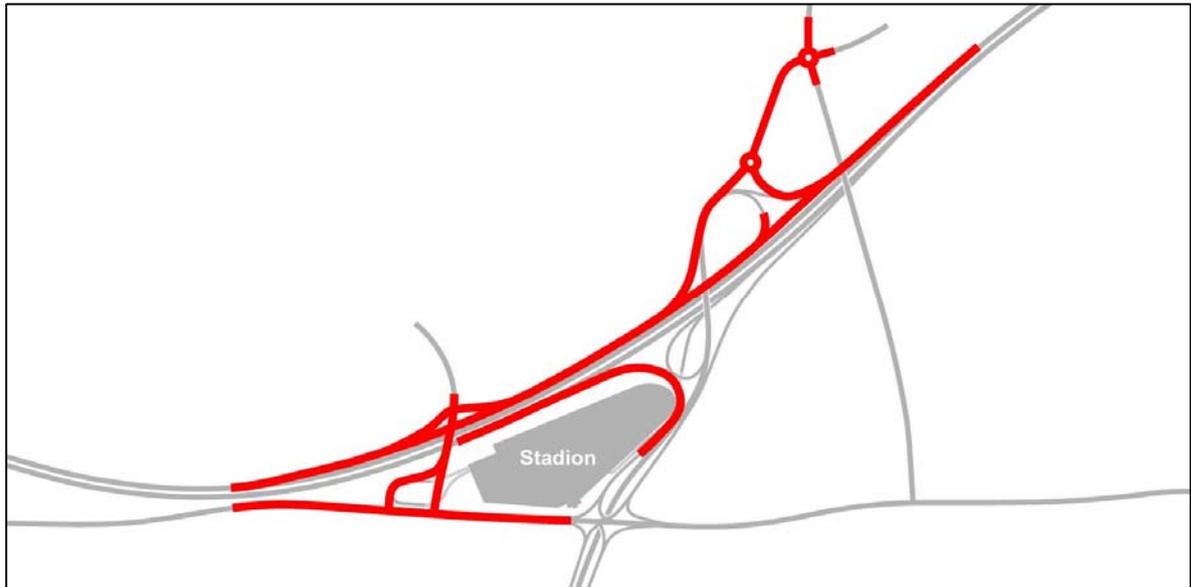
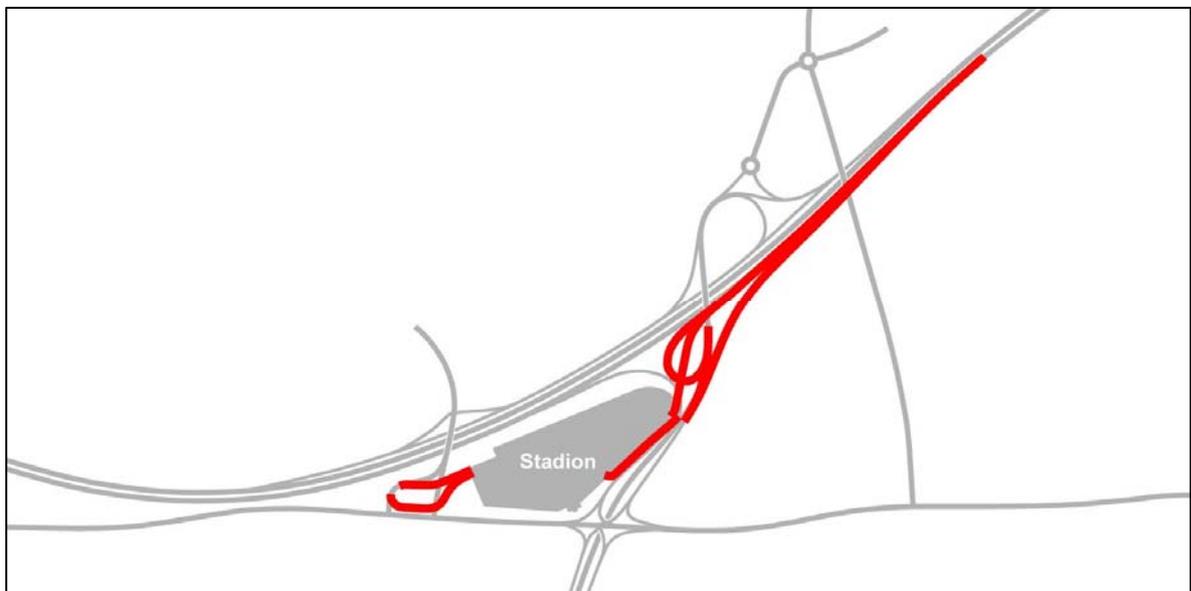


Abbildung 20: Verkehrsfreigabe 2007 (Quelle TBA)



Insbesondere die Verkehrsfreigabe 2006 führte zu einer massiven Verlagerung von Verkehrsströmen. So wurden auf dem im Nahbereich der Messstation liegenden Anschluss Breitfeld (Messstelle 146) im Jahr 2004 (Referenzperiode) ein DTV von 36'753 Fz/Tag gezählt, während im Jahr 2007 noch ein DTV von 28'043 Fz/Tag resultierte (eine Reduktion um rund 25%).

### C 1.3. Folgerungen aus Screening Immissionen / Emissionen

Im Zeitraum ab Dezember 2006 überlagern sich die Einflüsse der gestaffelten Inbetriebnahme der Strassenneu-/umbauten und der Nutzungen im Stadion bzw. im zugeordneten Einkaufszentrum.

Da eine getrennte Betrachtung der verschiedenen Vorhaben (Stadion, A1-Anschluss, ...) nicht möglich ist, führt somit die gestaffelte Inbetriebnahme der Strassenbauten ab Dezember 2006 bereits zu einem wesentlichen Effekt auf die Luftbelastung an der Messstation.

Auf Grund des zeitlichen Ablaufs der Bauphase mit der Verkehrsfreigabe wesentlicher Teile des umgebauten A1-Anschlusses im Dezember 2006 majorisieren die Bauaktivitäten die lokalen Emissionsänderungen am Standort Bild nur für den Zeitabschnitt bis November 2006.

Als geeignete Periode zur semiquantitativen Ermittlung des Bausstelleneinflusses ergibt sich der Zeitraum Dezember 2005 bis November 2006.



## C 2. Resultate Verfeinerung

### C 2.1. Emissionen

Die Verfeinerung des Emissionsmonitoringmodells für die Bauphase Dezember 2005 bis November 2006 geht von der Voraussetzung aus, dass die Transportkubaturen ein gutes Mass für die Bauaktivitäten darstellen.

Dies dürfte in guter Näherung erfüllt sein, hängen ja viele Bauaktivitäten vom An- oder Wegtransport von Materialien direkt ab (Aushub, Betonierarbeiten, Asphaltierung, ...), womit die Transportkubaturen sowohl den induzierten Verkehr wie die Bauintensität charakterisieren.

Abweichungen davon können sich ergeben, wenn viele Maschinen im Einsatz stehen, um lokal Materialverschiebungen vorzunehmen oder bei staubintensiven Arbeiten, welche nicht im Zusammenhang mit zu transportierenden Materialien stehen (Schleifarbeiten, ...).

Gerade bei den Staubemissionen ist aber zu beachten, dass wesentliche Emissionen bei den temporär unbefestigten Flächen auch entstehen können, ohne dass direkte Bauaktivitäten dafür verantwortlich wären (Aufwirbelung durch Wind).

Für die Bauphase Dezember 2005 bis November 2006 stehen für die Strassenbaustellen und das Stadion mit Einkaufszentrum die Transportkubaturen mit zeitlicher Auflösung 1 Tag zur Verfügung. Zusätzlich können aus den Bauprogrammen Informationen zu den Bauvorgängen mit einer zeitlichen Auflösung von rund 1 Woche entnommen werden.

Auf der Basis der Grundlagendaten kann vorerst eine Zuordnung der Bauaktivitäten zu sechs Bereichen in Bezug auf den Strassenbau (N-1 bis N-6; vgl. Abbildung 18, Seite 7-6) und zu vier Bereichen in Bezug auf das Stadion mit Einkaufszentrum (1 bis 4; vgl. vgl. Abbildung 18, Seite 7-6) erfolgen.

Die Immissionsrelevanz wird dabei bei den Strassenbaustellen durch die Klassen 1 (gering) bis 5 (hoch) charakterisiert. In Kombination mit den Transportkubaturen lässt sich somit in grober Näherung die Gesamtrelevanz für die einzelnen Baubereiche ableiten.

Beim Stadion lässt sich aus den Transportkubaturen grob auf die die Gesamtimmisionsrelevanz schliessen. Zusammen mit der Information, für welche Bereiche in den Bauprogrammen Bauaktivitäten ausgewiesen sind, kann eine beschränkte räumliche Differenzierung vorgenommen werden. Allerdings ist die entsprechende Differenzierung deutlich geringer als bei den Strassenbaustellen (x: relevante Intensität; andernfalls nicht relevant). Dies ist aber unter Berücksichtigung des im Vergleich zu den Strassenbaustellen deutlich enger begrenzten Gebietes von beschränkter Bedeutung.

Insgesamt resultiert ein Datensatz, in welchem jedem Tag die entsprechenden Transportkubaturen mit Auflösung 1 Tag und die Immissionsrelevanz der Bauvorgänge in den einzelnen Bereichen mit Auflösung rund 1 Woche zugeordnet sind (vgl. Tabelle 20).

Tabelle 20: Immissionsrelevante Bauintensität

[ausgedrückt durch Transportkubaturen und charakterisiert durch die Immissionsrelevanz 1 (gering) bis 5 (hoch) bei den Bereichen in Bezug auf den Strassenbau (N-1 bis N-6; vgl. Abbildung 18, Seite 7-6) sowie durch die Zuordnung der Bauaktivitäten zu vier Bereichen in Bezug auf das Stadion mit Einkaufszentrum (1 bis 4; vgl. Abbildung 18, Seite 7-6, Seite 12)]

Tag	Bauaktivitäten Total		Bauaktivitäten Stadion				Bauaktivitäten Strassen						
	Transportkubaturen m3	Transportkubaturen m3	Bereich 1	Bereich 2	Bereich 3	Bereich 4	Transportkubaturen m3	N-1	N-2	N-3	N-4	N-5	N-6
			Bauaktivitäten ausgewiesen					Immissionsrelevanz					
Montag, 3. April 2006	4517	3653	x	x	x	x	864					3	3
Dienstag, 4. April 2006	4434	3211	x	x	x	x	1223					3	3
Mittwoch, 5. April 2006	1414	7	x	x	x	x	1407					3	3
Donnerstag, 6. April 2006	4599	3134	x	x	x	x	1465					3	3
Freitag, 7. April 2006	5031	2866	x	x	x	x	2165					3	3
Samstag, 8. April 2006	0	0	x	x	x	x	0					3	3
Sonntag, 9. April 2006	0	0					0						
Mittwoch, 12. April 2006	6054	1605	x	x	x	x	4449	5	4			3	3
Donnerstag, 13. April 2006	5259	2043	x	x	x	x	3216	5	4			3	3
Freitag, 14. April 2006	0	0	x	x	x	x	0	5	4			3	3
Samstag, 15. April 2006	0	0	x	x	x	x	0	5	4			3	4
Sonntag, 16. April 2006	0	0					0						
Montag, 17. April 2006	0	0	x	x	x	x	0	5	4			3	4
Dienstag, 18. April 2006	5697	2530	x	x	x	x	3167	5	4				4
Mittwoch, 19. April 2006	5637	3163	x	x	x	x	2474	5	4				4
Donnerstag, 20. April 2006	4894	2475	x	x	x	x	2419	5	4				4
Freitag, 21. April 2006	4331	3227	x	x	x	x	1104	3	4				4
Samstag, 22. April 2006	84	0	x	x	x	x	84	3	4				4
Sonntag, 23. April 2006	0	0					0						
Montag, 24. April 2006	4433	3304	x	x	x	x	1129	3	4				4
Dienstag, 25. April 2006	4951	3304	x	x	x	x	1647	3	4				4
Mittwoch, 26. April 2006	4160	1783	x	x	x	x	2377	3	4				4
Donnerstag, 27. April 2006	4709	1900	x	x	x	x	2809	3	4				4
Freitag, 28. April 2006	3460	801	x	x	x	x	2660	3	4				4
Samstag, 29. April 2006	60	0	x	x	x	x	60	3	4				4
Sonntag, 30. April 2006	0	0					0						
Montag, 1. Mai 2006	3968	1628	x	x	x	x	2340	3	4				4

## C 2.2. Immissionen

### C 2.2.1 Grundlegende Voraussetzung

Der Verfeinerung des Korrelationsmodells Immissionsbelastung Referenzstandort(e) - Standort Bild für die interessierenden Messgrössen (NO<sub>x</sub>, PM, ...) in Bezug auf die Windrichtungsabhängigkeit liegt die Annahme zu Grunde, dass die Effekte einer Baustelle besonders deutlich bei Situationen erkennbar sein werden, wenn grosse Bauaktivitäten stattfinden und die Messstation gleichzeitig windmässig in ihrem Lee liegt. Auf Grund der beschränkten zeitlichen Auflösung des Emissionsmonitoringmodells stehen schliesslich die Tageswerte im Vordergrund des Interesses. Allerdings sind die 30-Minuten-Werte einer Interpretation leichter zugänglich.

### C 2.2.2 Ergebnisse aus Analyse der 30-Minuten-Werte

Im Zwischenbericht zur Bauphase ist dargestellt, welche Differenzen zwischen der mit dem (windrichtungsunabhängigen) Korrelationsmodell prognostizierten und der tatsächlich beobachteten Immissionsbelastung in Abhängigkeit der Windrichtung für die Referenzperiode 2004/05 und die Bauphase Dezember 2005 bis November 2006 für NO<sub>x</sub> und NO<sub>2</sub> bei den 30-Minuten-Werten resultieren.

Die statistische Analyse zeigt, dass keine klare Windrichtungsabhängigkeit des Unterschiedes zwischen Referenzperiode und Bauphase festzustellen ist. D.h. die Baustellen führen nicht dazu, dass einzelne Windsektoren systematisch deutlich höhere Belastungen aufweisen.

Betrachtet man aber das Produkt aus Differenz-Schadstoffkonzentration Messung - Modell und Windgeschwindigkeit, welches ein Mass für die Emissionsstärkeunterschiede in Abhängigkeit des Windrichtungssektors darstellt, so ergibt sich ein klareres Bild.

Es zeigt sich, dass beim  $\text{NO}_x$  und in etwas vermindertem Mass auch beim  $\text{NO}_2$  eine wesentliche Differenz in der Emissionsstärke zwischen Referenzperiode und Bauphase in Bezug auf den Sektor 230 bis 290 Grad (Südwest bis West-Nordwest) besteht. Dies ist der Sektor, aus dem die Messstation mit Luft aus dem Stadionperimeter beaufschlagt wird. Dabei treten höhere Zusatzbelastungen bei tendenziell tiefen Windgeschwindigkeiten auf.

Beim  $\text{NO}_2$  ist darüber hinaus festzustellen, dass auch der andere Hauptwindrichtungs-Sektor (Nordost) eine leicht erhöhte Emissionsstärke aufweist, aber - im Gegensatz zum  $\text{NO}_x$  - fast alle Sektoren zur erhöhten Belastung in der Bauphase beitragen.

Damit sind beim  $\text{NO}_x$  die Emissionen der Bauaktivitäten in den 30-Minuten-Werten klarer ersichtlich als beim  $\text{NO}_2$ , während im Jahresmittelwert der Effekt der Bauaktivitäten beim  $\text{NO}_2$  deutlicher zu Tage tritt als beim  $\text{NO}_x$ .

Dies ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die längere Verweildauer von  $\text{NO}_2$  als sekundärem Luftschadstoff in den bauperimeternahen Luftmassen bzw. der Schadstoffwolke der Baustelle zurück zu führen, womit eine grössere Zahl von Luftmassentrajektorien zu erhöhten Belastungen am Messstandort führen. Beim  $\text{NO}_x$  ist hingegen eine relativ direkte Beaufschlagung für wahrnehmbare Effekte notwendig.

### C 2.2.3 Ergebnisse aus der Analyse der Tageswerte

Die Tageswerte weisen im Vergleich zu den 30-Minuten-Werten den Vorteil auf, dass für  $\text{PM}_{10}$  ein vollständiger Datensatz vorhanden ist. Hingegen besteht die Schwierigkeit, die Mittelung der Windrichtung korrekt vorzunehmen und die "mittleren Windrichtungen" zu interpretieren.

Die nachstehend diskutierten "mittleren Windrichtungen des Tages" sind aus der Vektoraddition aller aus Windgeschwindigkeit und Windrichtung bestimmten Windvektoren der 30-Minuten-Daten berechnet worden. Die Werte sind dann besonders aussagekräftig, wenn die Variabilität der Windrichtung über den Tag relativ klein ist.

Wie Abbildung 21 zeigt, ist beim  $\text{PM}_{10}$  in Bezug auf die Tageswerte zu konstatieren, dass eine sehr ausgeprägte Tendenz besteht, dass die Differenzen Messung - Modell in der Bauphase über sehr viele Windrichtungen deutlich höher sind als während der Referenzperiode. Dies ist so zu interpretieren, dass die Baustelle beim  $\text{PM}_{10}$  zu deutlich erhöhten Belastungen führt, aber im Tagesmittel kein Zusammenhang mit einer direkten Beaufschlagung der Messstation aus Windrichtungen von der Baustelle bestehen muss. Wie bereits bei der Analyse der 30-Minuten-Werte geschlossen, sind bei den sekundären Luftschadstoffen - zu denen  $\text{PM}_{10}$  zu wesentlichen Teilen gehört - die Luftmassentrajektorien massgebend. Damit besteht bei Schwachwindlagen die Möglichkeit, dass sich über grössere Zeitperioden eine Luftschadstoffwolke bildet, die dann zu einem vom Emissionsverlauf unabhängigen Zeitpunkt zu erhöhten Immissionen bei der Messstation führt.

Abbildung 21: Differenzen zwischen der mit dem (windrichtungsunabhängigen) Korrelationsmodell prognostizierten und der tatsächlich beobachteten Immissionsbelastung im Tagesmittel mit PM10 in Abhängigkeit der Windrichtung für die Referenzperiode 2004/05 und die Bauphase Dezember 2005 bis November 2006

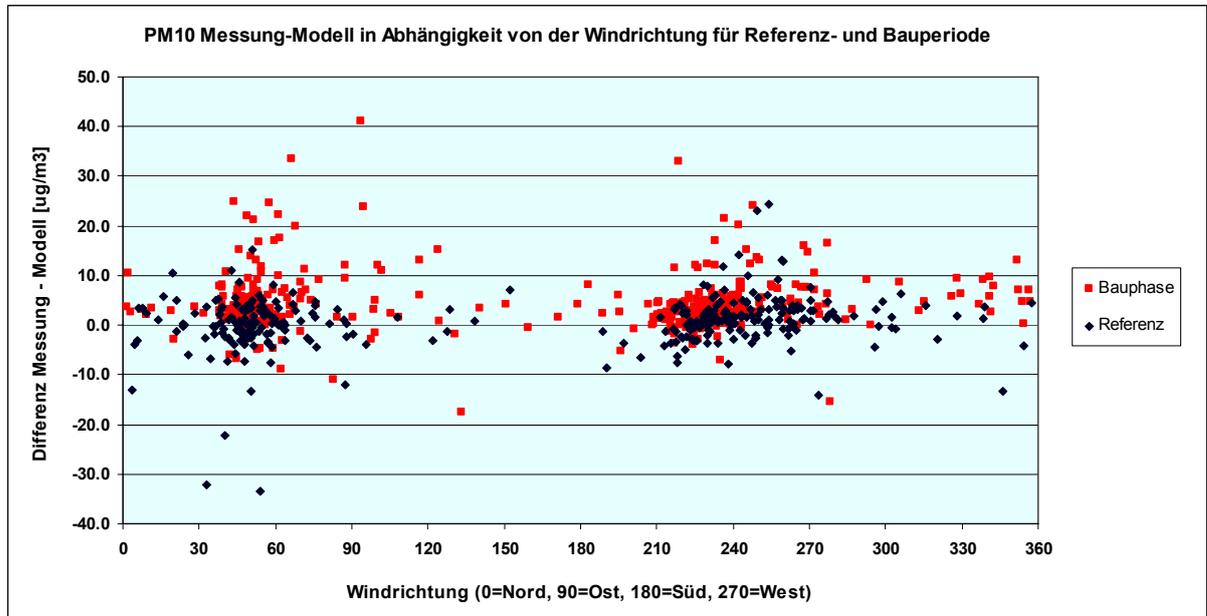


Abbildung 22 bestätigt diesen Sachverhalt insofern, als beim  $\text{NO}_x$  die grössten Abweichungen in der Charakteristik zwischen Bauphase und Referenzperiode bei Wind aus Richtung Stadionbaustelle auftritt (Differenz Messung - Model für Bauphase bei vielen Tagen höher als in der Referenzperiode).

Abbildung 22: Differenzen zwischen der mit dem (windrichtungsunabhängigen) Korrelationsmodell prognostizierten und der tatsächlich beobachteten Immissionsbelastung mit  $\text{NO}_x$  im Tagesmittel in Abhängigkeit der Windrichtung für die Referenzperiode 2004/05 und die Bauphase Dezember 2005 bis November 2006

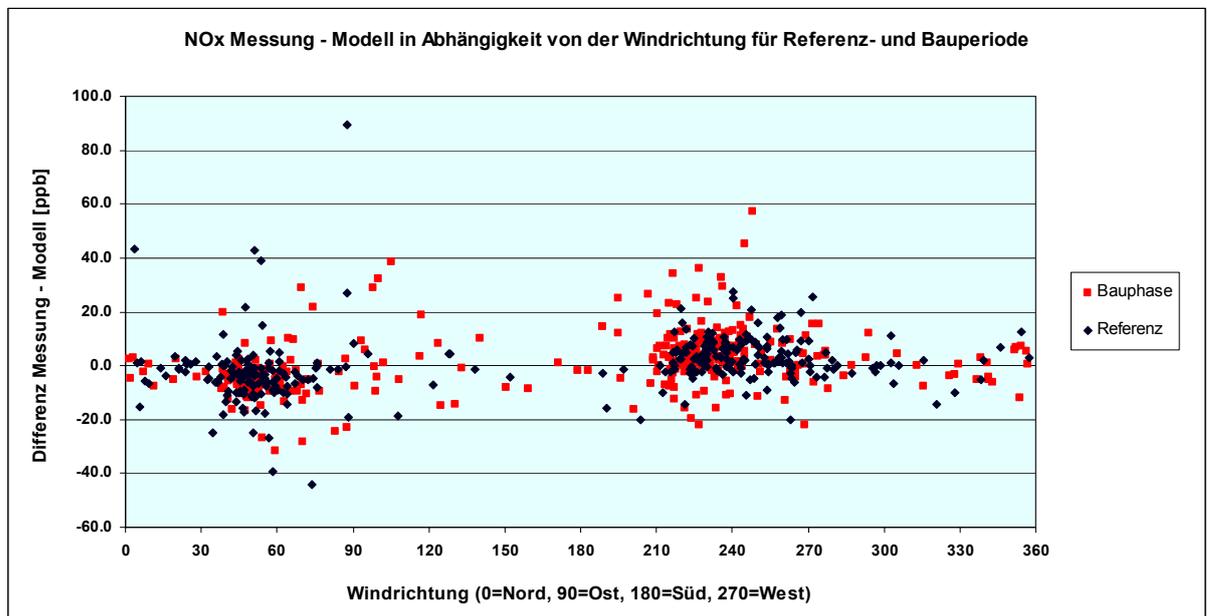
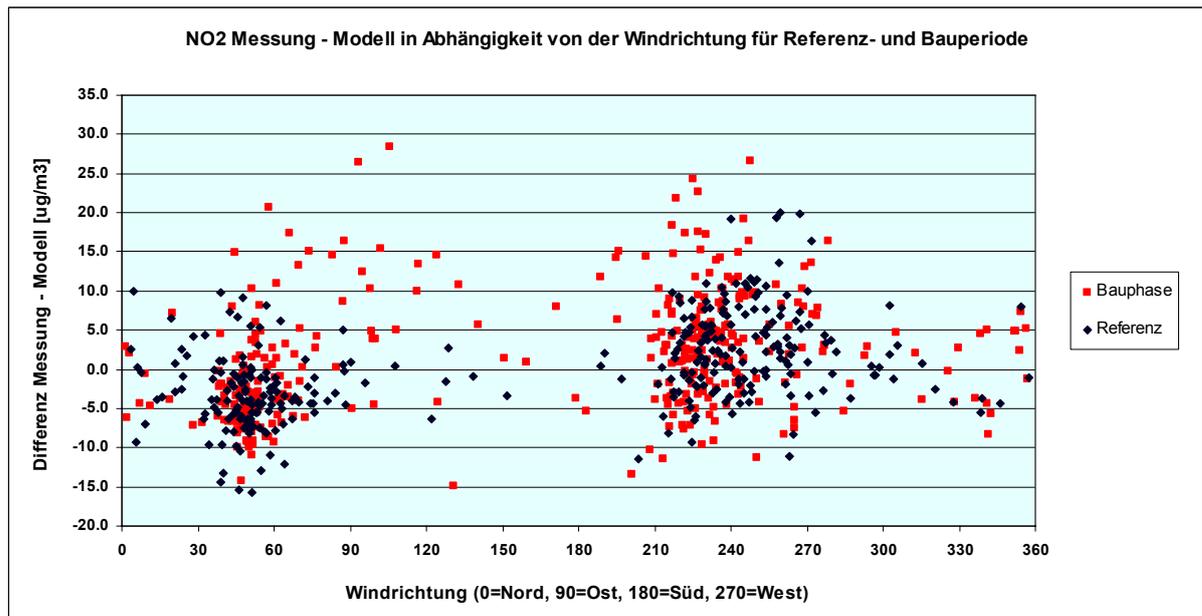


Abbildung 23 wiederum gleicht Abbildung 21. D.h. auch beim  $\text{NO}_2$  besteht die sehr ausgeprägte Tendenz, dass die Differenzen Messung - Modell in der Bauphase über sehr viele Windrichtungen deutlich höher sind als während der Referenzperiode.

Abbildung 23: Differenzen zwischen der mit dem (windrichtungsunabhängigen) Korrelationsmodell prognostizierten und der tatsächlich beobachteten Immissionsbelastung mit  $\text{NO}_2$  im Tagesmittel in Abhängigkeit der Windrichtung für die Referenzperiode 2004/05 und die Bauphase Dezember 2005 bis November 2006



Darin widerspiegelt sich der gleiche Mechanismus wie beim  $\text{PM}_{10}$ . D.h. insbesondere in Schwachwindlagen kann sich eine "Luftschadstoffwolke" bilden, die dann mit dem Wind verlagert wird und zu einem vom Emissionsverlauf unabhängigen Zeitpunkt zu erhöhten Immissionen bei der Messstation führt.

#### C 2.2.4 Schlussfolgerungen

Sowohl beim  $\text{PM}_{10}$  wie beim  $\text{NO}_2$ , d.h. bei beiden Schadstoffen mit signifikantem Effekt der Baustelle auf das Jahresmittel der Belastung, entsteht dieser Effekt vorwiegend durch Beaufschlagung der Messstelle aus einer sich insbesondere bei Schwachwindlagen bildenden "Luftschadstoffwolke" zu einem vom Emissionsverlauf unabhängigen Zeitpunkt. Dies wird indirekt bestätigt durch die Tatsache, dass die höheren Zusatzbelastungen tatsächlich bei tendenziell tiefen Windgeschwindigkeiten auftreten.

Beim  $\text{NO}_x$  ist zwar die direkte Beaufschlagung wesentlich für den Effekt der Baustelle auf das Jahresmittel. Da aber in der "Luftschadstoffwolke" mit der Verdünnung auch eine Umwandlung von  $\text{NO}$  zu  $\text{NO}_2$  stattfindet, ergibt sich im Vergleich zu  $\text{NO}_x$  und  $\text{PM}_{10}$  eine reduzierte Belastung. Dies ist auch aus der Windrichtungsabhängigkeit der  $\text{NO}_2/\text{NO}_x$ -Verhältnisse schliessbar. Somit resultiert für  $\text{NO}_x$  ein im Jahresmittel nicht signifikanter Effekt.

Eine weitergehende Quantifizierung der komplexen Mechanismen auf statistischer Basis ist nicht möglich. Dieses bereits auf Grund der konventionellen Datenanalyse klare Ergebnis bestätigte sich bei den entsprechenden statistischen Tests.



### C 3. Charakterisierung Immissionszusatzbelastung in der Bauphase

#### C 3.1. Anteile der Baustellenbereiche

Für die Zuordnung der Beiträge der einzelnen Baustellenbereiche zur Gesamtzusatzbelastung kommen als Basis nur die Tageswerte in Frage. Dies weil nur für die Tageswerte für PM10 ein vollständiger Datensatz vorhanden ist und auch das Emissionsmonitoringmodell für die Bauphase diese zeitliche Auflösung aufweist.

Wie auf Grund der Ergebnisse der Analyse der Windrichtungsabhängigkeit der Immissionsbeiträge bereits anzunehmen, zeigt sich kein signifikanter Zusammenhang zwischen Bauintensität und Immissionsbelastung auf Basis der Einzeltage. Dies da wie früher ausgeführt bei den Schadstoffen mit signifikantem Effekt der Baustelle auf das Jahresmittel der Effekt vorwiegend durch Beaufschlagung der Messstelle aus einer sich insbesondere bei Schwachwindlagen bildenden "Luftschadstoffwolke" zu einem vom Emissionsverlauf unabhängigen Zeitpunkt einstellt.

Dies ist in Abbildung 24 für PM10 dargestellt. Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass die Variationsbreite der Belastungen an Tagen ohne ausgewiesene Transportkubaturen ähnlich gross ist wie an den übrigen Tagen. Dies steht natürlich in Übereinstimmung bzw. mindestens nicht im Widerspruch zur Folgerung, dass die Beaufschlagung der Messstelle zu einem vom Emissionsverlauf unabhängigen Zeitpunkt eintritt. Zugleich ist beim PM10 auch ein Effekt durch Aufwirbelung bei Vorliegen unbefestigter Terrainoberflächen zu erwarten.

Abbildung 24: Differenzen zwischen der mit dem (windrichtungsunabhängigen) Korrelationsmodell prognostizierten und der tatsächlich beobachteten Immissionsbelastung mit PM10 im Tagesmittel in Abhängigkeit der Transportkubaturen aller Baustellen und unterschieden nach Windrichtung für die Bauphase

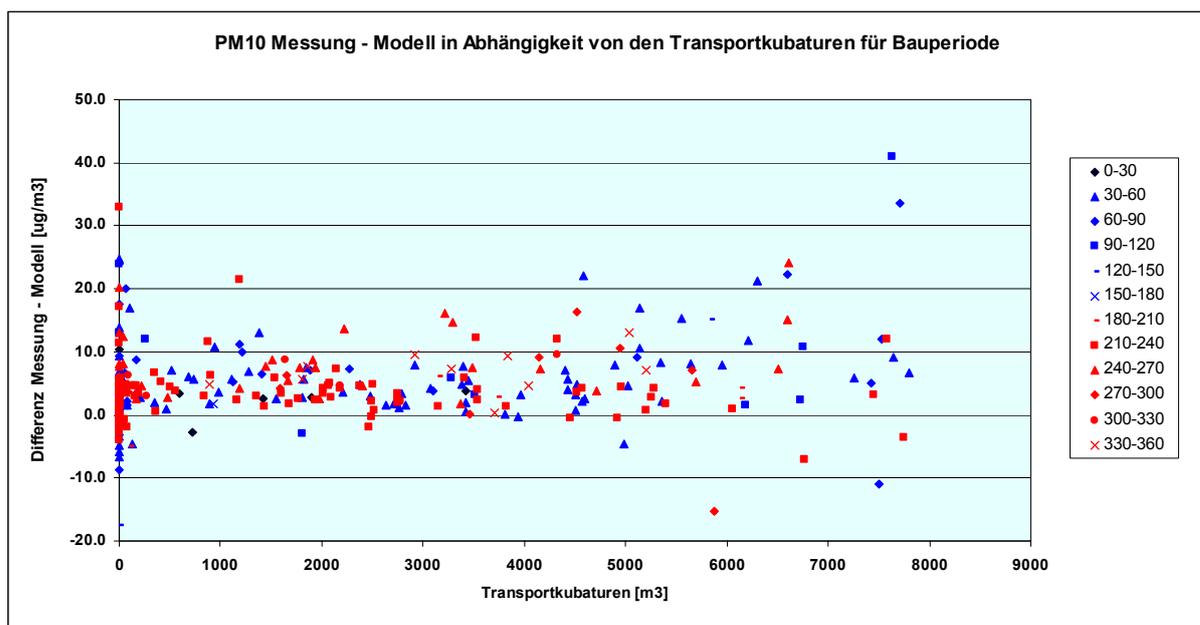


Abbildung 25 für NO<sub>x</sub> und Abbildung 26 für NO<sub>2</sub> bestätigen diesen Schluss.

Abbildung 25: Differenzen zwischen der mit dem (windrichtungsunabhängigen) Korrelationsmodell prognostizierten und der tatsächlich beobachteten Immissionsbelastung mit NO<sub>x</sub> im Tagesmittel in Abhängigkeit der Transportkubaturen aller Baustellen und unterschieden nach Windrichtung für die Bauphase

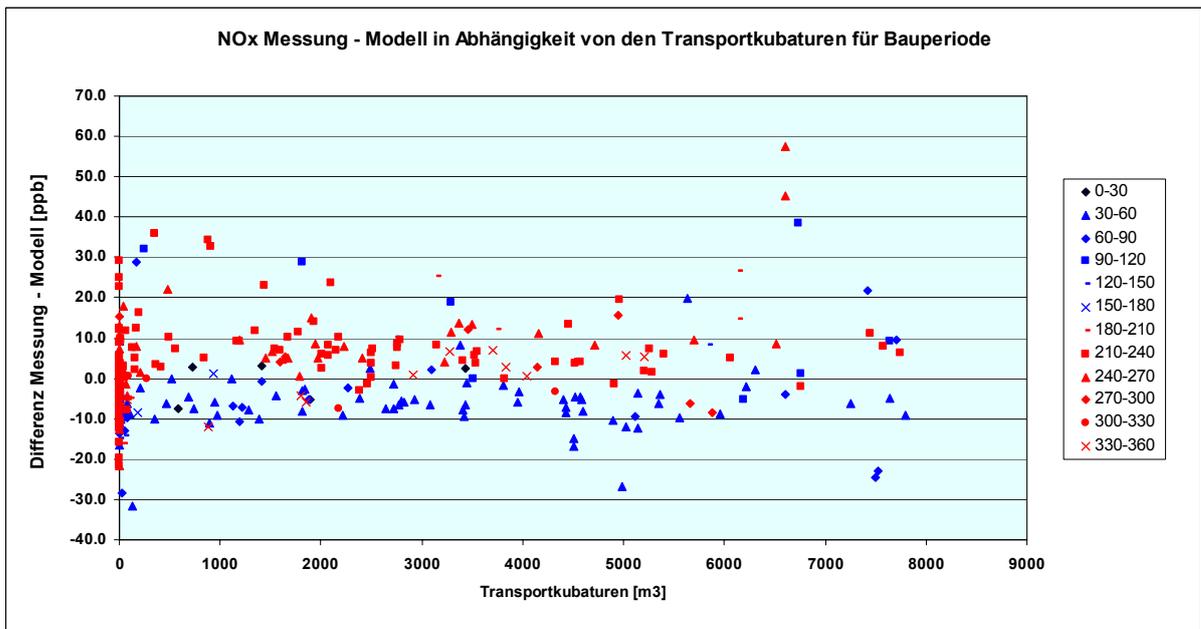
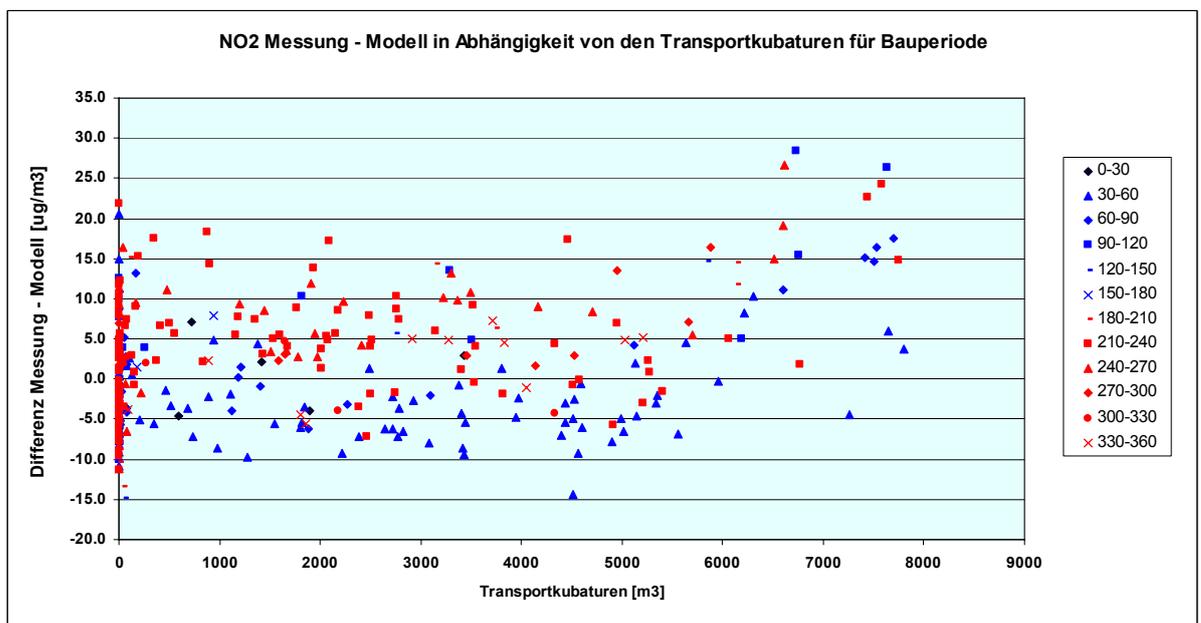


Abbildung 26: Differenzen zwischen der mit dem (windrichtungsunabhängigen) Korrelationsmodell prognostizierten und der tatsächlich beobachteten Immissionsbelastung mit NO<sub>2</sub> im Tagesmittel in Abhängigkeit der Transportkubaturen aller Baustellen und unterschieden nach Windrichtung für die Bauphase



Auch für die Zuordnung der Immissionsbelastung zu den einzelnen Baubereichen gilt, dass eine statistische Analyse auf Grund der komplexen Mechanismen nicht möglich ist. Zu dieser bereits auf Grund der Ergebnisse der konventionellen Datenanalyse zu ziehenden Schlussfolgerung führten auch die durchgeführten eingehenden statistischen Tests.

### C 3.2. Charakteristische Parameter Baustelle in Bezug auf die Immissionen

Eine im Vergleich zum windrichtungsunabhängigen Korrelationsmodell verbesserte Detektierbarkeit von durch lokale Emissionsänderungen verursachte Immissionsbelastungsänderungen kann auf Grund der komplexen Mechanismen auch unter Einbezug der Windparameter und des Emissionsmonitoringmodells nicht erzielt werden.

Zur Charakterisierung des Baustelleneinflusses wird dementsprechend auf dem Korrelationsmodell ohne Windrichtungsabhängigkeit basiert.

Es ergeben sich beim NO<sub>2</sub> knapp signifikante und beim PM10 signifikante Zusatzbelastungen aus der Bautätigkeit (vgl. Tabelle 20).

Tabelle 21: Differenz zwischen den mittels Korrelationsmodell resultierenden Prognosen und den tatsächlichen Messungen für die Bauphase sowie mittels Korrelationsmodell verlässlich detektierbare Unterschiede

Stoff	Periode	Messung	Korrelationsmodell		Differenz / Beurteilung
			Prognose	Detektierbar	
NO <sub>x</sub>	Dezember 2005 November 2006	30.6 ppb	30.3 ppb	> 2.5 ppb	0.3 ppb / Nicht signifikant
NO <sub>2</sub>	Dezember 2005 November 2006	32.6 µg/m <sup>3</sup>	31.1 µg/m <sup>3</sup>	> 1.5 µg/m <sup>3</sup>	1.5 µg/m <sup>3</sup> / Knapp signifikant
PM10	Dezember 2005 November 2006	24.9 µg/m <sup>3</sup>	20.2 µg/m <sup>3</sup>	> 2 µg/m <sup>3</sup>	4.7 µg/m <sup>3</sup> / Signifikant

Als geeignete charakteristische Grössen in Bezug auf die Emissions-/Immissionsrelevanz der Baustellen sind auf Grundlage der Ausführungen in C 3.2 die Transportkubaturen zu bezeichnen. Die entsprechenden für die Bauphase berechneten Werte sind

- **Gesamttransportkubatur:** **637'314 m<sup>3</sup>**
- **Transportkubatur Stadion mit Einkaufszentrum:** **494'045 m<sup>3</sup>**
- **Transportkubatur Strassen:** **143'269 m<sup>3</sup>**

In Bezug auf die räumlichen Verhältnisse lässt sich eine Baustelle am Besten durch die Fläche und die mittlere Entfernung zur Immissionsmessstelle charakterisieren.

Die Charakterisierung über mittlere Länge und Breite kann Sinn machen, wenn z.B. im Nahbereich der Baustelle gemessen und eine weitgehend direkte Beaufschlagung erwartet wird. Wie bereits eingehend dargestellt wurde, ist dies für die Baustellen im Gebiet "St. Gallen West" nicht der Fall.

Da die Transportkubatur der Strassenbaustellen in der betrachteten Phase deutlich kleiner als diejenige des Stadions mit Einkaufszentrum ist und die Baustelle "Stadion" deutlich näher als die meisten Strassenbaustellen liegt, wird in Tabelle 22 die gerundete Transportkubatur und die Fläche der Stadionbaustelle zur Charakterisierung verwendet.

Tabelle 22: Kenngrössen für den Zusammenhang zwischen Transportkubatur, Baustellenfläche sowie Distanz Baustelle - Immissionsmessstelle und den resultierenden Zusatzimmissionen bei der Baustelle Stadion mit Einkaufszentrum St. Gallen West.

Stoff	Transportkubatur (Jahr)	Fläche	Distanz	Zusatzbeitrag zum Jahresmittel	
				Beobachtung	Signifikanz
NO <sub>x</sub>	500'000 m <sup>3</sup>	50'000 m <sup>2</sup>	150 m	1 - 2 ppb	Nicht signifikant
NO <sub>2</sub>				1 - 2 µg/m <sup>3</sup>	Knapp signifikant
PM10				4 - 5 µg/m <sup>3</sup>	Signifikant

Aus den NO<sub>2</sub>-Passivsammlermessungen lässt sich schliessen, dass an allen strassenferneren Messstellen in der näheren Umgebung der Baustelle Stadion mit Einkaufszentrum St. Gallen West der Einfluss der Baustellen im auf Grundlage der Analyse der Monitormessungen erwarteten Ausmass (Grössenordnung) erkennbar ist. An den strassennahen Standorten muss der Einfluss dementsprechend auch vorhanden sein. Erkennbar ist er aber nur, soweit nicht gegenläufige Einflussfaktoren im Nahfeld die Messung majorisieren. Solche lokalen Einflussfaktoren können natürlich den Immissionsverlauf in Bezug auf NO<sub>2</sub> auf Grund des geringen Effekts der Baustelle relativ leicht massgebend beeinflussen.

Die ermittelten Kenngrössen haben grundsätzlich vorerst für die lokale Ausbreitungssituation Gültigkeit. Daneben hängen sie von den zur Emissionsminderung angeordneten und in Bezug auf ihre adäquate Umsetzung überwachten Massnahmen ab. Im Falle von St. Gallen West waren dies insbesondere folgende Vorkehren:

- Mindestanforderungen an die Baumaschinen (korrekte Ausrüstung/Wartung aller Maschinen/Geräte mit Verbrennungsmotoren, Dieselmotoren >18 kW nur mit Partikelfilter, ...).
- Staubmindernde Massnahmen bei staubintensiven Arbeiten gemäss Stand der Technik. Insbesondere sind auch die Baupisten feucht zu halten oder zu befestigen. Zudem sind die Ausfahrten ins öffentliche Strassennetz mit Radwaschanlagen zu versehen.
- Verwendung umweltverträglicher Produkte für Oberflächenbehandlung, Anstriche, usw.
- Information des Baupersonals über Entstehung, Ausbreitung, Wirkung und Minderung von Luftschadstoffen auf Baustellen.
- Sicherstellung der Umsetzung und Kontrolle der verfügbaren Massnahmen durch eine unabhängige ökologische Baubegleitung.

Eine grobe Abschätzung der Grössenordnung der Immissionsbelastung in Bezug auf andere Baustellen scheint zulässig, sofern die getroffenen Massnahmen berücksichtigt und die weiteren Einflussfaktoren soweit möglich einbezogen werden. Für eine detaillierte Beurteilung sind allerdings Ergebnisse aus Untersuchungen weiterer Baustellen notwendig.

#### C 4. Schlussfolgerungen für Messungen bei Baustellen

In Bezug auf die Durchführung von Messkampagnen zur Ermittlung des Einflusses von Baustellen auf die Luftbelastung sind folgende Schlüsse zu ziehen:

- Beim Design der Messkampagne ist ein relativ hoher Anteil indirekter Beaufschlagung der Messstation mit Schadstoffen zu berücksichtigen (Wind aus anderen Richtungen als von der Baustelle), falls nicht im unmittelbaren Nahbereich der Baustelle gemessen wird (einige Meter bis vielleicht einige 10 m).
- Die Zuständigkeit für die Protokollierung bzw. die Erhebung der Bauaktivitäten (mit eingesetztem Maschinenpark) und der Zu-/Wegfahrtrouten ist vor Erteilung der Baubewilligung zu klären.
- Die Auswertung der Messungen wird erleichtert, wenn Aufnahmen einer Zeitrafferfilmkamera zur Verfügung stehen.
- Den Windmessungen, denen im "normalen" Messbetrieb eine eher untergeordnete Bedeutung zukommt, ist bei Messkampagnen im Zusammenhang mit Baustellen ein spezielles Gewicht beizumessen. D.h., dass besonders geeignete Standorte dafür ausgewählt werden sollten und eine regelmässige Prüfung der Funktionsfähigkeit (alle 1 - 2 Wochen) erfolgen muss.
- Eine Auswertung auf Grundlage der Auswertung von Trajektorien ist anzustreben. Für die Konstruktion dieser Trajektorien sollten Windmessungen mit (reinen) Windmessstationen an verschiedenen Standorten, insbesondere in Quellnähe und topographisch charakteristischen Stellen durchgeführt werden.
- Modellrechnungen oder Modellüberlegungen sollten als Grundlage für das Design der Messkampagne zur Verfügung stehen. Damit werden auch die im Rahmen der Auswertungen an das Emissionsmonitoringmodell bzw. an die Begleitparametererfassung zu stellenden Ansprüche klar.
- Bei Einsatz eines Simulationsmodells mit Lagrange-Ansatz sind zusätzliche quantitative Aussagen denkbar. Allerdings ist der „Datenhunger“ solcher Modelle gross.
- Eine Erfassung aller Parameter mit einer Auflösung von 30 Minuten ist für den Rückschluss auf die Emissionsveränderungen anhand der gemessenen Immissionen anzustreben. Dabei muss die Auflösung sowohl über die Referenzperiode wie die Bauphase gewährleistet sein. Bei den Bauvorgängen dürfte eine solche zeitliche Auflösung schwierig zu verwirklichen sein. Es muss deshalb im Rahmen des Designs einer Messkampagne die Frage beantwortet werden, ob allenfalls eine geringere zeitliche Auflösung genügt. Sonst sind die Ziele ggf. entsprechend anzupassen.
- Für die Quellencharakterisierung wären Messungen von PM1 oder Russ hilfreich.



OSTLUFT – die Luftqualitätsüberwachung der Ostschweizer Kantone  
und des Fürstentums Liechtenstein

## **Immissionsmessungen St. Gallen West**

**Schlussbericht  
2009**