



Bern, 21. Juli 2010

## **Monitoring und Controlling ESP Wankdorf**

**Luftbelastung: Analyse und Interpretation für das Messjahr 2009**

---

Auftraggeber:

beco  
Immissionsschutz  
Frau Anita Langenegger  
Laupenstrasse 22  
3011 Bern

Bearbeitung:

Thomas Künzle  
Dominik Egli

## Inhalt

1	Zusammenfassung .....	3
1.1	Luftschadstoffe im Jahr 2009.....	3
1.2	Verkehrszählungen im Jahr 2009 .....	5
1.3	Meteorologie im Jahr 2009 .....	6
1.4	Emissionen der Stickoxide und von Feinstaub im Jahr 2009 .....	7
2	Einleitung, Projektrahmen, Zielsetzungen .....	10
3	Grenzwerte .....	10
4	Vorgehen und Konzept .....	11
4.1	Messungen.....	11
4.1.1	Luftschadstoffe .....	11
4.1.2	Verkehrszählungen.....	13
4.1.3	Meteorologische Daten.....	14
4.2	Emissionen.....	15
5	Resultate, Analyse und Interpretation .....	15
5.1	Messdaten.....	15
5.1.1	Luftschadstoffe .....	15
5.1.2	Verkehrszählungen.....	19
5.1.3	Meteorologische Situation .....	20
5.2	Emissionsmengen .....	22
6	Fazit und Schlussfolgerungen .....	26
7	Literatur.....	27
	Anhang.....	28
	A1: Abkürzungen und Begriffserläuterungen.....	28
	A2: Luftschadstoffe im Jahr 2009.....	31
	A3: Zählstellen des motorisierten Individualverkehrs im Jahr 2009 .....	32
	A4: Meteorologie im Jahr 2009 .....	33
	A5: Emissionen der Stickoxide und von Feinstaub im Jahr 2009 .....	34

# 1 Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektes der Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern (BVE) zum Monitoring und Controlling im Entwicklungsschwerpunkt (ESP) Wankdorf (BVE, 2009) hat die Abteilung Immissionsschutz des beco die Firma **ME-TEOTEST** beauftragt, den Bereich Luftbelastung im Untersuchungsgebiet des ESP Wankdorf zu bearbeiten.

Feinstaub entsteht

- bei industriellen und gewerblichen Produktionsprozessen
- bei Verbrennungsprozessen
- durch mechanische Prozesse (Abrieb, Aufwirbelung)
- durch sekundäre Bildung (aus SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, VOC)

Hauptquellen sind Verkehr, Land- und Forstwirtschaft sowie Industrie und Gewerbe (inkl. Baustellen).

Feinstaub hat folgende Auswirkungen:

- Erkrankungen der Atemwege und des Herz-Kreislaufsystems
- Zunahme der Mortalität sowie des Krebsrisikos

Stickoxide entstehen beim Verbrennen von Brenn- und Treibstoffen, insbesondere bei hohen Verbrennungstemperaturen. Die Hauptquelle ist der Verkehr.

Stickoxide haben folgende Auswirkungen:

- Erkrankung der Atemwege
- vielfältige Schädigung der Pflanzen und empfindlicher Ökosysteme bei kombinierter Einwirkung mehrerer Schadstoffe
- Überdüngung von Ökosystemen

## 1.1 Luftschadstoffe im Jahr 2009

Die Grenzwerte sind in der Luftreinhalte-Verordnung festgehalten und betragen für den Jahresmittelwert von Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) 30 µg/m<sup>3</sup> und für Feinstaub (PM10) 20 µg/m<sup>3</sup>. Die Tagesmittel dürfen nur einmal pro Jahr den Wert von 80 µg/m<sup>3</sup> resp. 50 µg/m<sup>3</sup> überschreiten.

Tabelle 1 und Tabelle 2 zeigen die Jahresmittelwerte und Anzahl Tage über dem Grenzwert von NO<sub>2</sub> und PM10 in den Jahren 2005 – 2009. Grün dargestellt sind Stationswerte, wo der Grenzwert eingehalten ist. Rot sind Werte über dem Grenzwert. Violett dargestellt sind Werte 25% über dem Grenzwert.

Tabelle 1: NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte (µg/m<sup>3</sup>) und Anzahl Tage über dem Grenzwert an den Fixstationen in den Jahren 2005 – 2009.

<b>Jahresmittelwerte</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Bern-Brunngasshalde (AfU)	35.7	33.0	30.9	30.1	31.0
Bern-Bollwerk (NABEL)	50.1	52.3	47.5	47.3	47.1
Bern Wankdorf (beco)	38.9	39.3	39.0	40.1	38.8
Ittigen (beco)	27.9	28.8	24.4	26.5	26.1
<b>Anzahl Tage &gt; Grenzwert</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Bern-Brunngasshalde (AfU)	0	0	0	0	1
Bern-Bollwerk (NABEL)	8	10	0	4	9
Bern Wankdorf (beco)	4	1	2	7	4
Ittigen (beco)	1	1	0	0	2

Tabelle 2: PM10-Jahresmittelwerte (µg/m<sup>3</sup>) und Anzahl Tage über dem Grenzwert an den Fixstationen in den Jahren 2005 – 2009.

<b>Jahresmittelwerte</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Bern-Brunngasshalde (AfU)	26.8	28.0	22.3	21.5	22.9
Bern-Bollwerk (NABEL)	34.4	37.7	29.8	28.3	28.0
Ittigen (beco)	20.0	24.4	18.3	19.0	20.9
<b>Anzahl Tage &gt; Grenzwert</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Bern-Brunngasshalde (AfU)	20	44	18	17	20
Bern-Bollwerk (NABEL)	45	66	40	30	27
Ittigen (beco)	11	36	14	14	13

An den städtischen Messstationen wird der Grenzwert für den Jahresmittelwert beim Stickstoffdioxid und Feinstaub nicht eingehalten. Der Kurzzeitgrenzwert (24-h-Mittelwert, Anzahl Tage) von Feinstaub wird überall deutlich überschritten, beim Stickstoffdioxid nur entlang stark befahrener Strassen. Die Messdaten stehen vom beco, Amt für Umwelt der Stadt Bern und des NABEL-Messnetzes zur Verfügung.

## 1.2 Verkehrszählungen im Jahr 2009

Die Anzahl der Fahrzeuge im Untersuchungsgebiet des ESP Wankdorf beruhen auf den Verkehrszählungen des Tiefbauamtes Bern (TBA) sowie des Bundesamtes für Verkehr (ASTRA) und sind in der Abbildung 1 dargestellt. Auf den Autobahnen sind die Fahrrichtungen als separate Linien definiert.

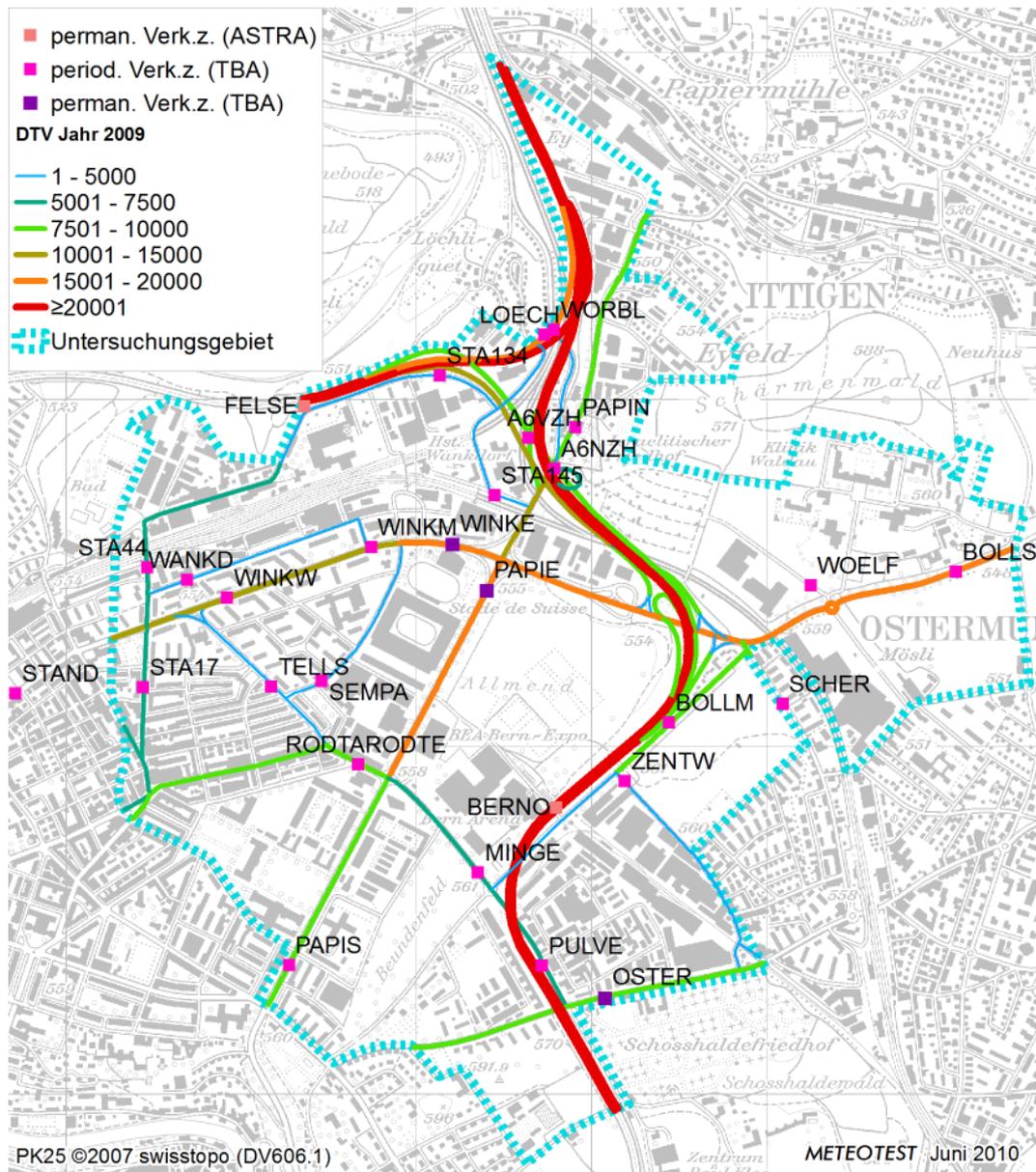


Abbildung 1: Durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge pro Tag (DTV) im Jahr 2009.

### 1.3 Meteorologie im Jahr 2009

Abbildung 2 zeigt die Anzahl Tage pro Monat mit starken Inversionen. Diese Kurve verläuft praktisch parallel zu der Anzahl Tagen pro Monat mit Grenzwertüberschreitungen von Feinstaub.

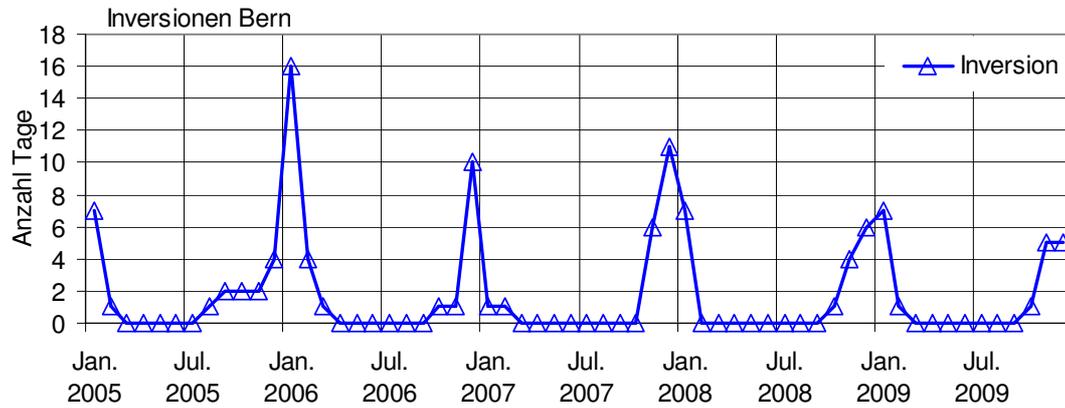


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Anzahl Inversionen in der Region Bern in den Jahren 2005 – 2009.

## 1.4 Emissionen der Stickoxide und von Feinstaub im Jahr 2009

Im Jahr 2009 beträgt der NO<sub>x</sub>-Emissionsfaktor für Hauptverkehrsstrassen (HVS<sup>1</sup>) innerorts 0.594 g/km und für Stadt-Autobahnen 0.592 g/km. Die Faktoren für PM10 betragen 0.086 g/km für Hauptverkehrsstrassen (HVS) resp. 0.066 g/km für Autobahnen.

Im Gebiet des ESP wurden auf HVS rund 121'000 Fahrzeug-Kilometer registriert, auf der Stadt-Autobahn rund 352'000 Fahrzeug-Kilometer (Tabelle 3).

Tabelle 3: Fahrzeugkilometer (Summe aus DTV \* Streckenlänge) sowie NO<sub>x</sub>- und PM10-Emissionen in Tonnen im Jahr 2009.

	FzKm	NO <sub>x</sub> [t/a]	PM10 [t/a]
Hauptverkehrsstrassen	121'000	30	4
Autobahn	352'000	83	9
Total	473'000	113	13

Die Emissionen auf den Hauptverkehrsstrassen betragen gemäss Tabelle 4 rund 30% des Totals.

Tabelle 4: Fahrzeugkilometer sowie NO<sub>x</sub>- und PM10-Emissionen in Prozent des Totals im Jahr 2009.

	FzKm [%]	NO <sub>x</sub> [%]	PM10 [%]
Hauptverkehrsstrassen	26%	26%	31%
Autobahn	74%	74%	69%
Total	100%	100%	100%

<sup>1</sup> Es wurden die Strassen berücksichtigt, welche gemäss der Landeskarte als 1. oder 2. Klassestrasse definiert sind. Quartierstrassen wurden nicht oder nur ausnahmsweise berücksichtigt.

## Tabellen

Tabelle 1:	NO <sub>2</sub> -Jahresmittelwerte (µg/m <sup>3</sup> ) und Anzahl Tage über dem Grenzwert an den Fixstationen in den Jahren 2005 – 2009.....	4
Tabelle 2:	PM10-Jahresmittelwerte (µg/m <sup>3</sup> ) und Anzahl Tage über dem Grenzwert an den Fixstationen in den Jahren 2005 – 2009.....	4
Tabelle 3:	Fahrzeugkilometer (Summe aus DTV * Streckenlänge) sowie NO <sub>x</sub> - und PM10-Emissionen in Tonnen im Jahr 2009.....	7
Tabelle 4:	Fahrzeugkilometer sowie NO <sub>x</sub> - und PM10-Emissionen in Prozent des Totals im Jahr 2009. ....	7
Tabelle 5:	Grenzwerte für NO <sub>2</sub> und PM10 gemäss LRV.....	10
Tabelle 6:	Entwicklung der Luftbelastung an den Standorten mit NO <sub>2</sub> -Passivsammler-Messungen in den vergangenen fünf Jahren.....	16
Tabelle 7:	Jahresmittelwerte (µg/m <sup>3</sup> ) und Anzahl Tage über dem Grenzwert von NO <sub>2</sub> an den Fixstationen in den Jahren 2005 – 2009.....	17
Tabelle 8:	Jahresmittelwerte (µg/m <sup>3</sup> ) und Anzahl Tage über dem Grenzwert von PM10 an den Fixstationen in den Jahren 2005 – 2009. ....	17
Tabelle 9:	Anzahl Tage mit Inversionen in der Region Bern in den Jahren 2005 – 2009. ....	21
Tabelle 10:	Prozentualen Anteile der Fahrzeugkategorien im Jahr 2009.....	22
Tabelle 11:	NO <sub>x</sub> -Emissionsfaktoren in Gramm pro Kilometer der vier Fahrzeugkategorien sowie gewichtet für das Jahr 2009. ....	22
Tabelle 12:	NO <sub>x</sub> -Emissionsfaktoren in Prozent der PKW für die drei anderen Fahrzeugkategorien sowie das gewichtete Mittel für das Jahr 2009.....	22
Tabelle 13:	PM10-Emissionsfaktoren aus dem Auspuff sowie Aufwirbelung und Abrieb in Gramm pro Kilometer der vier Fahrzeugkategorien sowie gewichtet für das Jahr 2009.....	23
Tabelle 14:	PM10-Emissionsfaktoren in Prozent der PKW für die drei anderen Fahrzeugkategorien sowie das gewichtete Mittel für das Jahr 2009.....	23
Tabelle 15:	Fahrzeugkilometer (Summe aus DTV * Streckenlänge) sowie NO <sub>x</sub> - und PM10-Emissionen in Tonnen im Jahr 2009.....	23
Tabelle 16:	Fahrzeugkilometer sowie NO <sub>x</sub> - und PM10-Emissionen in Prozent des Totals im Jahr 2009. ....	23
Tabelle 17:	Standorte mit lufthygienischen Messungen sowie Jahresmittelwerte im Jahr 2009 (Fixstationen). ....	31
Tabelle 18:	Standorte mit lufthygienischen Messungen sowie Jahresmittelwerte im Jahr 2009 (Passivsammler). ....	31
Tabelle 19:	Standorte mit Verkehrszählungen (permanente Messungen) und DTV im Jahr 2009.....	32

Tabelle 20: Standorte mit Verkehrszählungen (periodische Messungen) und DTV im Jahr 2009..... 32

Tabelle 21: Standorte mit meteorologischen Messdaten..... 33

Tabelle 22: PM10-Emissionsfaktoren aus dem Auspuff in Gramm pro Kilometer der vier Fahrzeugkategorien sowie gewichtet für das Jahr 2009..... 34

Tabelle 23: PM10-Emissionsfaktoren in Gramm pro Kilometer für Abrieb und Aufwirbelung..... 34

## Abbildungen

Abbildung 1: Durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge pro Tag (DTV) im Jahr 2009.... 5

Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Anzahl Inversionen in der Region Bern in den Jahren 2005 – 2009..... 6

Abbildung 3: Standorte der Verkehrszählungen (permanente und periodische Messungen). Die Grenze des Untersuchungsgebietes ist hellblau gepunktet dargestellt. .... 13

Abbildung 4: Darstellung der Messstandorte von meteorologischen Daten (blau) sowie lufthygienischen Daten (grün= Fixstationen, orange= NO<sub>2</sub>-Passivsammler)..... 14

Abbildung 5: Darstellung der Jahresmittelwerte an den Passivsammlerstationen des AfU von 2005 – 2009. .... 16

Abbildung 6: Darstellung der Monats- und Jahresmittelwerte an der Messstation Bern Zentrum (AfU) von 2005 – 2009. .... 18

Abbildung 7: Darstellung der Monats- und Jahresmittelwerte an der Messstation Wankdorf (beco) von 2005 – 2009..... 18

Abbildung 8: Durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge pro Tag (DTV) im Untersuchungsgebiet und Jahr 2009. .... 19

Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Emission, Transmission und Immission.20

Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der Anzahl Inversionen in der Region Bern in den Jahren 2005 – 2009..... 21

Abbildung 13: Spezifische NO<sub>x</sub>-Emissionen (t/km) im Untersuchungsgebiet..... 24

Abbildung 14: Spezifische PM10-Emissionen (t/km) im Untersuchungsgebiet. .... 25

Version	Datum	Inhalt	Autor	Kontrolle
0.1	31.05.2010	Version Besprechung mit A. Langenegger	TK	--
1.0	15.07.2010	Aktualisierte Inhalte für das Jahr 2009	DE	TK
1.1	21.07.2010	Abgabeverision z.H. beco und AfU	TK	BS

## 2 Einleitung, Projektrahmen, Zielsetzungen

Im Rahmen des Projektes der Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern (BVE) zum Monitoring und Controlling im Entwicklungsschwerpunkt (ESP) Wankdorf (BVE, 2009) hat die Abteilung Immissionsschutz des beco die Firma **METEOTEST** beauftragt, den Bereich Luftbelastung im Untersuchungsgebiet des ESP Wankdorf zu bearbeiten. In diesem Dokument wird nicht näher auf die Vorgeschichte und die Randbedingungen zu diesem Projekt eingegangen.

Ziel dieses Berichtes ist es, die Emissionen des Strassenverkehrs sowie die Luftbelastung durch Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Feinstaub (PM10) im Gebiet des ESP Wankdorf und des Nordquartiers in Bern auf der Basis von Messungen für das Jahr 2009 aufzuzeigen. Es ist eine Aktualisierung und verkürzte Fassung des Berichtes für das Jahr 2008 (**METEOTEST**, 2010)

Die Grenzen des Untersuchungsgebietes werden wie folgt definiert: Gebiet des Perimeters ESP gemäss BVE-Bericht (BVE, 2009) inkl. der Zusatzgebiete bis zum Breitenrainplatz (siehe Abbildung 3).

## 3 Grenzwerte

In der Luftreinhalte-Verordnung (LRV, 1985) sind die Immissionsgrenzwerte gemäss Tabelle 5 definiert.

Tabelle 5: Grenzwerte für NO<sub>2</sub> und PM10 gemäss LRV.

	Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )	Feinstaub (PM10)
Langzeitgrenzwert (Jahresmittelwert, arithmetischer Mittelwert)	30 µg/m <sup>3</sup>	20 µg/m <sup>3</sup>
Kurzzeitgrenzwert (24-h-Mittelwert, Anzahl Tage)	darf höchstens einmal pro Jahr 80 µg/m <sup>3</sup> überschreiten	darf höchstens einmal pro Jahr 50 µg/m <sup>3</sup> überschreiten

## 4 Vorgehen und Konzept

### 4.1 Messungen

#### 4.1.1 Luftschadstoffe

Als Indikatoren für die Luftbelastung werden die zwei Schadstoffe Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) und Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$ ) definiert. Nachfolgend wird kurz auf die Eigenschaften von  $\text{NO}_x$ ,  $\text{NO}_2$  und  $\text{PM}_{10}$  eingegangen<sup>2</sup>. Weiterführende Angaben und Links sind im Anhang A1: Abkürzungen und Begriffserläuterungen zu finden.

#### Stickoxide ( $\text{NO}_x$ )

Unter dem Begriff Stickoxide werden Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) und Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ) zusammengefasst. Da  $\text{NO}$  rasch zu  $\text{NO}_2$  oxidiert, werden die Emissionen gesamthaft als Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ )-Äquivalente angegeben.

Entsteht:

- Beim Verbrennen von Brenn- und Treibstoffen, insbesondere bei hohen Verbrennungstemperaturen.

Hauptquelle:

- Strassenverkehr

Eigenschaften:

- $\text{NO}$ : Farbloses Gas, wird in der Atmosphäre zu  $\text{NO}_2$  umgewandelt
- $\text{NO}_2$ : In höheren Konzentrationen rötlich

Auswirkungen:

- Erkrankung der Atemwege
- vielfältige Schädigung der Pflanzen und empfindlicher Ökosysteme bei kombinierter Einwirkung mehrerer Schadstoffe
- Überdüngung von Ökosystemen

Anmerkung:

- Wichtige Vorläufersubstanz für die Bildung von sauren Niederschlägen, sekundären Aerosolen und - zusammen mit den flüchtigen organischen Verbindungen - von Photooxidantien (Ozon/Sommersmog)

---

<sup>2</sup> Quelle: <http://www.bafu.admin.ch/luft/00585>. Weiterführende Informationen gibt es auf dieser Website unter: "Faktenblatt: Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ) im Blickfeld" oder "Feinstaub Dokumentation der AefU"

### Feinstaub (PM10)

Unter der Bezeichnung PM10 versteht man Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner gleich 10 Mikrometer. Staub ist ein physikalisch-chemisch komplexes Gemisch. Es besteht sowohl aus primär emittierten wie aus sekundär gebildeten Komponenten natürlichen und anthropogenen Ursprungs (z.B. Russ, geologisches Material, Abriebspartikel, biologisches Material) und ist in seiner Zusammensetzung sehr vielfältig (Schwermetalle, Sulfat, Nitrat, Ammonium, organischer Kohlenstoff, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Dioxine/Furane).

#### Entsteht:

- Bei industriellen und gewerblichen Produktionsprozessen
- Bei Verbrennungsprozessen
- mechanische Prozesse (Abrieb, Aufwirbelung)
- sekundäre Bildung (aus SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NH<sub>3</sub>, VOC)

#### Hauptquellen:

- Verkehr
- Land- und Forstwirtschaft
- Industrie und Gewerbe (inkl. Baustellen)

#### Eigenschaften:

- Feste und flüssige Teilchen unterschiedlicher Grösse und Zusammensetzung

#### Auswirkungen:

- Feinstäube und Russ: Erkrankungen der Atemwege und des Herz-Kreislaufsystems
- Zunahme der Mortalität sowie des Krebsrisikos
- Sedimentstaub (Staubniederschlag): Belastung des Bodens, der Pflanzen und - über die Nahrungskette - auch des Menschen durch im Staub enthaltene Schwermetalle und Dioxine/Furane

In der Umgebung des ESP Wankdorf stehen Luftimmissions-Daten von 4 Fixstationen und 13 NO<sub>2</sub>-Passivsammler-Standorten gemäss Tabelle 17 und Tabelle 18 im Anhang A2 und Abbildung 4 zur Verfügung.

Die Daten werden bezüglich den Langzeit- und Kurzzeitgrenzwerten beurteilt und zu früheren Jahren verglichen. Die Kurzzeitgrenzwerte werden nur an Standorten mit kontinuierlichen Messungen analysiert.

### 4.1.2 Verkehrszählungen

Das Tiefbauamt Bern und das Bundesamt für Verkehr betreibt an mehreren Standorten Verkehrszählungen (siehe Abbildung 3 sowie Tabelle 19 und Tabelle 20). Mit diesen Daten werden für das Strassennetz die Verkehrsmengen (DTV, durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge pro Tag) definiert und anschliessend die Emissionen der Luftschadstoffe berechnet, welche dann Grundlagen für die lufthygienischen Abschätzungen sind.

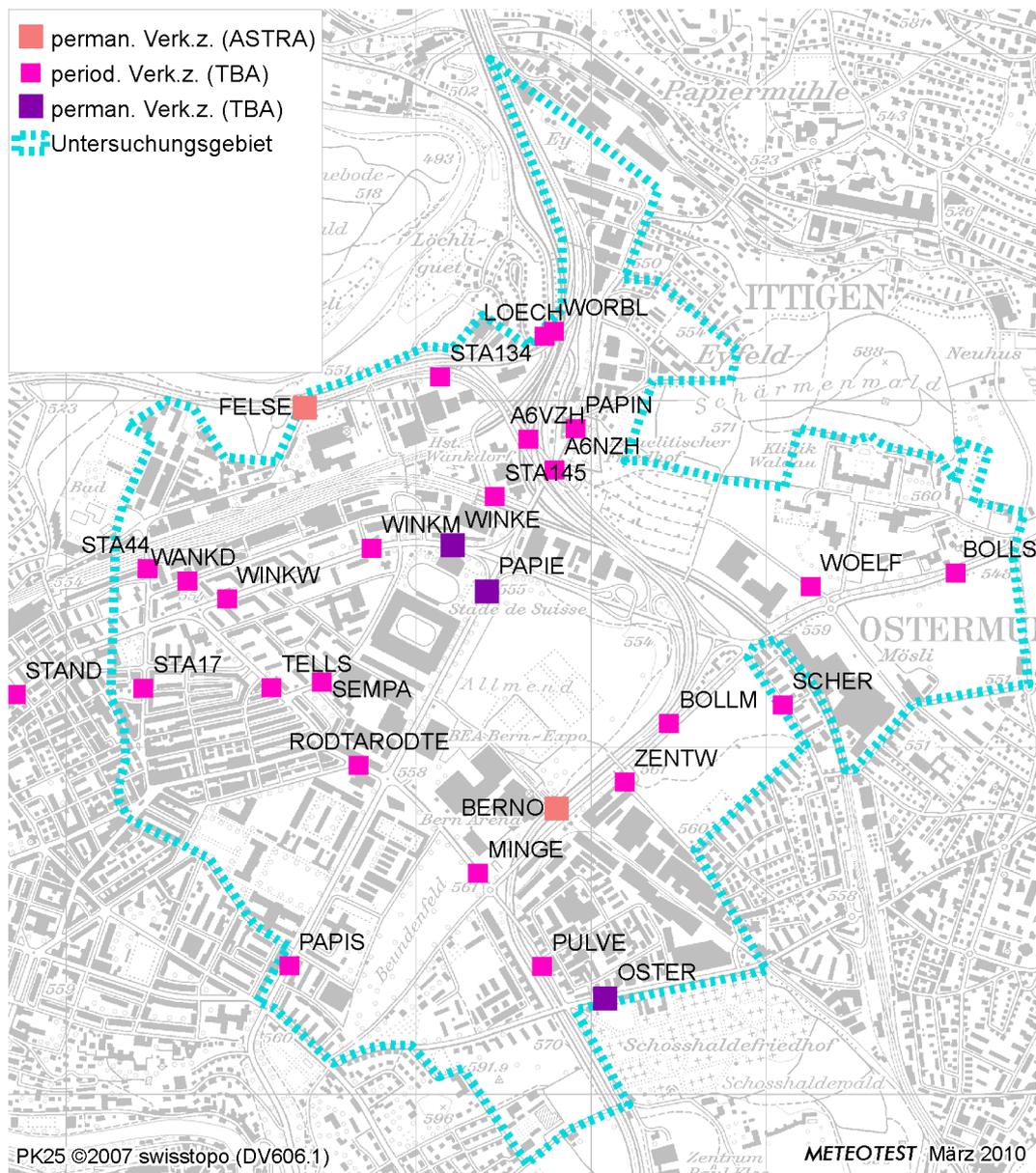


Abbildung 3: Standorte der Verkehrszählungen (permanente und periodische Messungen). Die Grenze des Untersuchungsgebietes ist hellblau gepunktet dargestellt.

### 4.1.3 Meteorologische Daten

Meteorologische Messdaten liegen von vier Standorten vor (Zollikofen, Bollwerk, Länggasse, Bantiger). Diese sind in der Tabelle 21 im Anhang A4 aufgelistet und in der Abbildung 4 blau dargestellt. An der Station des Amts für Umwelt an der Brunn-gasshalde werden auch meteorologische Daten registriert. Weil diese ähnlich wie am Bollwerk sind, wurden sie nicht für den vorliegenden Bericht verwendet.

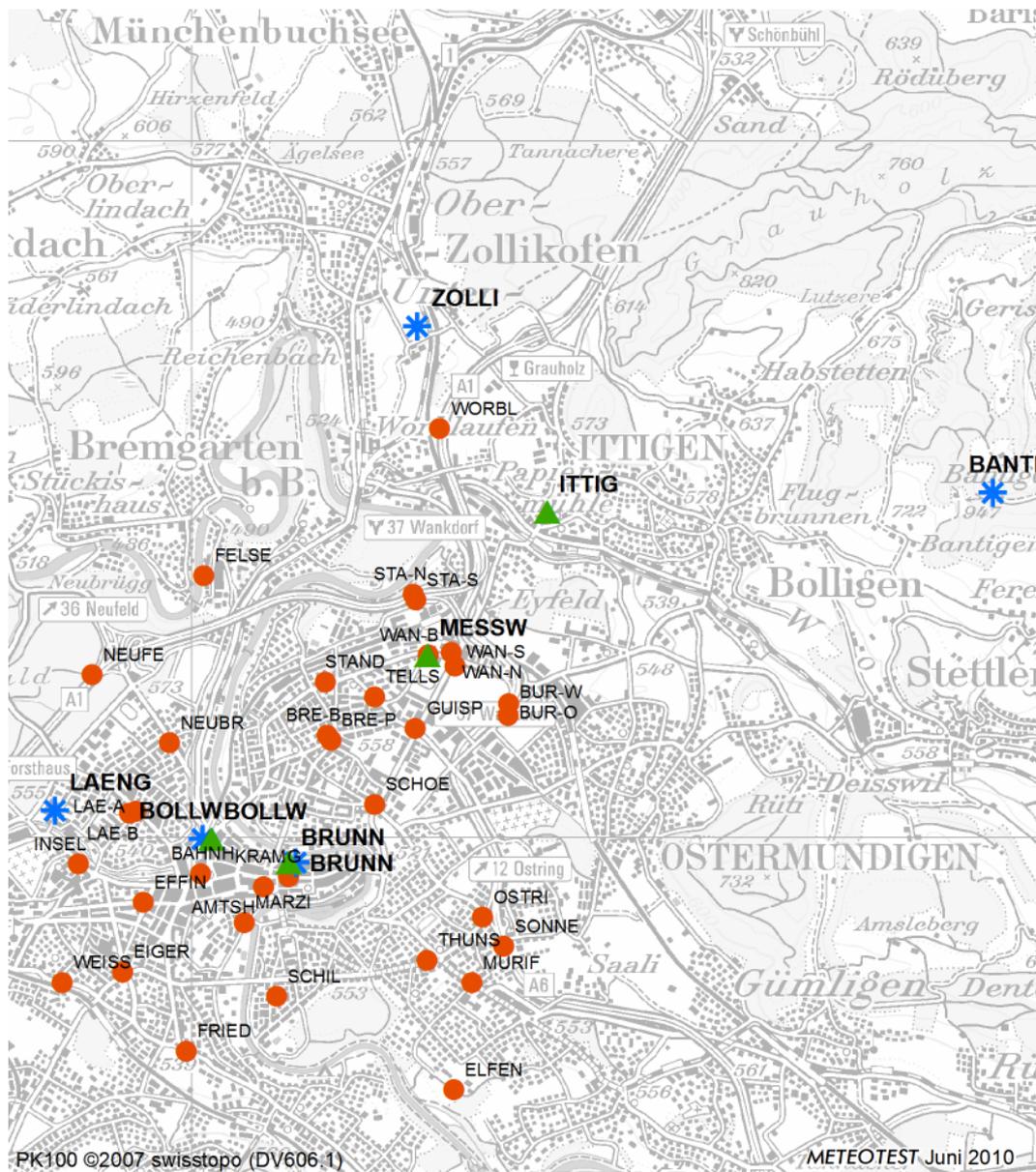


Abbildung 4: Darstellung der Messstandorte von meteorologischen Daten (blau) sowie lufthygienischen Daten (grün= Fixstationen, orange= NO<sub>2</sub>-Passivsammler).

## 4.2 Emissionen

Die Menge der am Auspuff sowie von Aufwirbelung und Abrieb der Fahrzeuge ausgestossenen Luftschadstoffe (Emissionen) ist abhängig von der Anzahl Fahrzeuge, der Fahrgeschwindigkeit, der Fahrzeugkategorien, der Steigung und weiterer Faktoren der jeweiligen Strassen. Mit dem Handbuch "Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs" Version 3.1 (BAFU, 2010) steht eine Grundlage zur Verfügung, mit welcher die an den Quellen entstandenen Luftschadstoffe ermittelt werden können.

In der vorliegenden Untersuchung wird die Menge an Stickoxiden (NO<sub>x</sub>) und Feinstaub (PM10) bestimmt. Es wurden nur Emissionsfaktoren für flache Strecken (keine Steigungen) berücksichtigt. Die Faktoren liegen für die Jahre 2005 und 2010 vor. Für die Zwischenjahre wurden die Werte interpoliert.

Die Definition der Menge von Feinstaub, welcher aus Aufwirbelung und Abrieb stammt, ist in BUWAL (2004) definiert. Vor kurzem ist ein Forschungsprojekt abgeschlossen worden, welches sich ebenfalls mit der Fragestellung von Aufwirbelung und Abrieb befasst hat (ASTRA, 2009). Aus diesem Projekt gehen jedoch keine aktualisierten Faktoren hervor und gemäss Empfehlung des BAFU sollen weiterhin die Daten aus dem Jahr 2004 angewendet werden.

# 5 Resultate, Analyse und Interpretation

## 5.1 Messdaten

### 5.1.1 Luftschadstoffe

Tabelle 6 und Abbildung 5 zeigt die Entwicklung der NO<sub>2</sub>-Luftbelastung an den Standorten mit Passivsammler-Messungen in den vergangenen fünf Jahren. Grün dargestellt in Tabelle 6 sind Stationswerte, wo der Grenzwert eingehalten ist. Rot dargestellt sind Werte über dem Grenzwert. Violett dargestellt sind Werte 25% über dem Grenzwert. Nur an Standorten abseits der Hauptverkehrsachsen mit wenig Verkehr und in grosser Entfernung der Autobahn liegen die Werte in grünen Bereich.

Die Interpretation der zeitlichen Entwicklung der Belastungssituation an den verschiedenen Messstationen seit dem Jahr 2004 ist nicht Hauptgegenstand dieses Berichtes. Insgesamt kann festgestellt werden, dass der Kurvenverlauf mehr oder weniger parallel verläuft. Es kann kein eindeutiger Trend in der Entwicklung festgestellt werden.

Tabelle 6: Entwicklung der Luftbelastung an den Standorten mit NO<sub>2</sub>-Passivsammelmessungen in den vergangenen fünf Jahren<sup>3</sup>.

Jahresmittelwerte	2005	2006	2007	2008	2009
Breitenrainplatz	42.0	35.9	34.0	39.2	39.0
Breitenrainplatz B	28.3	25.3	23.5	25.8	25.3
Burgfeld Ost	41.8	40.2	43.4	40.7	43.1
Burgfeld West	35.3	36.0	36.4	37.7	37.9
Guisanplatz	42.1	43.6	43.4	39.5	39.6
Schönburg	46.0	42.6	39.3	41.0	41.8
Standstrasse	34.7	31.0	29.9	31.6	33.0
Stauffacherstr. Nord	51.4	53.4	51.5	54.4	
Stauffacherstr. Süd	51.0	50.5	49.7	55.3	51.9
Tellstrasse	28.2	26.1	24.5	29.6	24.7
Wankdorf beco	43.8	41.8	40.4	40.1	40.5
Wankdorfplatz Nord	39.7	36.0	37.2	39.6	
Wankdorfplatz Süd	39.3	35.0	34.0	38.0	

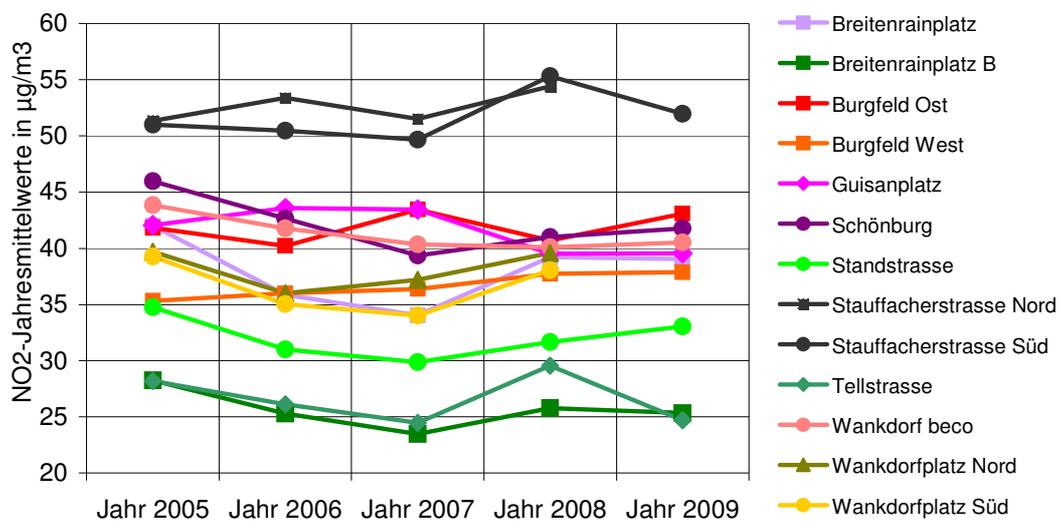


Abbildung 5: Darstellung der Jahresmittelwerte an den Passivsammelstationen des AfU von 2005 – 2009.

<sup>3</sup> Die Jahresmittelwerte basieren auf den gemessenen Monatsmittelwerten des AfU. Fehlende Monatsmittelwerte wurden ergänzt, in dem mit einer Regressionsanalyse diese Werte auf Grund von ähnlichen Messstationen ergänzt wurden. Ohne Ergänzungen von fehlenden Monatswerten wären die Jahresmittelwerte verfälscht.

In der Tabelle 7 und Tabelle 8 sind die Daten der Fixstationen dargestellt. An den innenstädtischen Messstationen wird der Grenzwert für den Jahresmittelwert beim Stickstoffdioxid und Feinstaub nicht eingehalten. Der Kurzzeitgrenzwert (24-h-Mittelwert, Anzahl Tage) von Feinstaub wird überall deutlich überschritten, beim Stickstoffdioxid nur entlang stark befahrener Strassen.

Tabelle 7: Jahresmittelwerte ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und Anzahl Tage über dem Grenzwert von  $\text{NO}_2$  an den Fixstationen in den Jahren 2005 – 2009.

<b>Jahresmittelwerte</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Bern-Brunngasshalde (AfU)	35.7	33.0	30.9	30.1	31.0
Bern-Bollwerk (NABEL)	50.1	52.3	47.5	47.3	47.1
Bern Wankdorf (beco)	38.9	39.3	39.0	40.1	38.8
Ittigen (beco)	27.9	28.8	24.4	26.5	26.1
<b>Anzahl Tage &gt; Grenzwert</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Bern-Brunngasshalde (AfU)	0	0	0	0	1
Bern-Bollwerk (NABEL)	8	10	0	4	9
Bern Wankdorf (beco)	4	1	2	7	4
Ittigen (beco)	1	1	0	0	2

Tabelle 8: Jahresmittelwerte ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) und Anzahl Tage über dem Grenzwert von  $\text{PM}_{10}$  an den Fixstationen in den Jahren 2005 – 2009.

<b>Jahresmittelwerte</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Bern-Brunngasshalde (AfU)	26.8	28.0	22.3	21.5	22.9
Bern-Bollwerk (NABEL)	34.4	37.7	29.8	28.3	28.0
Ittigen (beco)	20.0	24.4	18.3	19.0	20.9
<b>Anzahl Tage &gt; Grenzwert</b>	<b>2005</b>	<b>2006</b>	<b>2007</b>	<b>2008</b>	<b>2009</b>
Bern-Brunngasshalde (AfU)	20	44	18	17	20
Bern-Bollwerk (NABEL)	45	66	40	30	27
Ittigen (beco)	11	36	14	14	13

In Abbildung 6 und Abbildung 7 sind die Monatsmittelwerte, die Jahresmittelwert und die Anzahl Tage über dem Kurzzeit-Grenzwert (KGW) der letzten fünf Jahre dargestellt. Höhere Belastungswerte treten im Winterhalbjahr auf, je nach meteorologischen Einflüssen.

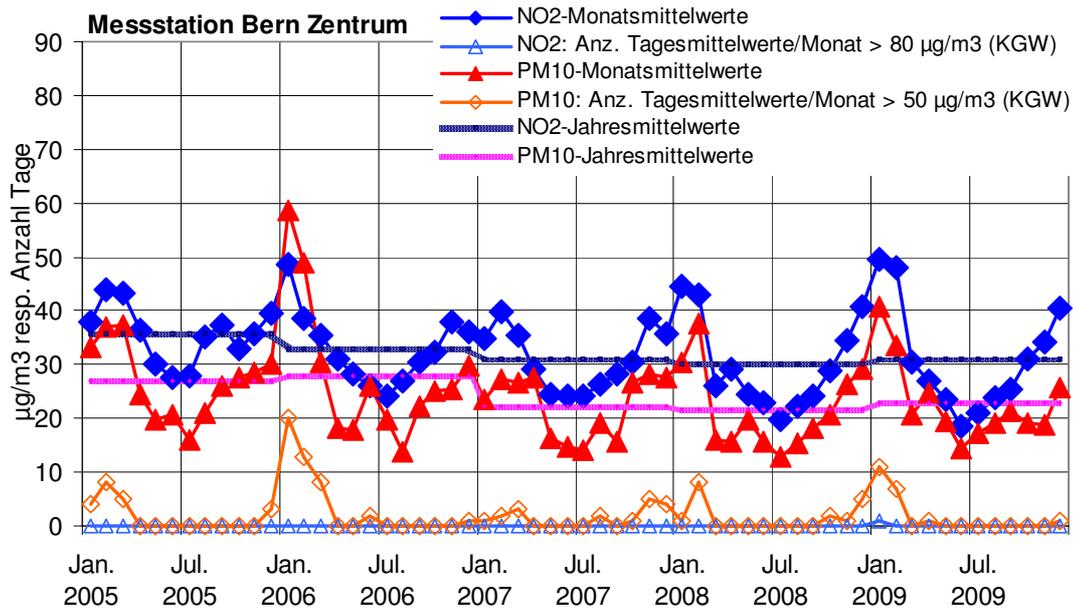


Abbildung 6: Darstellung der Monats- und Jahresmittelwerte an der Messstation Bern Zentrum (AfU) von 2005 – 2009.

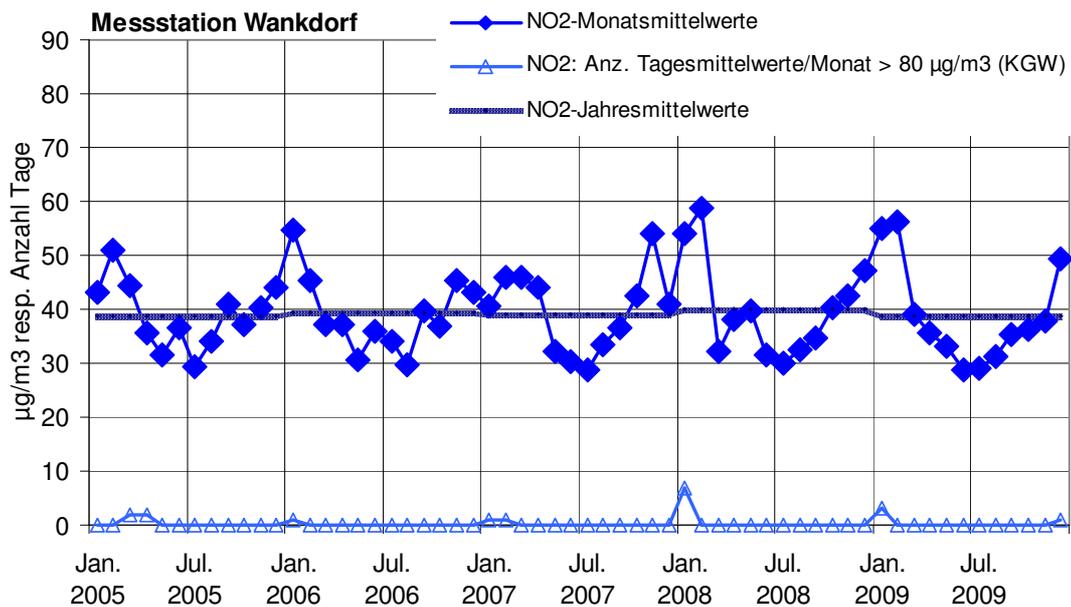


Abbildung 7: Darstellung der Monats- und Jahresmittelwerte an der Messstation Wankdorf (beco) von 2005 – 2009.

### 5.1.2 Verkehrszählungen

Die Anzahl der Fahrzeuge im Untersuchungsgebiet des ESP beruhen auf den Verkehrszählungen des TBA sowie des ASTRA und sind in der Abbildung 8 dargestellt. Die Werte des Jahres 2009 sind in Tabelle 19 und Tabelle 20 in Anhang A3 aufgelistet. Auf den Autobahnen sind die Fahrrichtungen als separate Linien definiert.

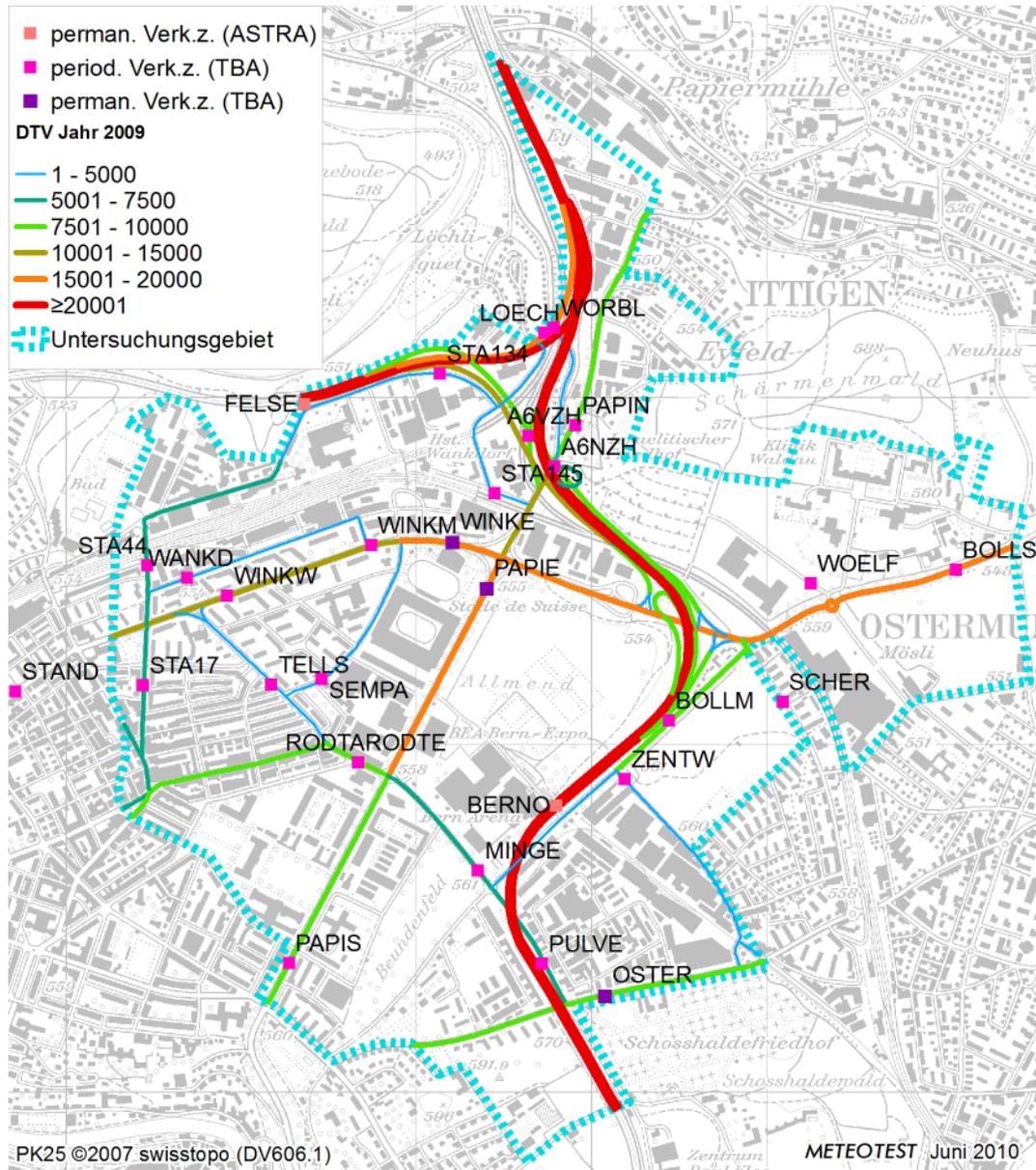


Abbildung 8: Durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge pro Tag (DTV) im Untersuchungsgebiet und Jahr 2009.

### 5.1.3 Meteorologische Situation

Entscheidend für die effektive Luftbelastung (Immission) in einem Untersuchungsjahr sind die Menge an ausgestossenen Schadstoffen (Emissionen) sowie die Ausbreitungssituation (Transmission). Die Qualität der Ausbreitung der Luftschadstoffe hängt u.a. von der Stabilität der Atmosphäre (Anzahl Inversionen) und der Windgeschwindigkeit ab. Abbildung 9 zeigt ein Schema zur Ausbreitung der Luftschadstoffe.

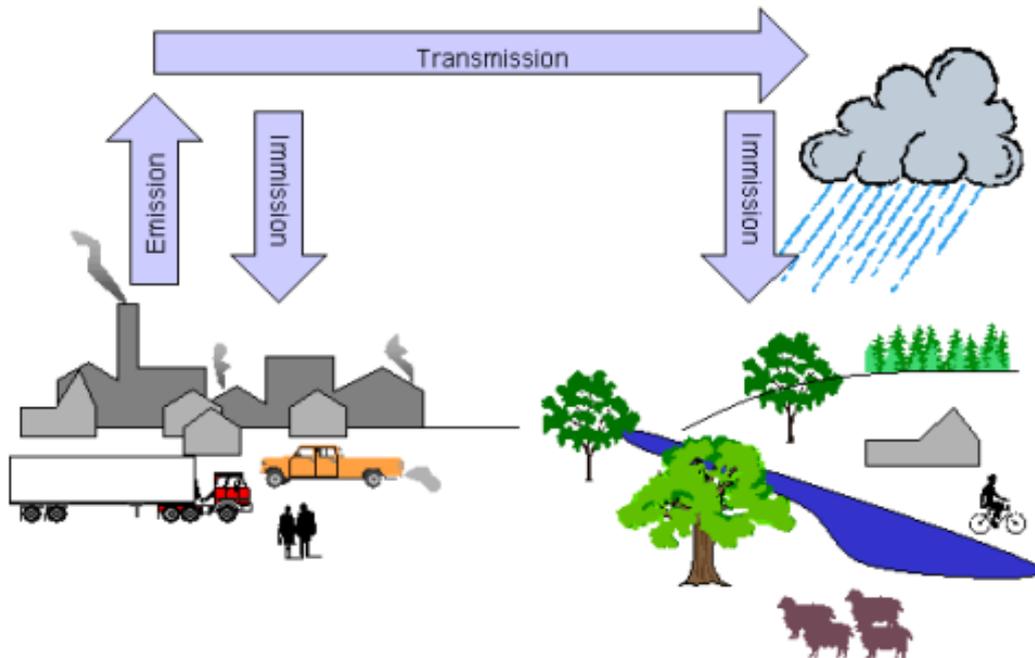


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Emission, Transmission und Immission<sup>4</sup>.

In der Tabelle 9 sind die Anzahl Tage mit Inversionen in der Region Bern aufgelistet und in der Abbildung 10 grafisch dargestellt. Die Anzahl Tage wurde analog den NABEL-Berichten (BAFU, 2009) bestimmt: Tage mit stabiler Temperaturschichtung zwischen 12 und 14 MEZ (mindestens Isothermie, d.h. Höhen- und Talstation haben dieselbe Temperatur).

<sup>4</sup> aus <http://www.umwelt.sg.ch/home/Themen/Luft/luftmessergebnisse/umgewandelt.html>

Tabelle 9: Anzahl Tage mit Inversionen in der Region Bern in den Jahren 2005 – 2009.

	2005	2006	2007	2008	2009		2005	2006	2007	2008	2009
<b>Jan</b>	7	16	1	7	7	<b>Jul</b>	0	0	0	0	0
<b>Feb</b>	1	4	1	0	1	<b>Aug</b>	1	0	0	0	0
<b>Mrz</b>	0	1	0	0	0	<b>Sep</b>	2	0	0	0	0
<b>Apr</b>	0	0	0	0	0	<b>Okt</b>	2	1	0	1	1
<b>Mai</b>	0	0	0	0	0	<b>Nov</b>	2	1	6	4	5
<b>Jun</b>	0	0	0	0	0	<b>Dez</b>	4	10	11	6	5
						<b>Summe</b>	19	33	19	18	19

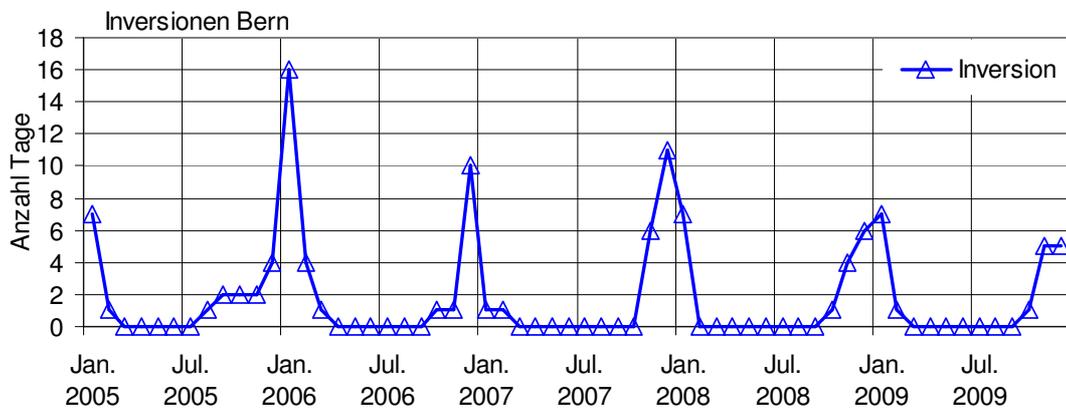


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der Anzahl Inversionen in der Region Bern in den Jahren 2005 – 2009.

## 5.2 Emissionsmengen

Die prozentualen Anteile der Fahrzeugkategorien für das Jahr 2009 sind in Tabelle 10 aufgezeigt, sie wurden gegenüber 2008 nicht verändert.

Tabelle 10: Prozentualen Anteile der Fahrzeugkategorien im Jahr 2009.

Strassentyp	Personenwagen (PKW)	Lieferwagen (LNF)	Motorräder (MR)	Lastwagen (SNF)
Hauptverkehrsstrasse	94.3%	0.9%	1.4%	3.4%
Autobahn-City	84.3%	8.4%	1.2%	6.1%

Basis für die Bestimmung der prozentualen Anteile der Fahrzeugkategorien sind die Verkehrszählungen der Stadt Bern (Tiefbauamt der Stadt Bern; TBA, 2009). An drei Stationen wird ganzjährig der Verkehr aufgeteilt für Personenwagen, Lastwagen, Lieferwagen, Bus und Motorräder gemessen. An zehn Standorten im Untersuchungsgebiet werden Personenwagen, Lastwagen und Motorräder registriert. Für die Bestimmung der prozentualen Anteile auf Hauptverkehrsstrassen wurden die drei Fixstationen sowie zwei mobile Stationen (Standstrasse 15 und Staufacherstrasse 134) verwendet, wobei die Fixstationen zweimal gewichtet verwendet wurden, weil diese eine grössere Datensicherheit aufweisen. Dies wurde abgesprochen gemäss TBA (2009).

Die Emissionsfaktoren sind in Tabelle 11 und Tabelle 13 aufgelistet. Es zeigt sich, dass die Lastwagen (SNF) etwa 20 mal soviel  $\text{NO}_x$ -Emissionen ausstossen wie die Personenwagen, beim Feinstaub sind die SNF-Faktoren innerorts etwa 10 mal höher als bei den PKW (Tabelle 12 und Tabelle 14). Die schlussendlich verwendeten Emissionsfaktoren sind die gewichteten Werte (berechnet an Hand der Tabelle 10).

Tabelle 11:  $\text{NO}_x$ -Emissionsfaktoren in Gramm pro Kilometer der vier Fahrzeugkategorien sowie gewichtet für das Jahr 2009.

Strassentyp	Personenwagen (PKW)	Lieferwagen (LNF)	Motorräder (MR)	Lastwagen (SNF)	gewichtet
Hauptverkehrsstr.	0.344	0.875	0.078	7.667	<b>0.594</b>
Autobahn-City	0.251	0.785	0.111	5.125	<b>0.592</b>

Tabelle 12:  $\text{NO}_x$ -Emissionsfaktoren in Prozent der PKW für die drei anderen Fahrzeugkategorien sowie das gewichtete Mittel für das Jahr 2009.

Strassentyp	Personenwagen (PKW)	Lieferwagen (LNF)	Motorräder (MR)	Lastwagen (SNF)	gewichtet
Hauptverkehrsstr.	100%	254%	23%	2228%	173%
Autobahn-City	100%	312%	44%	2041%	236%

Tabelle 13: PM10-Emissionsfaktoren aus dem Auspuff sowie Aufwirbelung und Abrieb in Gramm pro Kilometer der vier Fahrzeugkategorien sowie gewichtet für das Jahr 2009.

Strassentyp	Personenwagen (PKW)	Lieferwagen (LNF)	Motorräder (MR)	Lastwagen (SNF)	gewichtet
Hauptverkehrsstr.	0.064	0.107	0.014	0.696	<b>0.086</b>
Autobahn-City	0.055	0.095	0.012	0.187	<b>0.066</b>

Tabelle 14: PM10-Emissionsfaktoren in Prozent der PKW für die drei anderen Fahrzeugkategorien sowie das gewichtete Mittel für das Jahr 2009.

Strassentyp	Personenwagen (PKW)	Lieferwagen (LNF)	Motorräder (MR)	Lastwagen (SNF)	gewichtet
Hauptverkehrsstr.	100%	173%	22%	1127%	134%
Autobahn-City	100%	180%	22%	373%	122%

Die Stickoxid- und Feinstaub-Emissionen werden wie folgt berechnet:

$$\text{Emission [Tonnen pro Jahr]} = \text{DTV [Anz. Fhz. pro Tag]} * \text{Streckenlänge [km]} * \text{Emissionsfaktor [Gramm pro km und Fhz.]} * 365 [\text{Tag pro Jahr}] / 1'000'000 [\text{Umrechnung auf Tonnen}]$$

Im Gebiet des ESP wurden auf HVS rund 121'000 Fahrzeug-Kilometer registriert, auf der Stadt-Autobahn rund 352'000 Fahrzeug-Kilometer (Tabelle 15). Die Emissionen auf den Hauptverkehrsstrassen betragen gemäss Tabelle 16 rund 25% des Totals.

Tabelle 15: Fahrzeugkilometer (Summe aus DTV \* Streckenlänge) sowie NO<sub>x</sub>- und PM10-Emissionen in Tonnen im Jahr 2009.

	FzKm	NO <sub>x</sub> [t/a]	PM10 [t/a]
Hauptverkehrsstrassen	121'168	26.282	3.779
Autobahn	352'230	76.139	8.489
Total	473'448	102.421	12.268

Tabelle 16: Fahrzeugkilometer sowie NO<sub>x</sub>- und PM10-Emissionen in Prozent des Totals im Jahr 2009.

	FzKm [%]	NO <sub>x</sub> [%]	PM10 [%]
Hauptverkehrsstrassen	25.6%	25.7%	30.8%
Autobahn	74.4%	74.3%	69.2%
Total	100.0%	100.0%	100.0%

In der Abbildung 11 und Abbildung 12 sind die spezifischen Emissionen in t/km für Stickoxide und Feinstaub dargestellt.

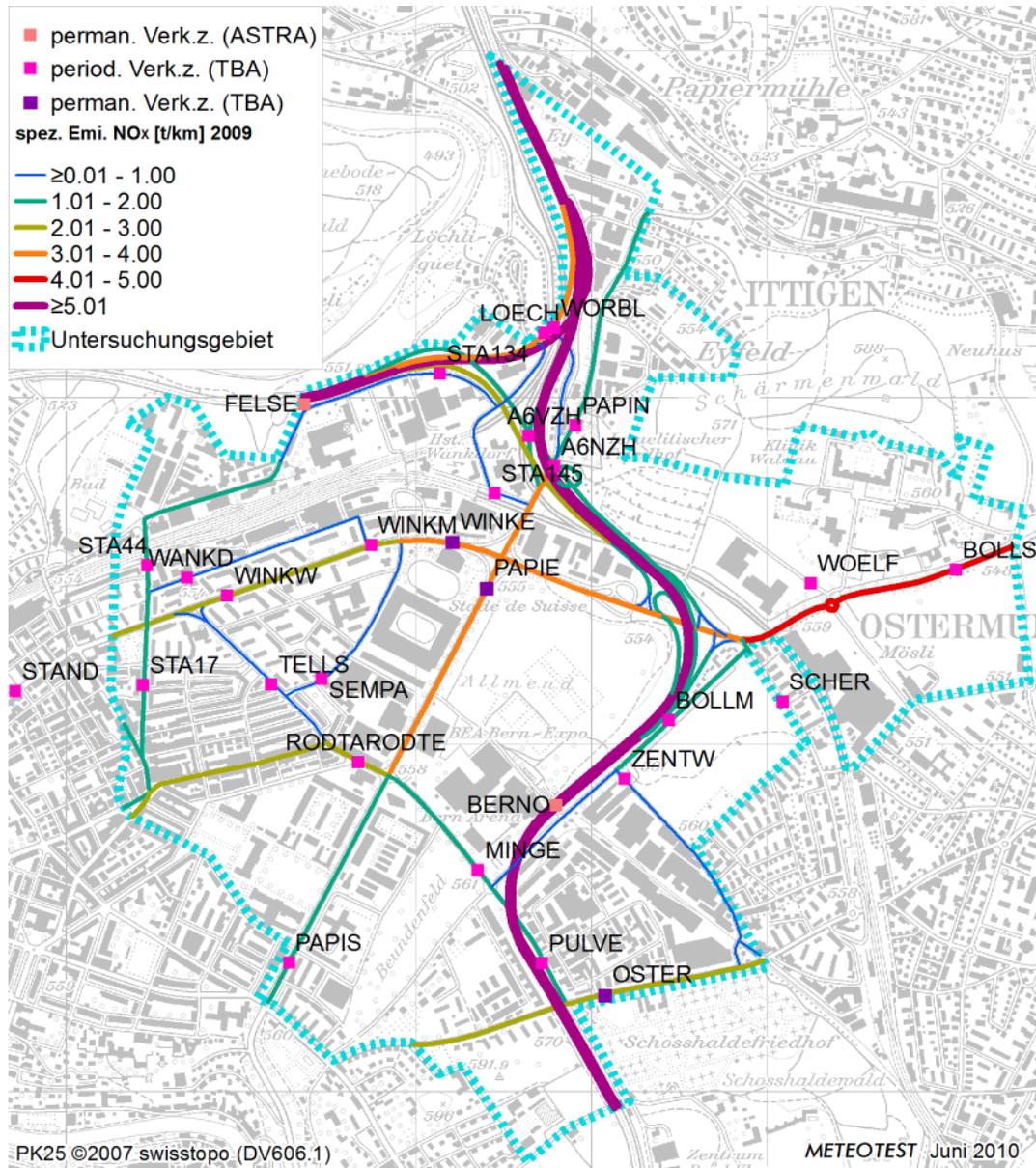


Abbildung 11: Spezifische NO<sub>x</sub>-Emissionen (t/km) im Untersuchungsgebiet.

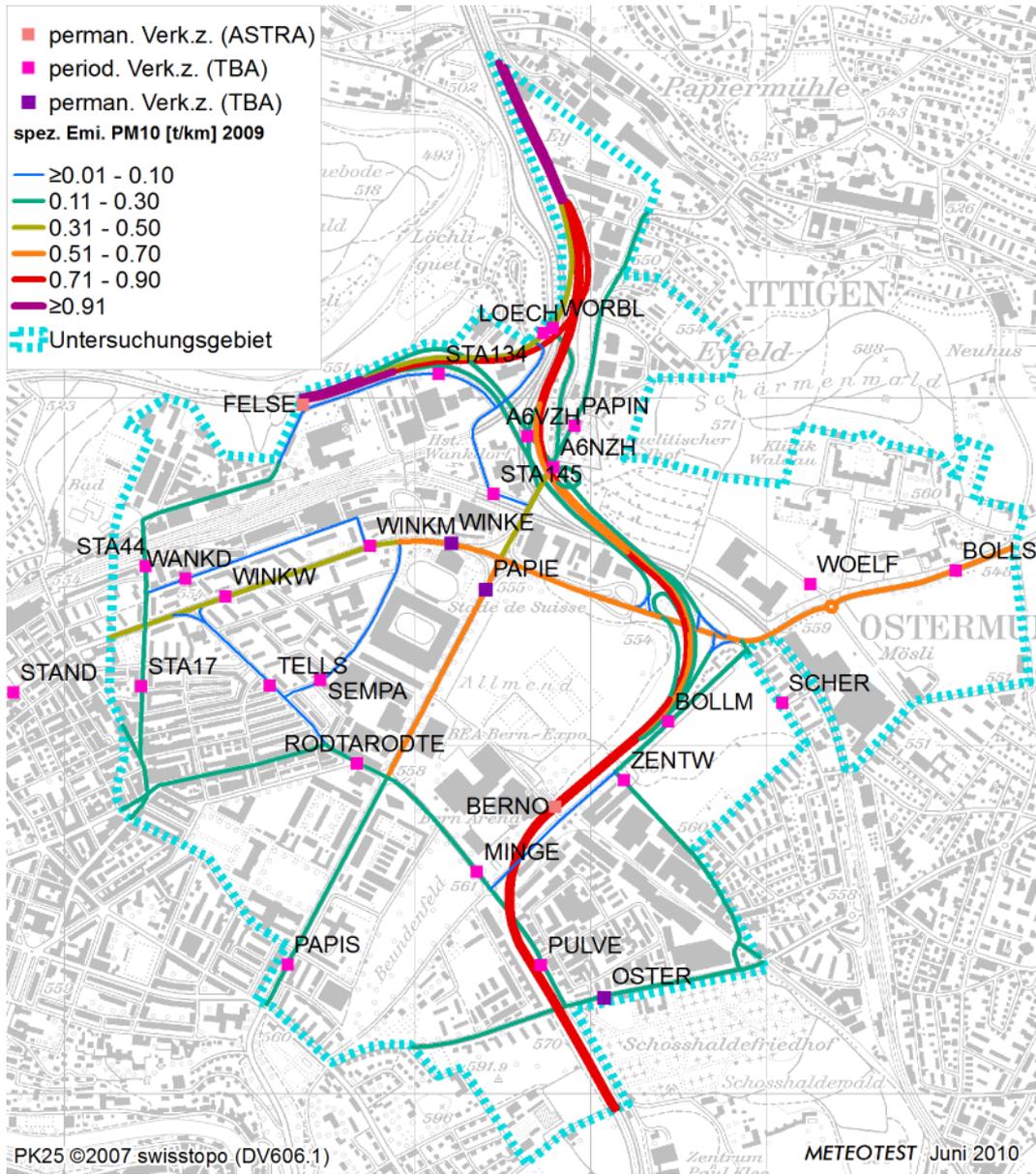


Abbildung 12: Spezifische PM10-Emissionen (t/km) im Untersuchungsgebiet.

## 6 Fazit und Schlussfolgerungen

Entlang der Hauptverkehrsachsen im ESP Wankdorf waren die Grenzwerte der Jahresmittelwerte von Stickstoffdioxid und Feinstaub überschritten.

In den Quartieren abseits stark befahrener Strassen liegen die NO<sub>2</sub>-Jahresmittelwerte unterhalb 30 µg/m<sup>3</sup>.

Der Einfluss von lokalen Emissionen ist beim Stickstoffdioxid höher als beim Feinstaub.

Der Einfluss von meteorologischen Verhältnissen ist v.a. beim Feinstaub deutlich zu erkennen.

Die Feinstaub-Belastung wird stärker durch überregionale Immissionen beeinflusst als beim Stickstoffdioxid.

Nebst den Punktmessungen an den einzelnen Standorten werden ab dem Jahr 2010 auch Querprofile mit NO<sub>2</sub>-Passivsammlern entlang stark befahrener Strasse gemessen. Somit kann aufgezeigt werden, wie stark die Abnahme der Luftbelastung durch NO<sub>2</sub> quer zur Strasse in Realität ist. Insgesamt werden 6 zusätzliche Messstandorte betrieben.

Am Standort des beco-Messwagens wird ab dem Jahr 2010 auch PM10 gemessen, somit wird an diesem Standort auch ein Jahresmittelwert vorliegen.

Es muss alles daran gesetzt werden, dass möglichst vollständige Datenreihen vorliegen (Verkehrszählungen, Luftschadstoff- und meteorologische Messungen). Nur so können die Zielsetzungen des Projektes erfüllt werden.

## 7 Literatur

- ASTRA, 2009: PM10-Emissionsfaktoren von Abriebspartikeln des Strassenverkehrs (APART).
- BAFU, 2009: NABEL. Luftbelastung 2008. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL).
- BAFU, 2010: Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA). Version 3.1.
- BUWAL, 2003: Modelling of PM10 and PM2.5 ambient concentration in Switzerland 2000 and 2010. Environmental Documentation No. 169. INFRAS/METEOTEST, Zürich, Bern.
- BUWAL, 2004: Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1980-2030. Schriftenreihe Umwelt Nr. 355. Luft.
- BUWAL, 2004a: Modelling of NO<sub>2</sub> and benzene ambient concentration in Switzerland 2000 to 2020. Environmental Documentation No. 188. INFRAS/METEOTEST, Zürich, Bern.
- BVE, 2009: Monitoring und Controlling ESP Wankdorf. Monitoring Bericht 08. Stand März 2009. Projektorganisation ESP Wankdorf.
- Emch + Berger AG, 2005: SIMSTRA05: NO<sub>2</sub>-Screening-Immissionsmodell für den Nahbereich von Strassen für die Kantone Bern, St. Gallen, Zürich, die Stadt Zürich und das BUWAL. St. Gallen.
- LRV, 1985: Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985; Stand am 1. Januar 2009.
- METEOTEST, 2010: Monitoring und Controlling ESP Wankdorf. Luftbelastung: Analyse und Interpretation für das Messjahr 2008.
- TBA, 2009: Verkehrszählungen in der Stadt Bern. Datenlieferungen per E-Mail im November 2009 und Januar 2010.

## Anhang

### A1: Abkürzungen und Begriffserläuterungen

AfU	Amt für Umweltschutz der Stadt Bern <a href="http://www.bern.ch/luft">http://www.bern.ch/luft</a>
ASTRA	Bundesamt für Strassen <a href="http://www.astra.admin.ch">http://www.astra.admin.ch</a>
BAFU	Bundesamt für Umwelt <a href="http://www.bafu.admin.ch/luft/">http://www.bafu.admin.ch/luft/</a>
beco	Berner Wirtschaft, Immissionsschutz <a href="http://www.vol.be.ch/site/home/beco/beco-uns.htm">http://www.vol.be.ch/site/home/beco/beco-uns.htm</a>
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (ab 2006 neuer Name → BAFU)
BVE	Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern <a href="http://www.bve.be.ch">http://www.bve.be.ch</a>
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr. Fahrzeuge pro Tag.
ENET	Ergänzungsnetz von MeteoSchweiz (44 Stationen vor allem für die Wind- und Lawinenwarnung) <a href="http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/messsysteme/boden/swissmetnet.html">http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/messsysteme/boden/swissmetnet.html</a>
Emissionen	Freisetzung von Luftschadstoffen an den Quellen <a href="http://www.bafu.admin.ch/luft/00596">http://www.bafu.admin.ch/luft/00596</a>
ESP	Programm Entwicklungsschwerpunkte <a href="http://www.jgk.be.ch/site/index/agr/agr_raumplanung/agr_raumplanung_kant_rp/agr_raumplanung_kant_rp_siedlungswirtschaft/agr_raumplanung_kant_rp_siedlungswirtschaft_esp.htm">http://www.jgk.be.ch/site/index/agr/agr_raumplanung/agr_raumplanung_kant_rp/agr_raumplanung_kant_rp_siedlungswirtschaft/agr_raumplanung_kant_rp_siedlungswirtschaft_esp.htm</a>
Feinstaub	Particulate Matter <10 Mikrometer (PM10, Feinpartikel): feindisperse Schwebestoffe mit einem aerodynamischen Durchmesser von weniger als 10 Mikrometer. Partikel dieser Grössenfraktion passieren den Nasen-/ Rachenbereich und können in die unteren Atemwege gelangen. Aus umfangreichen Studien sind Zusammenhänge zwischen PM10-Konzentration und der Häufigkeit von Atemwegs- sowie Herz- und Kreislauferkrankungen erwiesen (siehe auch PM10) <a href="http://www.feinstaub.ch">http://www.feinstaub.ch</a>

---

HBEFA3.1	Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs. Version 3.1 <a href="http://www.bafu.admin.ch/luft/00596/00597/00605/index.html">http://www.bafu.admin.ch/luft/00596/00597/00605/index.html</a>
Hauptverkehrsstrassen	Definition gemäss Handbuch Emissionsfaktoren: $\geq 2 \times 1$ oder $\geq 1 \times 2$ Fahrstreifen, mittlere Kapazität; Landesstrasse, mit überregionalem Verkehr
Immissionen	Messbare Luftbelastung in der Umwelt <a href="http://www.vol.be.ch/site/home/beco/beco-imm/beco-imm-1-aktluft.htm">http://www.vol.be.ch/site/home/beco/beco-imm/beco-imm-1-aktluft.htm</a> <a href="http://www.bern.ch/leben_in_bern/sicherheit/umweltschutz/Luft">http://www.bern.ch/leben_in_bern/sicherheit/umweltschutz/Luft</a> <a href="http://www.bafu.admin.ch/luft/luftbelastung">http://www.bafu.admin.ch/luft/luftbelastung</a>
Inversion	Eine Inversionswetterlage ist eine Wetterlage, die durch eine Umkehr (Inversion) des vertikalen Temperaturgradienten in der Atmosphäre geprägt ist: Die oberen Luftschichten sind hierbei wärmer als die unteren, was den Austausch der unteren Luftschicht mit der oberen unterbindet. Infolge dieser Abschirmung kann es zu einer Ansammlung von Luftschadstoffen in der kühleren, unteren Schicht kommen. Eine besonders starke und gerade über Ballungszentren auftretende Erscheinungsform einer solchen Luftverschmutzung ist der Smog. <a href="http://de.wikipedia.org/wiki/Inversionswetterlage">http://de.wikipedia.org/wiki/Inversionswetterlage</a>
LNF	Leichte Nutzfahrzeuge <3,5t (Kleinbusse, Lkw, Wohnmobile, sonstige Kfz)
LRV	Luftreinhalte-Verordnung <a href="http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_318_142_1.html">http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_318_142_1.html</a>
NABEL	Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe <a href="http://www.bafu.admin.ch/luft/00612/00625">http://www.bafu.admin.ch/luft/00612/00625</a>
MR	Motorrad
NO <sub>x</sub>	Stickoxide (Emissionen an den Schadstoffquellen. Sie werden zu 90 bis 99 Prozent als Stickstoffmonoxid (NO) emittiert, welches in der Folge in der Atmosphäre relativ rasch in das giftigere Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> ) umgewandelt wird). <a href="http://www.bafu.admin.ch/luft/00585/00589">http://www.bafu.admin.ch/luft/00585/00589</a>
NO <sub>2</sub>	Stickstoffdioxid (Immissionen) <a href="http://www.bern.ch/leben_in_bern/sicherheit/umweltschutz/Luft/luft_hygiene/no2">http://www.bern.ch/leben_in_bern/sicherheit/umweltschutz/Luft/luft_hygiene/no2</a> <a href="http://www.vol.be.ch/site/home/beco/beco-imm/beco-imm-2-schad/beco-imm-2-schad-no2.htm">http://www.vol.be.ch/site/home/beco/beco-imm/beco-imm-2-schad/beco-imm-2-schad-no2.htm</a>
Passivsammler	Der Passivsammler dient zur orientierenden Messung von Stickstoffdioxid. Er wird mehrere Tage exponiert und danach im Labor

analysiert. Die Passivsammler- messtechnik erlaubt eine einfache, kostengünstige Überwachung einer grösseren Anzahl von Messstellen, ohne aufwändige und grosse Messeinrichtungen installieren zu müssen. Dies bedeutet eine erhebliche Kostenersparnis bei der Überwachung der NO<sub>2</sub>-Belastung und ermöglicht es daher, gegenüber der Standardmesstechnik flächendeckende Informationen zu erhalten. Nachteil dieser Technik ist die grössere Unsicherheit der Messdaten. Vergleiche mit den Grenzwerten für NO<sub>2</sub> sind daher nur unter einem gewissen Vorbehalt durchführbar, als Orientierung und zur Überwachung der generellen Situation ist diese Methode jedoch durchaus gut geeignet (angepasst aus [http://mnz.lubw.baden-wuerttemberg.de/messwerte/wuppertal/hinweise\\_no2.htm](http://mnz.lubw.baden-wuerttemberg.de/messwerte/wuppertal/hinweise_no2.htm))  
[http://www.bern.ch/leben\\_in\\_bern/sicherheit/umweltschutz/Luft/passivsammler](http://www.bern.ch/leben_in_bern/sicherheit/umweltschutz/Luft/passivsammler)

PKW	Personenkraftwagen und Kombi (ohne Kleinbusse)
PM10	siehe auch Feinstaub. Kleine Partikel des Gesamtstaubs mit einem Durchmesser von weniger als 10 µm; Bezeichnung sowohl als Emissionen wie auch Immissionen. <a href="http://www.bern.ch/leben_in_bern/sicherheit/umweltschutz/Luft/luft_hygiene/pm10">http://www.bern.ch/leben_in_bern/sicherheit/umweltschutz/Luft/luft_hygiene/pm10</a> <a href="http://www.vol.be.ch/site/home/beco/beco-imm/beco-imm-2-schad/beco-imm-2-schad-pm10.htm">http://www.vol.be.ch/site/home/beco/beco-imm/beco-imm-2-schad/beco-imm-2-schad-pm10.htm</a> <a href="http://www.bafu.admin.ch/luft/00585/00587">http://www.bafu.admin.ch/luft/00585/00587</a>
SNF	Schwere Nutzfahrzeuge (= Oberbegriff für Lastkraftwagen (LKW), Lastenzüge (LZ) und Sattelzüge (SZ))
Stadt-Autobahn	Definition gemäss Handbuch Emissionsfaktoren: ≥2x2 Fahrstreifen; kreuzungsfrei; Hauptverkehrslinie / Ringstrasse mit hoher Kapazität
Stickoxide	siehe NO <sub>x</sub>
Stickstoffdioxid	siehe NO <sub>2</sub>
SwissMetNet	Das neue meteorologische Messnetz der MeteoSchweiz. <a href="http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/messsysteme/boden/swissmetnet/infos_messtation/bern.html">http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/messsysteme/boden/swissmetnet/infos_messtation/bern.html</a>
TBA	Tiefbauamt der Stadt Bern <a href="http://www.bern.ch/stadtverwaltung/tvs/tba/PuR/Verkehr">http://www.bern.ch/stadtverwaltung/tvs/tba/PuR/Verkehr</a>
µg/m <sup>3</sup>	Mikrogramm pro Kubikmeter

## A2: Luftschadstoffe im Jahr 2009

Nachfolgende Tabellen zeigen die Jahresmittelwerte. Sie sind farblich unterschiedlich gekennzeichnet: grün= Grenzwert eingehalten, rot= Grenzwert überschritten, violett= 25% über dem Grenzwert.

Tabelle 17: Standorte mit lufthygienischen Messungen sowie Jahresmittelwerte im Jahr 2009 (Fixstationen).

Station	Abkürzung	Koordinaten	NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	PM10 [µg/m <sup>3</sup> ]
Bern-Brunngasshalde (AfU)	BRUNN	600'833 / 199'785	31.0	22.9
Bern-Bollwerk (NABEL)	BOLLW	600'170 / 199'990	47.1	28.0
Bern Wankdorf (beco)	MESSW	602'015 / 201'570	38.8	---
Ittigen (beco)	ITTIG	603'040 / 202'810	26.1	20.9

Tabelle 18: Standorte mit lufthygienischen Messungen sowie Jahresmittelwerte im Jahr 2009 (Passivsammler).

NO <sub>2</sub> -Passivsammler <sup>5</sup>	Abkürzung	Koordinaten	NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]
Breitenrainplatz	BRE-P	601'195 / 200'838	39.0
Breitenrainplatz B	BRE-B	601'166 / 200'881	25.3
Burgfeld Ost	BUR-O	602'710 / 201'052	43.1
Burgfeld West	BUR-W	602'715 / 201'153	37.9
Guisanplatz	GUISP	601'916 / 200'939	39.6
Schönburg	SCHOE	601'568 / 200'284	41.8
Standstrasse	STAND	601'150 / 201'338	33.0
Stauffacherstrasse Nord	STA-N	601'897 / 202'095	
Stauffacherstrasse Süd	STA-S	601'923 / 202'045	51.9
Tellstrasse	TELLS	601'566 / 201'210	24.7
Wankdorf beco	WAN-B	602'027 / 201'571	40.5
Wankdorfplatz Nord	WAN-N	602'222 / 201'595	
Wankdorfplatz Süd	WAN-S	602'257 / 201'476	

<sup>5</sup> hier sind nur diejenigen Stationen aufgeführt, welche im Untersuchungsgebiet des ESP Wankdorf liegen. Die übrigen Stationen sind unter [http://www.bern.ch/leben\\_in\\_bern/sicherheit/umweltschutz/Luft/passivsammler](http://www.bern.ch/leben_in_bern/sicherheit/umweltschutz/Luft/passivsammler) dokumentiert.

### A3: Zählstellen des motorisierten Individualverkehrs im Jahr 2009

Tabelle 19: Standorte mit Verkehrszählungen (permanente Messungen) und DTV im Jahr 2009.

Station	Abkürzung	Koordinaten	DTV
Ostermundigenstrasse 61 (TBA)	OSTER	602539 / 200278	9'560
Papiermühlestrasse 91 (TBA)	PAPIE	602201 / 201450	17'290
Winkelriedstrasse 10 (TBA)	WINKE	602103 / 201583	17'245
Bern, Felsenauviadukt (ASTRA)	FELSE	601680 / 201980	97881
Umfahrung Bern Ost (ASTRA)	BERNO	602400 / 200825	70'398

Von der Station Bern, Felsenauviadukt (ASTRA) lagen für die Monate Januar bis Juni 2009 und Dezember 2009 keine brauchbaren Ergebnisse wegen Bauarbeiten vor. Der gemittelte DTV-Wert der Monate Juli bis November 2009 beträgt 90380, wird aber nicht verwendet, weil er unrealistisch ist. Die beiden Messstellen bei der Umfahrung Bern Ost sowie Grauholz zeigen, dass fast gleich viel Verkehr wie im Jahr 2008 registriert wurde. Demzufolge wurde der gleiche Veränderungswert wie bei der Umfahrung Bern Ost angewendet.

Tabelle 20: Standorte mit Verkehrszählungen (periodische Messungen) und DTV im Jahr 2009.

Station	Abkürzung	Koordinaten	DTV
A6-Ausfahrt von ZH	A6VZH	602320 / 201890	8'038
A6-Einfahrt nach ZH	A6NZH	602395 / 201800	7'185
Bolligenstrasse Mitte	BOLLM	602723 / 201071	7'763
Bolligenstrasse Stadtgrenze	BOLLS	603541 / 201503	18'697
Mingerstrasse	MINGE	602177 / 200638	5'058
Papiermühlestrasse Nord	PAPIN	602455 / 201920	7'572
Papiermühlestrasse Süd	PAPIS	601637 / 200372	8'772
Pulverweg	PULVE	602360 / 200370	5'313
Rodmattstrasse Sa (Guisanplatz)	RODTA	601836 / 200950	4'889
Rodmattstrasse Se (Guisanplatz)	RODTE	601836 / 200950	4'474
Schermenweg 133	SCHER	603047 / 201124	2'449
Sempachstrasse 7	SEMPA	601731 / 201189	Keine Daten
Standstrasse 15	STAND	600855 / 201154	11'097
Löchligutweg	LOECH	602366 / 202187	Keine Daten
Stauffacherstrasse 134	STA134	602068 / 202070	Keine Daten
Stauffacherstrasse 145	STA145	602224 / 201725	Keine Daten
Stauffacherstrasse 17a	STA17	601221 / 201171	5'257

Station	Abkürzung	Koordinaten	DTV
Stauffacherstrasse 44 (SBB)	STA44	601232 / 201517	7'386
Tellstrasse 18	TELLS	601587 / 201174	Keine Daten
Wankdorffeldstrasse West	WANKD	601347 / 201481	2'689
Winkelriedstrasse Mitte	WINKM	601872 / 201575	10'769
Winkelriedstrasse West	WINKW	601460 / 201430	11'585
Wölflistrasse	WOELF	603127 / 201465	Keine Daten
Worblaufenstrasse Nord	WORBL	602393 / 202201	Keine Daten
Zentweg West	ZENTW	602596 / 200901	3'678

#### A4: Meteorologie im Jahr 2009

Tabelle 21: Standorte mit meteorologischen Messdaten.

Station	Abkürzung	Koordinaten	Höhe [m.ü.M.]
Bern-Zollikofen (SwissMetNet)	ZOLLI	601'930 / 204'410	553
Bern-Bollwerk (NABEL)	BOLLW	600'170 / 199'990	536
Länggasse (METEOTEST)	LAENG	598'846 / 200'225	575
Bantiger (ENET)	BANTI	606'850 / 202'975	942

## A5: Emissionen der Stickoxide und von Feinstaub im Jahr 2009

In Tabelle 22 sind die Emissionsfaktoren für Feinstaub nur am Auspuff der Fahrzeuge aufgezeigt (BAFU, 2010). Sie sind aber viel kleiner als die Werte aus für Abrieb und Aufwirbelung gemäss BUWAL (2004). Diese Werte (Tabelle 23) bleiben zeitlich unverändert. Die verwendeten Emissionsfaktoren aus Auspuff, Abrieb und Aufwirbelung sind in der Tabelle 13 dokumentiert.

Tabelle 22: PM10-Emissionsfaktoren aus dem Auspuff in Gramm pro Kilometer der vier Fahrzeugkategorien sowie gewichtet für das Jahr 2009.

Strassentyp	Personenwagen (PKW)	Lieferwagen (LNF)	Motorräder (MR)	Lastwagen (SNF)	gewichtet
Hauptverkehrsstr.	0.010	0.053	0.000	0.156	<b>0.016</b>
Autobahn-City	0.008	0.048	0.000	0.113	<b>0.018</b>

Tabelle 23: PM10-Emissionsfaktoren in Gramm pro Kilometer für Abrieb und Aufwirbelung.

	Innerorts	Autobahn
Leichte Motorwagen (Personenwagen, Lieferwagen)	0.054	0.047
Schwere Motorwagen (Lastwagen)	0.540	0.074
Motorräder	0.0135	0.0118