



Bern, 9. Juli 2012

Monitoring und Controlling ESP Wankdorf

Luftbelastung: Analyse und Interpretation für das Messjahr 2011

Auftraggeber:

Paul Moser
Projektbeauftragter ESP Wankdorf
Haldenweg 15
3303 Jeggenstorf

Version	Datum	Dokument	Projektnummer
1	21.06.2012	Schlussbericht	12_028

Bearbeitung	Name	Datum
Erstellt von	Dominik Eggli	12.06.12
Kontrolliert von	Thomas Künzle	18.06.12
Genehmigt von	Beat Schaffner	21.06.12

METEOTEST gewährleistet ihren Kunden eine sorgfältige und fachgerechte Auftragsabwicklung. Jegliche Haftung, insbesondere auch für Folgeschäden, wird im Rahmen des gesetzlich Zulässigen wegbedungen.

Inhalt

Zusammenfassung	6
Luftschadstoffe	6
Meteorologie.....	8
Verkehrszählungen im Jahr 2011	9
Emissionen der Stickoxide und des Feinstaubes im Jahr 2011.....	10
Vergleich der Emissionen im Jahr 2011 zum Jahr 2010.....	10
Fazit und Schlussfolgerungen.....	11
1 Einleitung, Projektrahmen, Zielsetzungen	12
2 Luftschadstoffe	13
3 Grenzwerte	15
4 Grundlagen und Vorgehen	15
4.1 Messungen (Luftschadstoffe, Meteorologie)	15
4.2 Verkehrszählungen.....	17
4.3 Berechnung der Emissionen.....	18
5 Resultate, Analyse und Interpretation	19
5.1 Messdaten.....	19
5.1.1 Luftschadstoffe	19
5.1.2 Meteorologische Situation	23
5.1.3 Verkehrszählungen.....	25
5.2 Emissionsmengen	27
6 Fazit und Schlussfolgerungen	32
7 Literatur	33
Anhang	34
A1: Abkürzungen und Begriffserläuterungen.....	34
A2: Luftschadstoffmessungen im Jahr 2011	37
A3: Standorte mit meteorologischen Messdaten.....	38
A4: Zählstellen und Messdaten des motorisierten Individualverkehrs im Jahr 2011	38
A5: Emissionsfaktoren für Feinstaub im Jahr 2011	40

Tabellen

Tabelle 1:	NO ₂ -Jahresmittelwerte (µg/m ³) und Anzahl Tage über dem Grenzwert an den Fixstationen in den Jahren 2007 – 2011.....	7
Tabelle 2:	PM10-Jahresmittelwerte (µg/m ³) und Anzahl Tage über dem Grenzwert an den Fixstationen in den Jahren 2007 – 2011.....	7
Tabelle 3:	Fahrzeugkilometer (Summe aus DTV * Streckenlänge) sowie NO _x - und PM10-Emissionen in Tonnen im Jahr 2011.....	10
Tabelle 4:	Fahrzeugkilometer sowie NO _x - und PM10-Emissionen in Prozent der Summe im Jahr 2011.	10
Tabelle 5:	Grenzwerte für NO ₂ und PM10 gemäss LRV.....	15
Tabelle 6:	Entwicklung der Luftbelastung an den Standorten mit NO ₂ -Passivsammler-Messungen in den vergangenen fünf Jahren.....	20
Tabelle 7:	Jahresmittelwerte (µg/m ³) und Anzahl Tage über dem Grenzwert von NO ₂ an den Fixstationen in den Jahren 2007 – 2011.	21
Tabelle 8:	Jahresmittelwerte (µg/m ³) und Anzahl Tage über dem Grenzwert von PM10 an den Fixstationen in den Jahren 2007 – 2011.	22
Tabelle 9:	Anzahl Tage mit Inversionen in der Region Bern in den Jahren 2007 – 2011.	24
Tabelle 10:	Prozentuale Anteile der Fahrzeugkategorien im Jahr 2011.....	27
Tabelle 11:	NO _x -Emissionsfaktoren in Gramm pro Kilometer der vier Fahrzeugkategorien sowie gewichtet für das Jahr 2011.	28
Tabelle 12:	NO _x -Emissionsfaktoren in Prozent der PKW für die drei anderen Fahrzeugkategorien sowie das gewichtete Mittel für das Jahr 2011.	28
Tabelle 13:	PM10-Emissionsfaktoren aus dem Auspuff sowie Aufwirbelung und Abrieb in Gramm pro Kilometer der vier Fahrzeugkategorien sowie gewichtet für das Jahr 2011.....	28
Tabelle 14:	PM10-Emissionsfaktoren in Prozent der PKW für die drei anderen Fahrzeugkategorien sowie das gewichtete Mittel für das Jahr 2011.	28
Tabelle 15:	Fahrzeugkilometer (Summe aus DTV * Streckenlänge) sowie NO _x - und PM10-Emissionen in Tonnen im Jahr 2011.....	31
Tabelle 16:	Fahrzeugkilometer sowie NO _x - und PM10-Emissionen in Prozent der Summe für das Jahr 2011.	31
Tabelle 17:	Standorte mit Luftschadstoffmessungen sowie Jahresmittelwerte im Jahr 2011 (Fixstationen).	37
Tabelle 18:	Standorte mit Luftschadstoffmessungen sowie Jahresmittelwerte im Jahr 2011 (Passivsammler).	37
Tabelle 19:	Standorte mit meteorologischen Messdaten.....	38
Tabelle 20:	Standorte mit Verkehrszählungen (permanente Messungen) und DTV im Jahr 2011.....	38

Tabelle 21:	Standorte mit Verkehrszählungen (periodische Messungen) und DTV im Jahr 2011.....	39
Tabelle 22:	PM10-Emissionsfaktoren aus dem Auspuff in Gramm pro Kilometer der vier Fahrzeugkategorien sowie gewichtet für das Jahr 2011.	40
Tabelle 23:	PM10-Emissionsfaktoren in Gramm pro Kilometer für Abrieb und Aufwirbelung.....	40

Abbildungen

Abbildung 1:	Darstellung der Monats- und Jahresmittelwerte an der Messstation Wankdorf (beco) von 2007 – 2011.....	8
Abbildung 2:	Zeitlicher Verlauf der Anzahl Inversionen in der Region Bern in den Jahren 2007 – 2011.....	8
Abbildung 3:	Durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge pro Tag (DTV) im Jahr 2011.	9
Abbildung 4:	Luftschadstoff-Messstandorte (grün= Fixstationen, orange= NO ₂ -Passivsammler) im Untersuchungsgebiet des ESP Wankdorf. Die Grenze des Untersuchungsgebietes ist hellblau gepunktet dargestellt.....	16
Abbildung 5:	Standorte der Verkehrszählungen (permanente und periodische Messungen). Die Grenze des Untersuchungsgebietes ist hellblau gepunktet dargestellt.	17
Abbildung 6:	Darstellung der Jahresmittelwerte an den Passivsammlerstationen des AfU von 2007 – 2011.....	21
Abbildung 7:	Darstellung der Monats- und Jahresmittelwerte an der Messstation Bern Zentrum (AfU) von 2007 – 2011.	22
Abbildung 8:	Darstellung der Monats- und Jahresmittelwerte an der Messstation Wankdorf (beco) von 2007 – 2011.....	23
Abbildung 9:	Zusammenhang zwischen Emission, Transmission und Immission.	23
Abbildung 10:	Zeitlicher Verlauf der Anzahl Inversionen in der Region Bern in den Jahren 2007 – 2011.....	24
Abbildung 11:	Durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge pro Tag (DTV) im Untersuchungsgebiet für das Jahr 2011.	26
Abbildung 12:	Spezifische NO _x -Emissionen (t/km) im Untersuchungsgebiet.....	29
Abbildung 13:	Spezifische PM10-Emissionen (t/km) im Untersuchungsgebiet.	30

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 SO₂, NO_x, NH₃, 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

Luftschadstoffe

Die Grenzwerte sind in der Luftreinhalte-Verordnung festgehalten und betragen für den Jahresmittelwert von Stickstoffdioxid (NO₂) 30 µg/m³ und für Feinstaub (PM10) 20 µg/m³. Die Tagesmittel dürfen nur einmal pro Jahr den Wert von 80 µg/m³ resp. 50 µg/m³ überschreiten.

Tabelle 1 und Tabelle 2 zeigen die Jahresmittelwerte und Anzahl Tage über dem Grenzwert von NO₂ und PM10 in den Jahren 2007 – 2011. 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: NO₂-Jahresmittelwerte (µg/m³) und Anzahl Tage über dem Grenzwert an den Fixstationen in den Jahren 2007 – 2011.

Jahresmittelwerte	2007	2008	2009	2010	2011
Bern-Brunngasshalde (AfU)	30.9	30.1	31.0	29.5	28.2
Bern-Bollwerk (NABEL)	47.5	47.3	47.1	45.2	42.4
Bern Wankdorf (beco)	39.0	40.1	38.8	36.3	35.7
Ittigen (beco)	24.4	26.5	26.1	25.0	--- ¹
Anzahl Tage > Grenzwert	2007	2008	2009	2010	
Bern-Brunngasshalde (AfU)	0	0	1	1	0
Bern-Bollwerk (NABEL)	0	4	9	7	0
Bern Wankdorf (beco)	2	7	4	5	1
Ittigen (beco)	0	0	2	2	---

Tabelle 2: PM10-Jahresmittelwerte (µg/m³) und Anzahl Tage über dem Grenzwert an den Fixstationen in den Jahren 2007 – 2011.

Jahresmittelwerte	2007	2008	2009	2010	2011
Bern-Brunngasshalde (AfU)	22.3	21.5	22.9	22.6	22.6
Bern-Bollwerk (NABEL)	29.8	28.3	28.0	26.6	25.7
Wankdorf (beco)	---	---	---	22.1	21.7
Ittigen (beco)	18.3	19.0	20.9	19.7	---
Anzahl Tage > Grenzwert	2007	2008	2009	2010	
Bern-Brunngasshalde (AfU)	18	17	20	16	15
Bern-Bollwerk (NABEL)	40	30	27	21	24
Wankdorf (beco)	---	---	---	17	18
Ittigen (beco)	14	14	13	11	---

An den städtischen Messstationen wird der Grenzwert für den Jahresmittelwert beim Stickstoffdioxid und Feinstaub meist nicht eingehalten. Im Vergleich zum Jahr 2010 wurde eine leichte Reduktion der Immissionsbelastung festgestellt (beco, 2012). 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 dem NABEL-Messnetz zur Verfügung.

Die Abbildung 1 zeigt den zeitlichen Verlauf der Luftbelastung an der Messstation Wankdorf.

¹ Aufgrund von Gebäudesanierung war die Station Ittigen im Jahr 2011 nur bis 7. März und ab dem 8. Dezember in Betrieb.

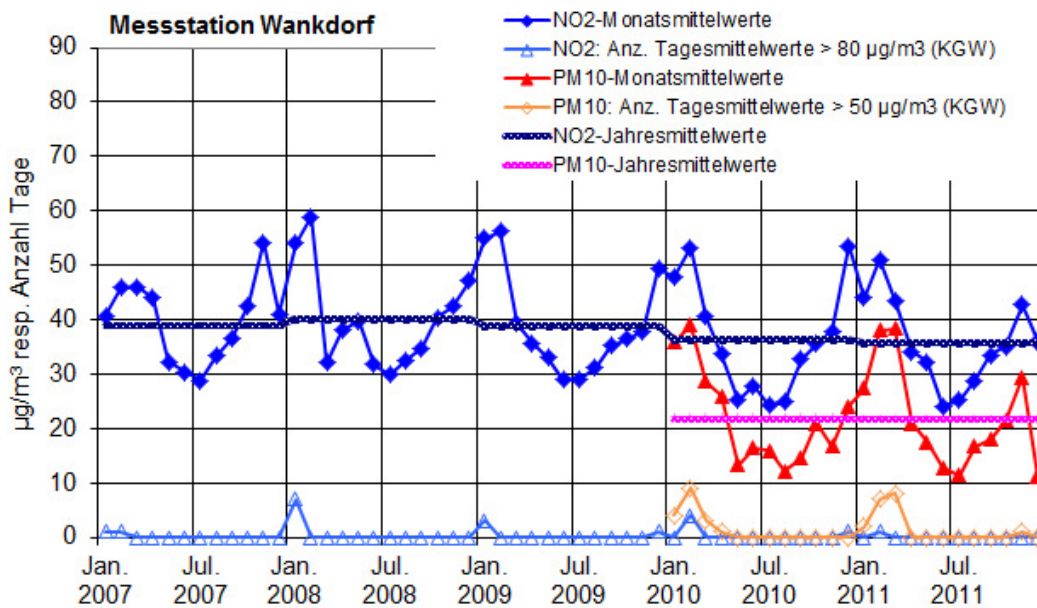


Abbildung 1: Darstellung der Monats- und Jahresmittelwerte an der Messstation Wankdorf (beco) von 2007 – 2011.

Meteorologie

Die 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 (vgl. Abbildung 1).

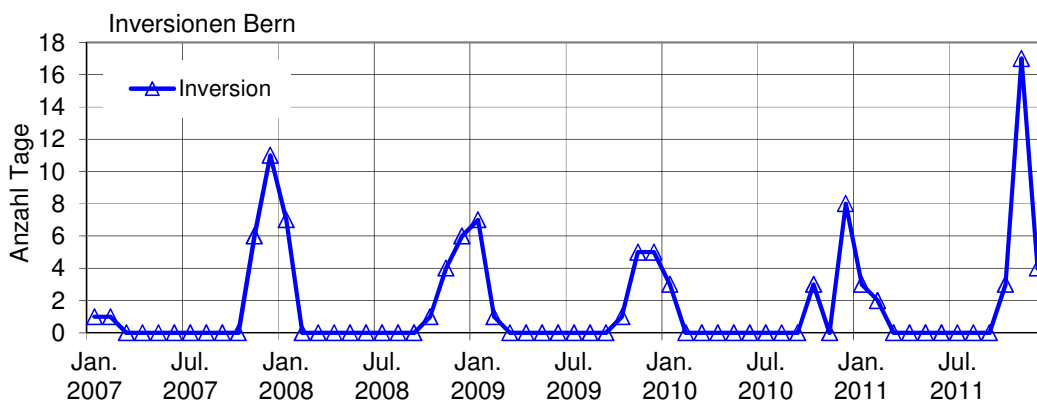


Abbildung 2: Zeitlicher Verlauf der Anzahl Inversionen in der Region Bern in den Jahren 2007 – 2011.

Verkehrszählungen im Jahr 2011

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 3 dargestellt. Auf den Autobahnen sind die Fahrtrichtungen als separate Linien definiert.

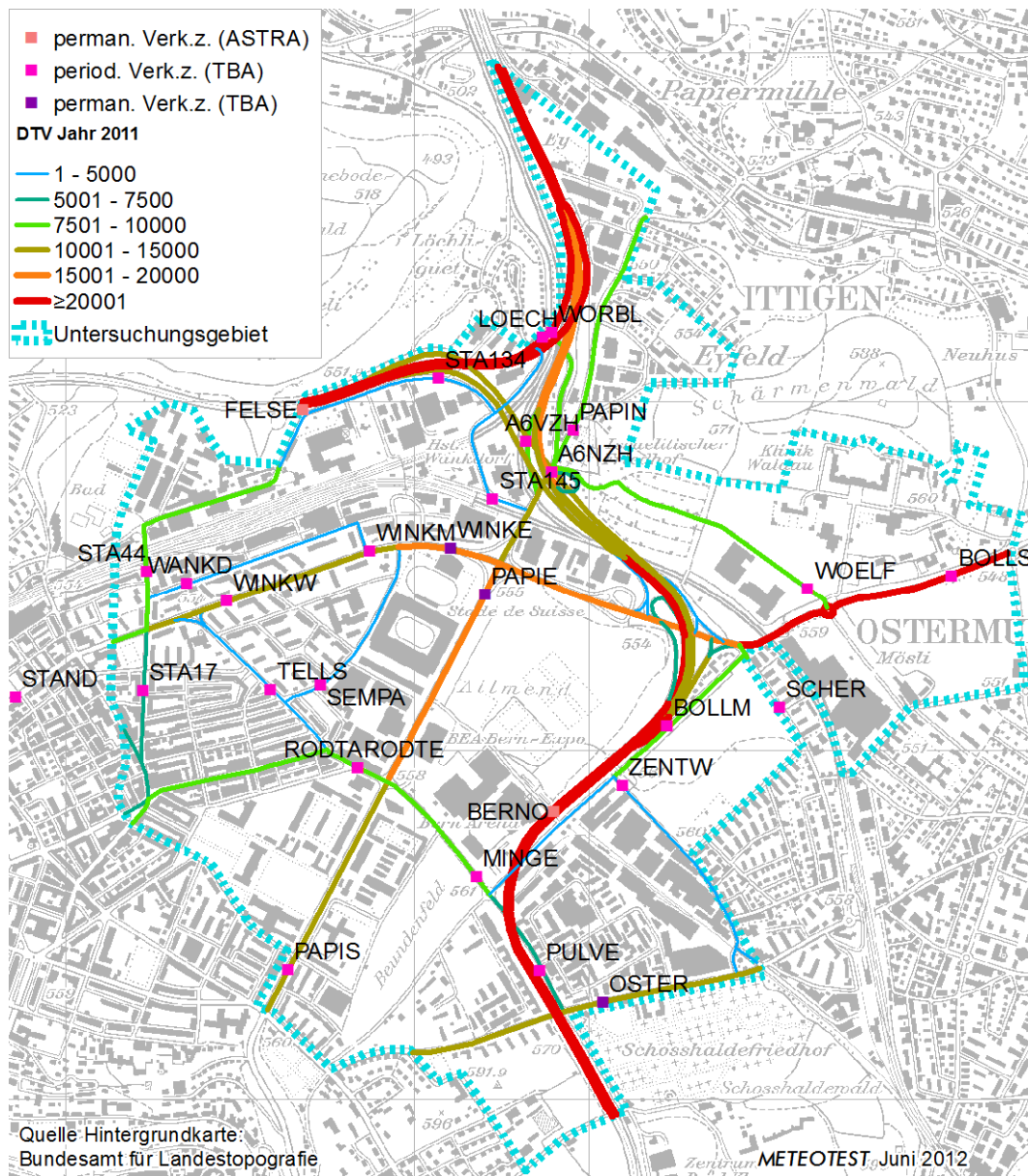


Abbildung 3: Durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge pro Tag (DTV) im Jahr 2011.

Emissionen der Stickoxide und des Feinstaubes im Jahr 2011

Im Jahr 2011 beträgt der NO_x-Emissionsfaktor für Hauptverkehrsstrassen (HVS²) innerorts 0.543 g/km und für Stadt-Autobahnen 0.520 g/km. Die Faktoren für PM10 betragen 0.084 g/km für Hauptverkehrsstrassen (HVS) resp. 0.063 g/km für Autobahnen.

Im Gebiet des ESP wurden auf HVS rund 142'000 Fahrzeug-Kilometer registriert, auf der Stadt-Autobahn rund 316'000 Fahrzeug-Kilometer (Tabelle 3).

Tabelle 3: Fahrzeugkilometer (Summe aus DTV * Streckenlänge) sowie NO_x- und PM10-Emissionen in Tonnen im Jahr 2011.

	FzKm	NO _x [t/a]	PM10 [t/a]
Hauptverkehrsstrassen	142'000	28.1	4.3
Autobahn	316'000	60.0	7.3
Summe	458'000	88.1	11.6

Die Emissionen auf den Hauptverkehrsstrassen des ESP Wankdorf betragen unter Berücksichtigung des verwendeten Strassennetzes gemäss Tabelle 4 rund 31% bis 37% der Summe.

Tabelle 4: Fahrzeugkilometer sowie NO_x- und PM10-Emissionen in Prozent der Summe im Jahr 2011.

	FzKm	NO _x	PM10
Hauptverkehrsstrassen	31%	32%	37%
Autobahn	69%	68%	63%
Summe	100%	100%	100%

Vergleich der Emissionen im Jahr 2011 zum Jahr 2010

Der Verkehr auf den Autobahnstrecken und den Hauptverkehrsstrassen im ESP Wankdorf hat gegenüber dem Vorjahr leicht zugenommen. Die Verbesserungen in den Emissionsfaktoren haben dazu geführt, dass trotz der leicht grösseren Verkehrsmenge insgesamt etwas weniger NO_x emittiert wurde. Die PM10-Emissionen sind gegenüber dem Vorjahr leicht angestiegen.

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

Fazit und Schlussfolgerungen

Entlang der Hauptverkehrsachsen im ESP Wankdorf waren im Jahr 2011 die Grenzwerte der Jahresmittelwerte von Stickstoffdioxid und Feinstaub überschritten. In den Quartieren abseits stark befahrener Strassen lagen die NO₂-Jahresmittelwerte unter dem Grenzwert von 30 µg/m³.

Der Einfluss von meteorologischen Verhältnissen ist v.a. beim Feinstaub deutlich zu erkennen. Beim Feinstaub wird die Belastung stärker durch überregionale Immissionen beeinflusst als beim Stickstoffdioxid.

Nebst den Punktmessungen an den einzelnen Standorten wurden ab dem Jahr 2010 auch Querprofile mit NO₂-Passivsammlern entlang stark befahrener Strasse gemessen. Damit kann die Abnahme der Luftbelastung durch NO₂ quer zur Strasse aufgezeigt werden.

Gegenüber dem Messjahr 2010 standen wieder mehr Daten der Verkehrszählungen zur Verfügung. Es sollte alles daran gesetzt werden, dass möglichst vollständige Datenreihen vorliegen (Verkehrszählungen, Luftschadstoff- und meteorologische Messungen). Nur so können belastbare Aussagen zur Situation der Luftbelastung und zu den Emissionsmengen erarbeitet werden.

1 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 (NO₂) und Feinstaub (PM10) im Gebiet des ESP Wankdorf und des Nordquartiers in Bern auf der Basis von Messungen für das Jahr 2011 aufzuzeigen. Der Bericht ist eine Aktualisierung des Berichtes aus dem letzten Jahr (*METEOTEST*, 2011), wo für das Jahr 2010 die Daten zusammengestellt wurden.

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 4).

2 Luftschaadstoffe

Als Indikatoren für die Luftbelastung werden die zwei Schadstoffe Stickstoffdioxid (NO_2) und Feinstaub (PM_{10}) definiert. Nachfolgend wird kurz auf die Eigenschaften von NO_x , NO_2 und PM_{10} eingegangen³. Weiterführende Angaben und Links sind im Anhang A1: Abkürzungen und Begriffserläuterungen zu finden.

Stickoxide (NO_x)

Unter dem Begriff Stickoxide werden Stickstoffdioxid (NO_2) und Stickstoffmonoxid (NO) zusammengefasst. Da NO rasch zu NO_2 oxidiert, werden die Emissionen gesamthaft als Stickstoffdioxid (NO_2)-Äquivalente angegeben.

Entsteht:

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

Hauptquelle:

- Strassenverkehr

Eigenschaften:

- NO : Farbloses Gas, wird in der Atmosphäre zu NO_2 umgewandelt
- 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)

³ Quelle: <http://www.bafu.admin.ch/luft/00585>. Weiterführende Informationen gibt es auf dieser Website unter: "Faktenblatt: Stickoxide (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 SO₂, NO_x, NH₃, 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

3 Grenzwerte

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

Tabelle 5: Grenzwerte für NO₂ und PM10 gemäss LRV.

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

4 Grundlagen und Vorgehen

4.1 Messungen (Luftschadstoffe, Meteorologie)

In der Umgebung des ESP Wankdorf stehen Luftschadstoffmessungen von 4 Fixstationen und rund 19 NO₂-Passivsammler-Standorten gemäss Abbildung 4 sowie Tabelle 17 und Tabelle 18 im Anhang A2 zur Verfügung.

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

Meteorologische Messdaten liegen von vier Standorten vor (Zollikofen, Bollwerk, Länggasse, Bantiger). Diese sind in der Tabelle 19 im Anhang A3 aufgelistet.

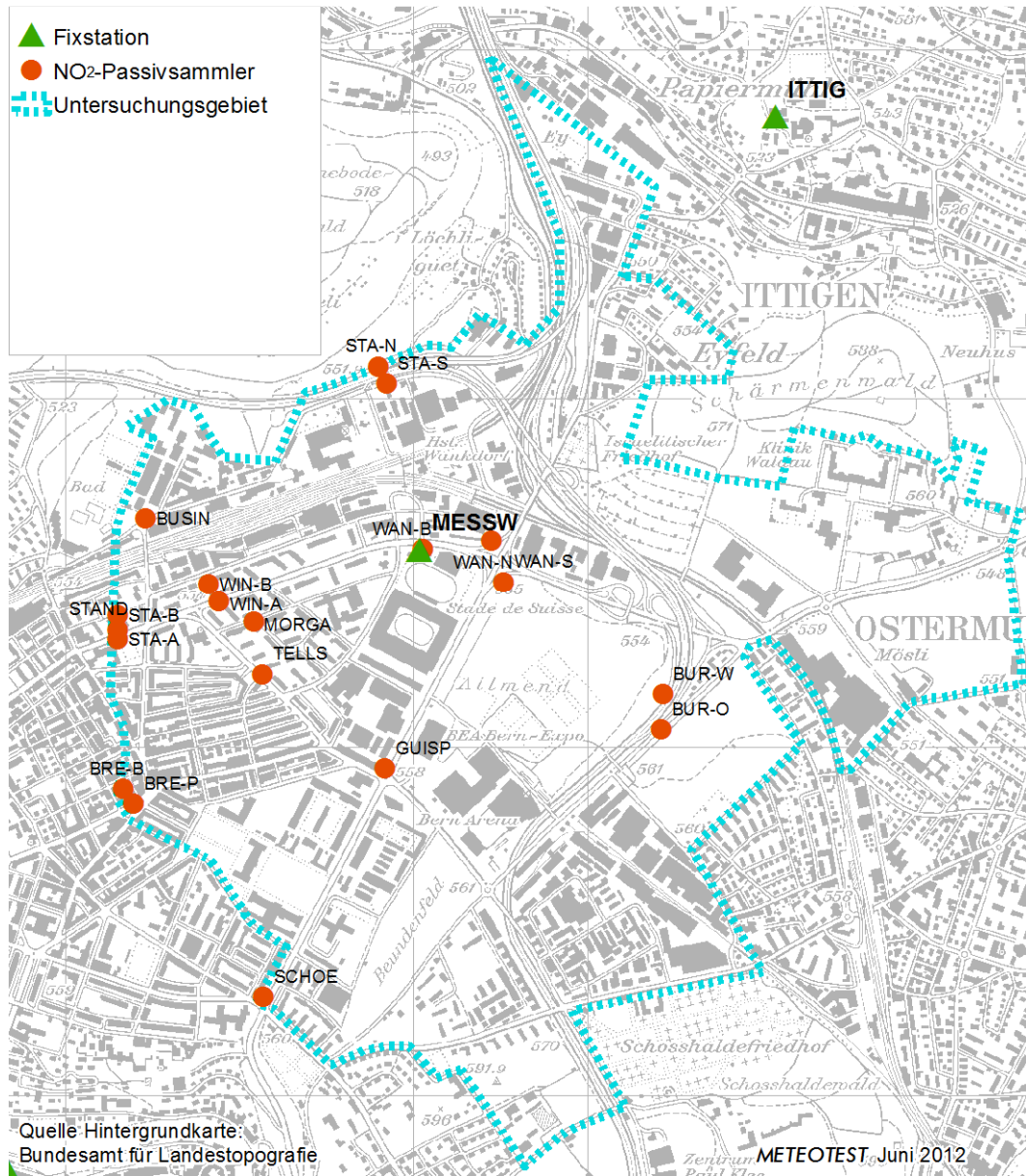


Abbildung 4: Luftschadstoff-Messstandorte (grün= Fixstationen, orange= NO₂-Passivsammler) im Untersuchungsgebiet des ESP Wankdorf. Die Grenze des Untersuchungsgebietes ist hellblau gepunktet dargestellt.

4.2 Verkehrszählungen

Das Tiefbauamt Bern (TBA) und das Bundesamt für Verkehr (ASTRA) betreibt an mehreren Standorten Verkehrszählungen (siehe Abbildung 5 sowie Tabelle 20 und Tabelle 21). Mit diesen Daten werden für das Strassennetz die Verkehrsmengen (DTV, durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge pro Tag) definiert und anschliessend die Emissionen der Luftschadstoffe berechnet.

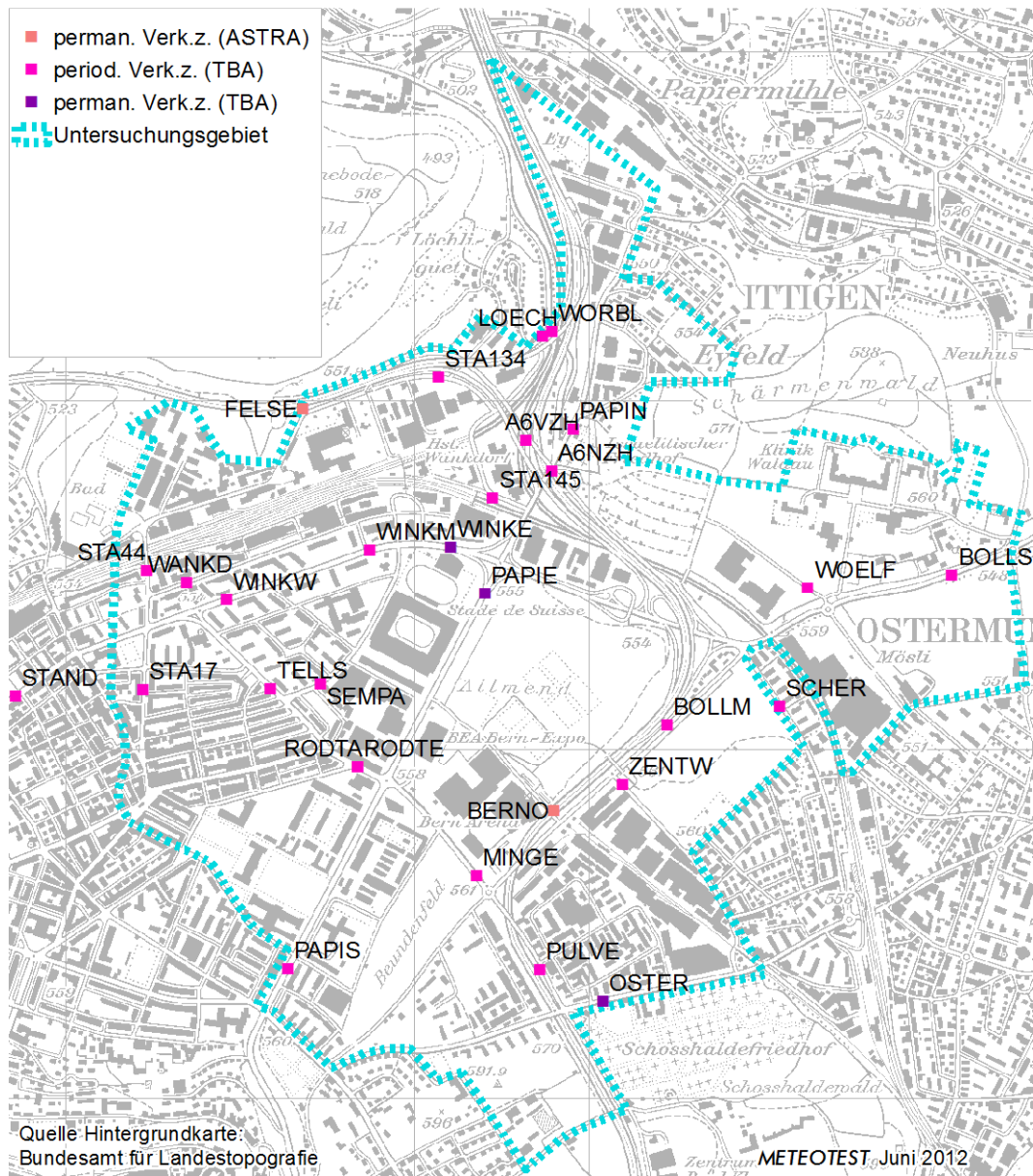


Abbildung 5: Standorte der Verkehrszählungen (permanente und periodische Messungen). Die Grenze des Untersuchungsgebietes ist hellblau gepunktet dargestellt.

4.3 Berechnung der Emissionen

In der vorliegenden Untersuchung wird die Menge an Stickoxiden (NO_x) und Feinstaub (PM10) bestimmt. 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. Als Vereinfachung wurden nur Emissionsfaktoren für flache Strecken (keine Steigungen) berücksichtigt. Beim Feinstaub werden zu den Auspuffemissionen zusätzlich noch die Emissionen aus Aufwirbelung und Abrieb (BAFU, 2010a) berücksichtigt.

5 Resultate, Analyse und Interpretation

5.1 Messdaten

5.1.1 Luftschadstoffe

Tabelle 6 und Abbildung 6 zeigen die Entwicklung der NO₂-Luftbelastung an den Standorten mit Passivsammler-Messungen in den vergangenen fünf Jahren. Nur an Standorten abseits der Hauptverkehrsachsen mit wenig Verkehr und in grosser Entfernung der Autobahn liegen die Werte im grünen Bereich.

Die Messdaten der sechs zusätzlichen Passivsammlerstandorte⁴, welche erst seit März 2010 betrieben werden, sind aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht in der Abbildung 6 enthalten. An der Standstrasse und der Winkelriedstrasse wurden jeweils zwei zusätzliche Standorte definiert, um das Querprofil der Belastung entlang stark befahrenen Strassen in die angrenzenden Wohnzonen hinein zu erfassen. Die Messungen 2010 und 2011 zeigen, dass an den beiden strassennahen Standorten NO₂-Werte über 30 µg/m³, dem Grenzwert der LRV, auftreten. Bei den beiden dazugehörigen Quartierstandorten wurden dagegen NO₂-Werte deutlich unter 30 µg/m³ gemessen (siehe Tabelle 6).

Bei den Passivsammlermessungen des AfU der Stadt Bern fehlen durchgehend die Messwerte der Monate Oktober und November. Gemäss den Messempfehlungen des BAFU (BUWAL, 2004) können keine gültigen Jahresmittelwerte berechnet werden. Damit dennoch realistische Jahresmittelwerte in Tabelle 6 dargestellt werden können, wurden die fehlenden Monate mittels Regressionsberechnungen zu einem Standort mit vollständiger Zeitreihe ergänzt. Dazu wurden die Passivsammlermessungen des beco verwendet, und zwar jeweils diejenige mit der höchsten Korrelation.

Die Interpretation der zeitlichen Entwicklung der Belastungssituation an den verschiedenen Messstationen seit dem Jahr 2007 ist nicht Hauptgegenstand dieses Berichtes. Es kann kein eindeutiger mehrjähriger Trend in der Entwicklung festgestellt werden. Im Jahr 2011 wurden jedoch meist tiefere Werte als im Jahr 2010 registriert.

⁴ Businesspark, Morgartenstrasse, Standstrasse (Messung strassennah und abseits im Wohngebiet) sowie Winkelriedstrasse (strassennah und abseits im Wohngebiet)

Tabelle 6: Entwicklung der Luftbelastung an den Standorten mit NO₂-Passivsammler-Messungen in den vergangenen fünf Jahren⁵.

Jahresmittelwerte	2007	2008	2009	2010	2011
Breitenrainplatz	34.0	39.2	39.0	36.8	34.2
Breitenrainplatz B	23.5	25.8	25.3	23.7	22.9
Burgfeld Ost	43.4	40.7	43.1	42.2	42.9
Burgfeld West	36.4	37.7	37.9	36.1	39.5
Businesspark	---	---	---	25.3	25.4
Guisanplatz	43.4	39.5	39.6	35.0	36.5
Morgartenstrasse	---	---	---	24.1	22.7
Schönburg	39.3	41.0	41.8	38.1	---
Standstrasse	29.9	31.6	33.0	30.3	29.7
Standstrasse Strasse	---	---	---	30.3	30.6
Standstrasse Quartier	---	---	---	24.4	24.0
Stauffacherstr. Nord	51.5	54.4	---	---	---
Stauffacherstr. Süd	49.7	55.3	51.9	49.5	47.8
Tellstrasse	24.5	29.6	24.7	22.8	20.1
Wankdorf beco	40.4	40.1	40.5	36.1	34.2
Wankdorfplatz Nord	37.2	39.6	---	34.1	36.7
Wankdorfplatz Süd	34.0	38.0	---	39.9	33.6
Winkelriedstr. Strasse	---	---	---	32.4	30.2
Winkelriedstr. Quartier	---	---	---	23.5	24.8

In den Tabellen sind Stationswerte grün dargestellt, wenn der Grenzwert eingehalten ist. Rot sind Werte über dem Grenzwert. Violett dargestellt sind Werte 25% über dem Grenzwert.

⁵ Die Jahresmittelwerte basieren auf den gemessenen Monatsmittelwerten des AfU. Fehlende Monatsmittelwerte wurden ergänzt, in dem mit einer Regressionsanalyse diese Werte auf Grund von gut korrelierenden Messstationen ergänzt wurden. Ohne Ergänzungen von fehlenden Monatswerten wären die Jahresmittelwerte verfälscht.

⁶ Für den Standort Schönburg konnten die fehlenden Werte der Monate Oktober und November nicht mittels Regression ergänzt werden, da keine Station mit vollständiger Messreihe gut korreliert.

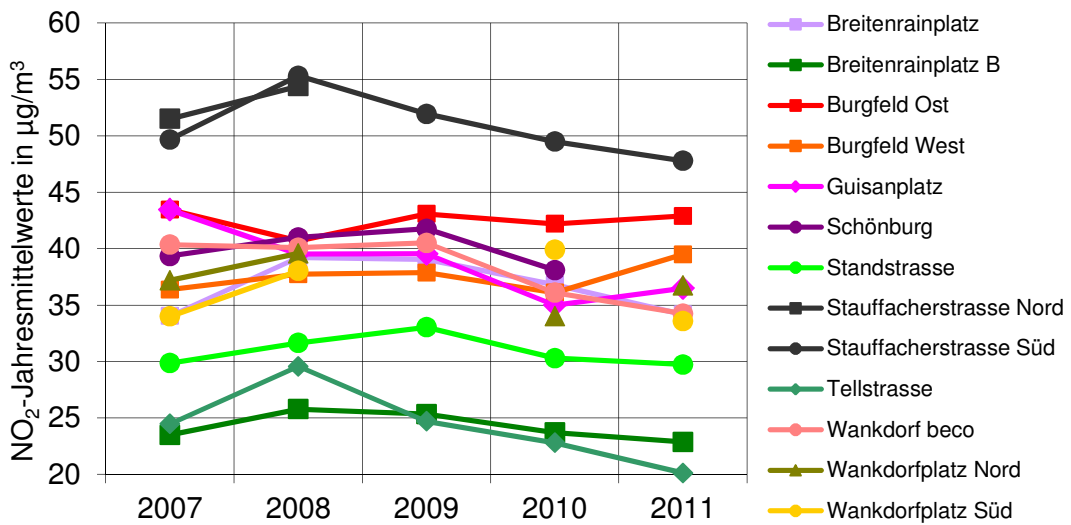


Abbildung 6: Darstellung der Jahresmittelwerte an den Passivsammlerstationen des AfU von 2007 – 2011.

In 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 meist nicht eingehalten. Im Vergleich zum Jahr 2010 wurde eine leichte Reduktion der Immissionsbelastung festgestellt (beco, 2012). Der Kurzzeitgrenzwert (24-h-Mittelwert, Anzahl Tage) von Feinstaub wird überall deutlich überschritten, beim Stickstoffdioxid nur entlang stark befahrener Strassen.

Tabelle 7: Jahresmittelwerte (µg/m³) und Anzahl Tage über dem Grenzwert von NO₂ an den Fixstationen in den Jahren 2007 – 2011.

Jahresmittelwerte	2007	2008	2009	2010	2011
Bern-Brunngasshalde (AfU)	30.9	30.1	31.0	29.5	28.2
Bern-Bollwerk (NABEL)	47.5	47.3	47.1	45.2	42.4
Bern Wankdorf (beco)	39.0	40.1	38.8	36.3	35.7
Ittigen (beco)	24.4	26.5	26.1	25.0	--- ⁷
Anzahl Tage > Grenzwert	2007	2008	2009	2010	
Bern-Brunngasshalde (AfU)	0	0	1	1	0
Bern-Bollwerk (NABEL)	0	4	9	7	0
Bern Wankdorf (beco)	2	7	4	5	1
Ittigen (beco)	0	0	2	2	---

⁷ Aufgrund von Gebäudesanierung war die Station Ittigen im Jahr 2011 nur bis 7. März und ab dem 8. Dezember in Betrieb.

Tabelle 8: Jahresmittelwerte ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) und Anzahl Tage über dem Grenzwert von PM10 an den Fixstationen in den Jahren 2007 – 2011.

Jahresmittelwerte	2007	2008	2009	2010	2011
Bern-Brunngasshalde (AfU)	22.3	21.5	22.9	22.6	22.6
Bern-Bollwerk (NABEL)	29.8	28.3	28.0	26.6	25.7
Wankdorf (beco)	---	---	---	22.1	21.7
Ittigen (beco)	18.3	19.0	20.9	19.7	---
Anzahl Tage > Grenzwert	2007	2008	2009	2010	
Bern-Brunngasshalde (AfU)	18	17	20	16	15
Bern-Bollwerk (NABEL)	40	30	27	21	24
Wankdorf (beco)	---	---	---	17	18
Ittigen (beco)	14	14	13	11	---

In Abbildung 7 und Abbildung 8 sind die Monatsmittelwerte, die Jahresmittelwerte und die Anzahl Tage über dem Kurzzeit-Grenzwert (KGW) der letzten fünf Jahre an zwei Stationen dargestellt. Höhere Belastungswerte treten im Winterhalbjahr auf, je nach meteorologischen Einflüssen.

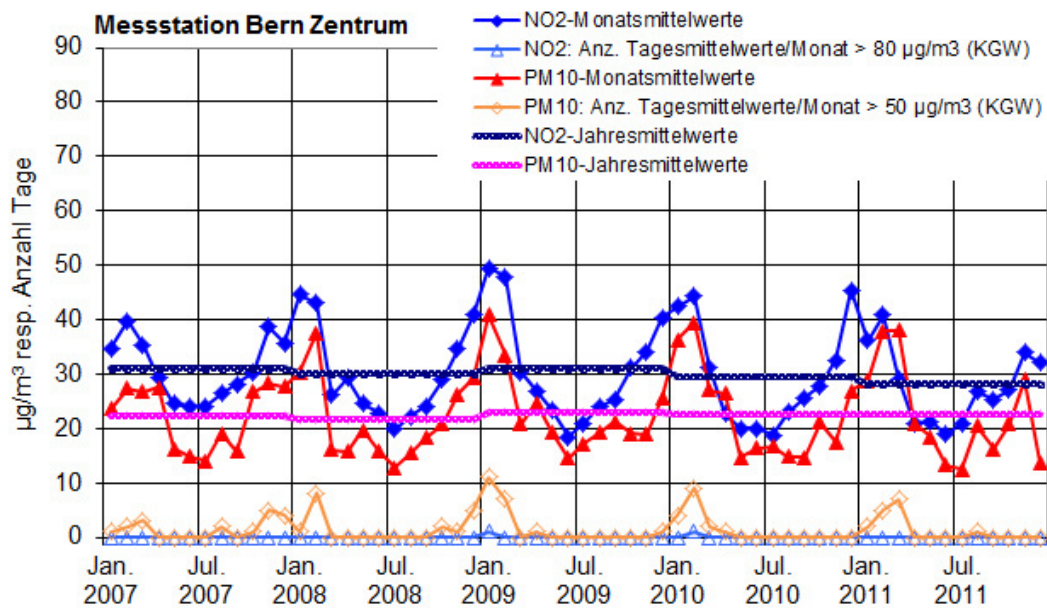


Abbildung 7: Darstellung der Monats- und Jahresmittelwerte an der Messstation Bern Zentrum (AfU) von 2007 – 2011.

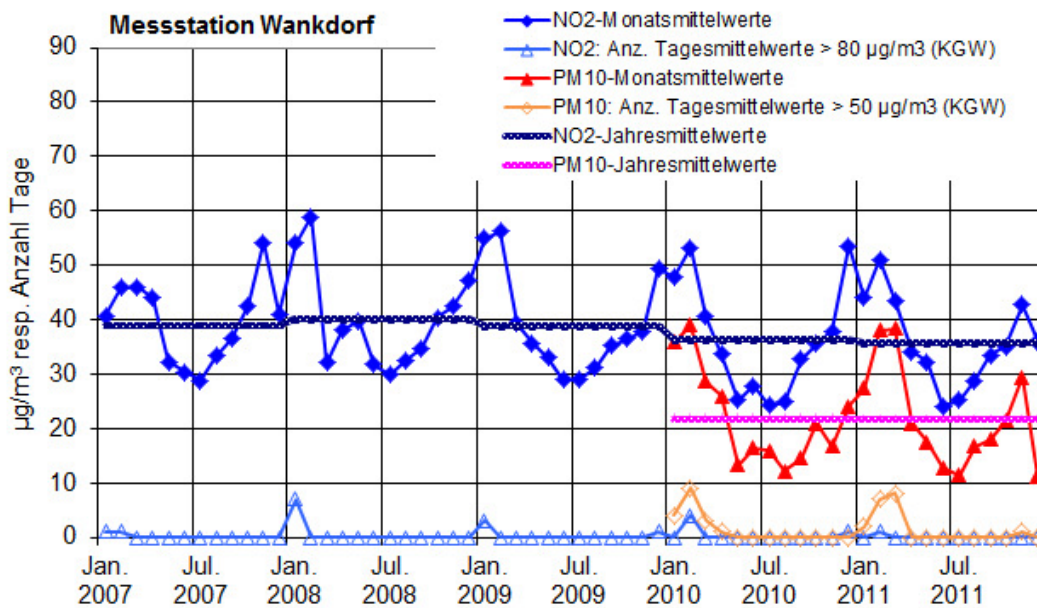


Abbildung 8: Darstellung der Monats- und Jahresmittelwerte an der Messtation Wankdorf (beco) von 2007 – 2011.

5.1.2 Meteorologische Situation

Entscheidend für die effektive Luftbelastung (Immission) in einem Untersuchungs-jahr 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 und Windrichtung ab. Abbildung 9 zeigt ein Schema zur Ausbreitung der Luftschadstoffe.

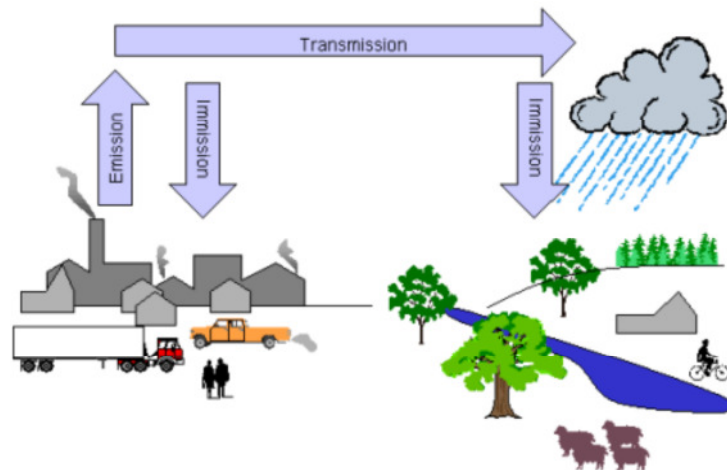


Abbildung 9: Zusammenhang zwischen Emission, Transmission und Immission⁸.

⁸ aus <http://www.umwelt.sg.ch/home/Themen/Luft/luftmessergebnisse/umgewandelt.html>

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 mit Inversionen wurde analog dem NABEL-Bericht (BAFU, 2012 (in Bearbeitung)) aus den Messdaten der Stationen Bantiger und Zollikofen bestimmt: Tage mit stabiler Temperaturschichtung zwischen 12 und 14 MEZ (mindestens Isothermie, d.h. Höhen- und Talstation haben dieselbe Temperatur).

Tabelle 9: Anzahl Tage mit Inversionen in der Region Bern in den Jahren 2007 – 2011.

	2007	2008	2009	2010	2011		2007	2008	2009	2010	2011
Jan	1	7	7	3	3	Jul	0	0	0	0	0
Feb	1	0	1	0	2	Aug	0	0	0	0	0
Mrz	0	0	0	0	0	Sep	0	0	0	0	0
Apr	0	0	0	0	0	Okt	0	1	1	3	3
Mai	0	0	0	0	0	Nov	6	4	5	0	17
Jun	0	0	0	0	0	Dez	11	6	5	8	4
						Summe	19	18	19	14	29

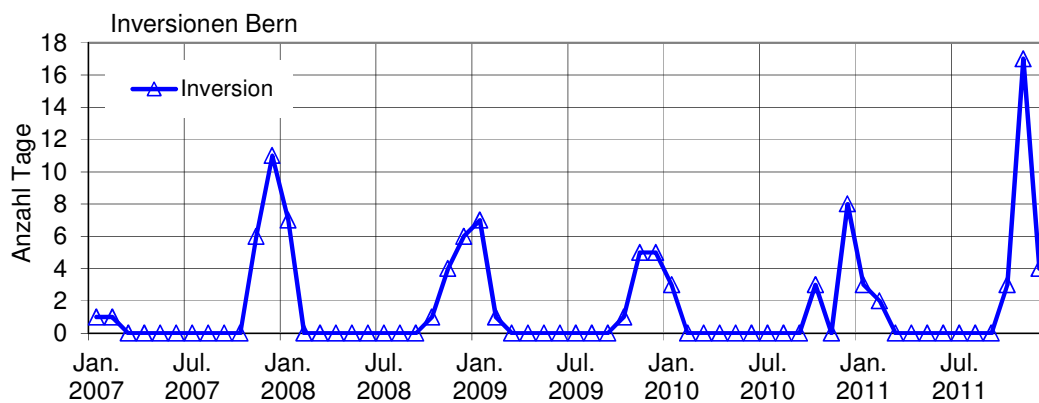


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der Anzahl Inversionen in der Region Bern in den Jahren 2007 – 2011.

5.1.3 Verkehrszählungen

Die Angaben zur Anzahl der Fahrzeuge im Untersuchungsgebiet des ESP beruhen auf den Verkehrszählungen des TBA sowie des ASTRA (TBA, 2012). Die Werte des Jahres 2011 sind in Tabelle 20 und Tabelle 21 in Anhang A4 aufgelistet. Auf den Autobahnen sind die Fahrrichtungen als separate Linien definiert.

In der Abbildung 11 sind die DTV-Werte für die wichtigsten Strassenabschnitte auf der Basis der Verkehrsmessungen abgeschätzt.

Für das Jahr 2011 stehen die Daten von 17 Zählstellen zur Verfügung. Für Streckenabschnitte ohne Verkehrsangaben im Jahr 2011 wurde die Verkehrsmenge durch einen Vergleich mit denjenigen Messstellen abgeschätzt, für die sowohl 2010 als auch 2011 die Verkehrsmengen erhoben wurden. Anhand dieser Zahlen wurde bestimmt, dass auf den Hauptverkehrsstrassen im Bereich des ESP Wankdorf die Verkehrsmenge um rund 0.2% zugenommen hat.

Für die Autobahnstrecken wurde von den Verkehrszählungen Umfahrung Bern Ost und Grauholz (befindet sich ausserhalb des Untersuchungsgebiets) ausgegangen. Anhand dieser beiden Zählstellen wurden die Verkehrsmengen auf den Autobahnstrecken abgeleitet. Auf Autobahnstrecken hat die Verkehrsmenge gegenüber dem Jahr 2010 um 0.8% zugenommen.

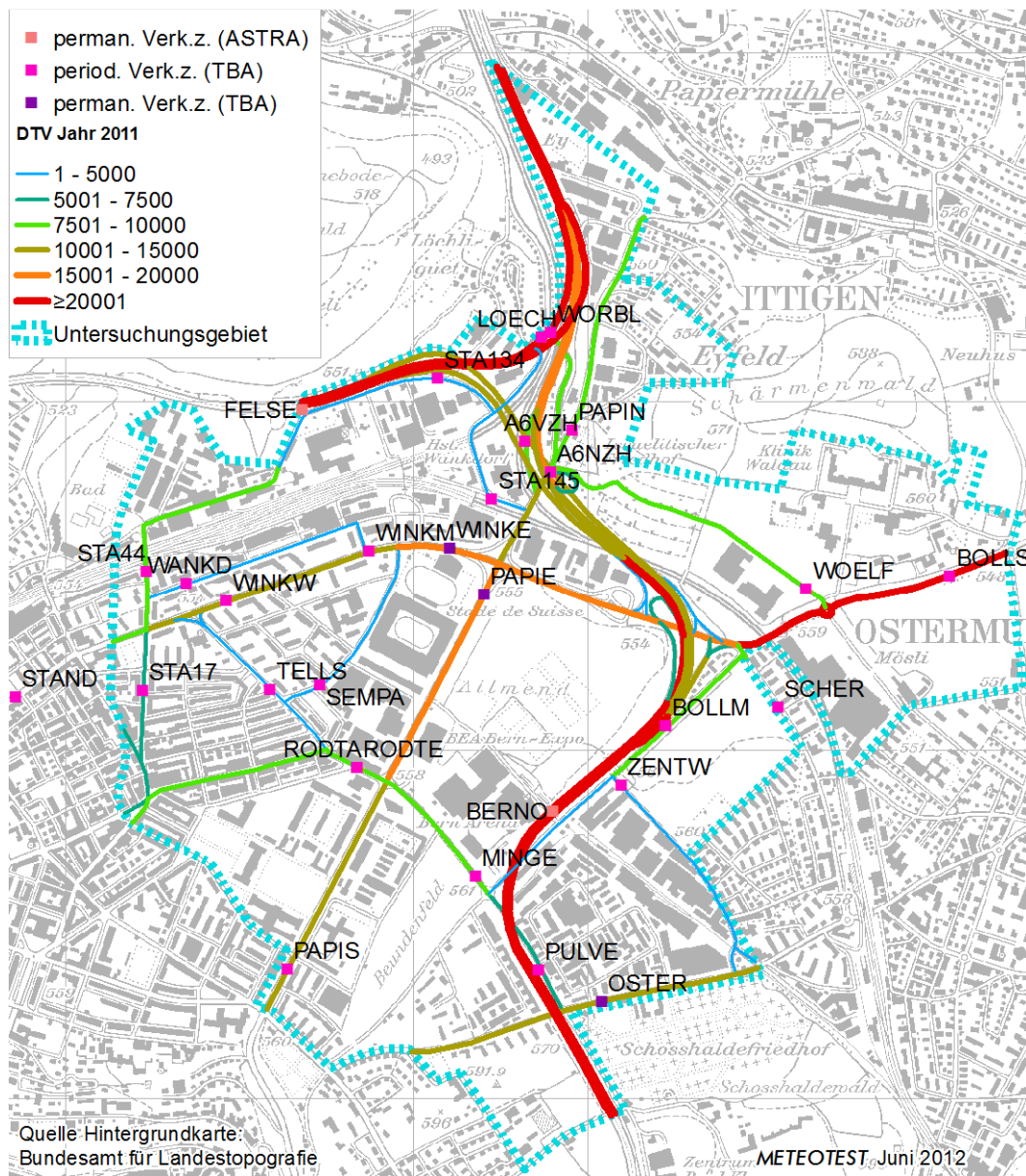


Abbildung 11: Durchschnittliche Anzahl Fahrzeuge pro Tag (DTV) im Untersuchungsgebiet für das Jahr 2011.

Im Bereich des ESP Wankdorf fallen im Vergleich zum Messjahr 2010 (METEOTEST, 2011) keine bedeutenden Veränderungen auf, was aufgrund der nur geringen Verkehrszunahme zu erwarten ist.

5.2 Emissionsmengen

Die prozentualen Anteile der Fahrzeugkategorien für das Jahr 2011 sind in Tabelle 10 aufgezeigt. Sie wurden gegenüber den Jahren 2008 bis 2010 nicht verändert.

Tabelle 10: Prozentuale Anteile der Fahrzeugkategorien im Jahr 2011.

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

Basis für die Bestimmung der prozentualen Anteile der Fahrzeugkategorien sind die Verkehrszählungen der Stadt Bern. An drei Stationen wird ganzjährig der Verkehr aufgeteilt für Personenwagen, Lastwagen, Lieferwagen, Busse 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 doppelt gewichtet verwendet wurden, weil diese eine grössere Datensicherheit aufweisen. Dies wurde 2009 mit dem TBA abgesprochen.

Die verschiedenen Verkehrszustände sind eine weitere Grundlage bei den Berechnungen der Emissionen. Es wurde homogen über das Untersuchungsgebiet angenommen, dass 12 Stunden flüssiger Verkehr herrscht, 6 Stunden dichter, 4 Stunden gesättigter und 2 Stunden stop+go-Verkehr. Es liegen keine Grundlagen vor, um diese Definitionen besser abzustützen oder lokal zu variieren. Sensitivitätsberechnungen im Bericht zum Messjahr 2010 (*METEOTEST*, 2011) haben gezeigt, dass beim NO_x ca. 2% mehr Emissionen resultieren; beim PM_{10} gibt es jedoch keine Unterschiede.

Die Emissionsfaktoren sind in Tabelle 11 und Tabelle 13 aufgelistet. Es zeigt sich, dass die Lastwagen (SNF) über 20 Mal so viel 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: NO_x-Emissionsfaktoren in Gramm pro Kilometer der vier Fahrzeugkategorien sowie gewichtet für das Jahr 2011.

Strassentyp	Personenwagen (PKW) [g/km]	Lieferwagen (LNF) [g/km]	Motorräder (MR) [g/km]	Lastwagen (SNF) [g/km]	gewichtet [g/km]
Hauptverkehrsstr.	0.307	0.808	0.074	7.203	0.543
Autobahn	0.219	0.733	0.107	4.461	0.520

Tabelle 12: NO_x-Emissionsfaktoren in Prozent der PKW für die drei anderen Fahrzeugkategorien sowie das gewichtete Mittel für das Jahr 2011.

Strassentyp	Personenwagen (PKW)	Lieferwagen (LNF)	Motorräder (MR)	Lastwagen (SNF)	gewichtet
Hauptverkehrsstr.	100%	263%	24%	2345%	177%
Autobahn	100%	334%	49%	2032%	237%

Tabelle 13: PM10-Emissionsfaktoren aus dem Auspuff sowie Aufwirbelung und Abrieb in Gramm pro Kilometer der vier Fahrzeugkategorien sowie gewichtet für das Jahr 2011.

Strassentyp	Personenwagen (PKW) [g/km]	Lieferwagen (LNF) [g/km]	Motorräder (MR) [g/km]	Lastwagen (SNF) [g/km]	gewichtet [g/km]
Hauptverkehrsstr.	0.064	0.099	0.014	0.660	0.084
Autobahn	0.055	0.088	0.012	0.161	0.063

Tabelle 14: PM10-Emissionsfaktoren in Prozent der PKW für die drei anderen Fahrzeugkategorien sowie das gewichtete Mittel für das Jahr 2011.

Strassentyp	Personenwagen (PKW)	Lieferwagen (LNF)	Motorräder (MR)	Lastwagen (SNF)	gewichtet
Hauptverkehrsstr.	100%	156%	21%	1036%	131%
Autobahn	100%	161%	22%	294%	116%

In der Abbildung 12 und Abbildung 13 sind die spezifischen Emissionen in t/km für Stickoxide und Feinstaub dargestellt.

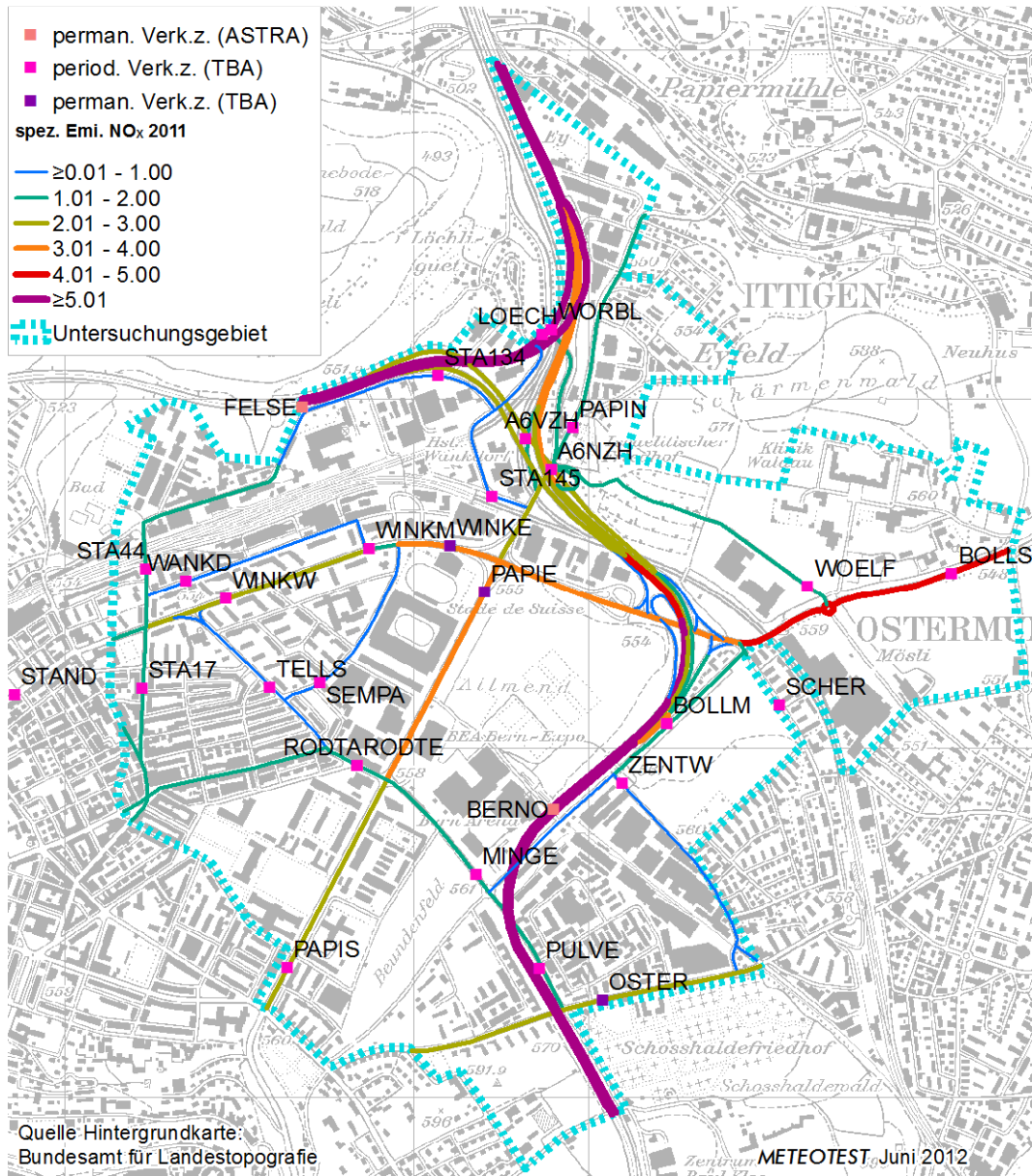


Abbildung 12: Spezifische NO_x-Emissionen (t/km) im Untersuchungsgebiet.

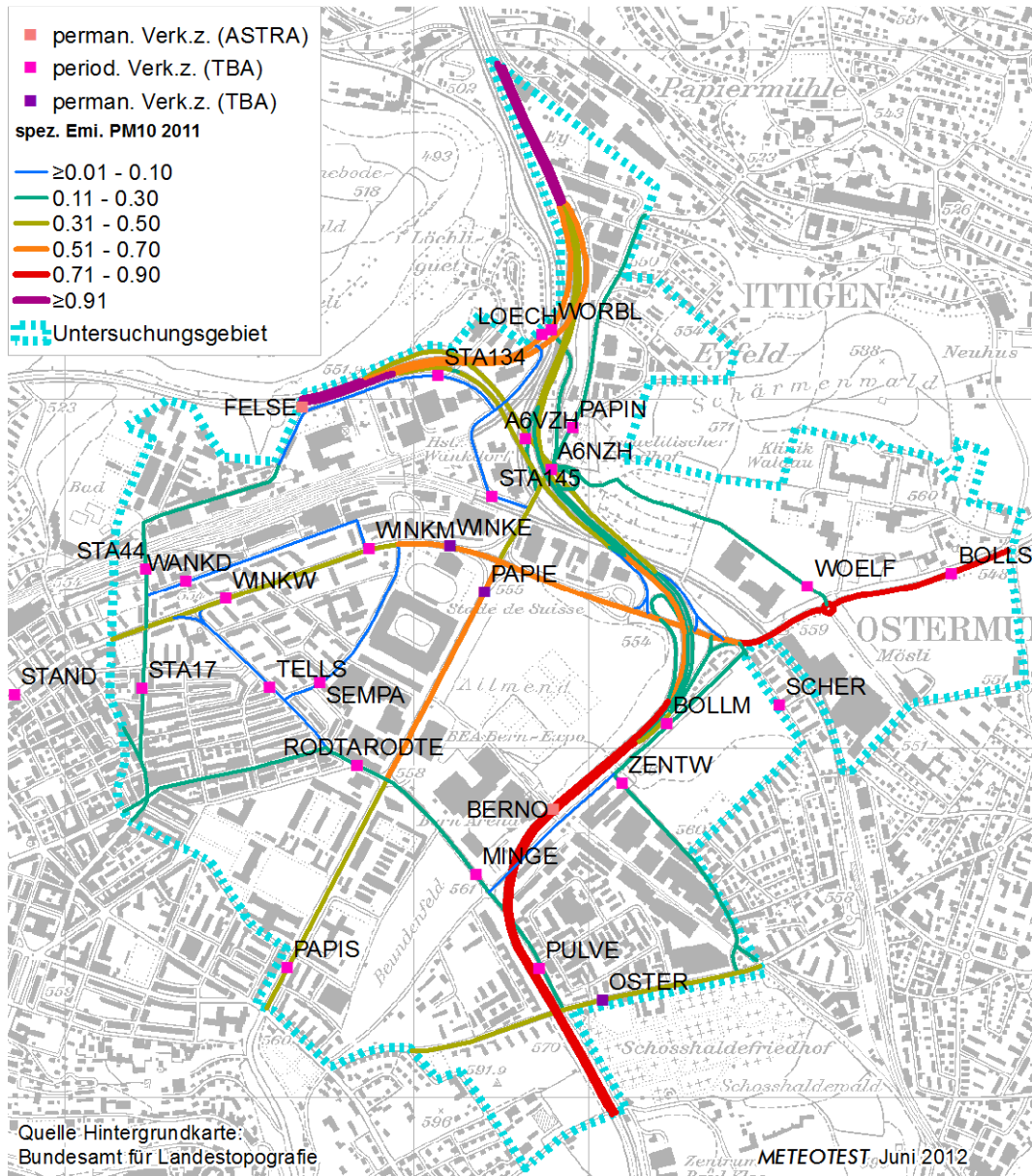


Abbildung 13: Spezifische PM10-Emissionen (t/km) im Untersuchungsgebiet.

Im Vergleich zum Bericht zum Jahr 2010 (METEOTEST, 2011) fallen keine grösseren Veränderungen der spezifischen NO_x- und PM10-Emissionen auf.

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

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

Im Gebiet des ESP wurden auf HVS rund 142'000 Fahrzeug-Kilometer registriert, auf der Stadt-Autobahn rund 316'000 Fahrzeug-Kilometer (Tabelle 15). Die Emissi-

onen auf den Hauptverkehrsstrassen betragen gemäss Tabelle 16 gut 30% der Summe.

Tabelle 15: Fahrzeugkilometer (Summe aus DTV * Streckenlänge) sowie NO_x- und PM10-Emissionen in Tonnen im Jahr 2011.

	FzKm	NO_x [t/a]	PM10 [t/a]
Hauptverkehrsstrassen	141'614	28.072	4.319
Autobahn	315'630	59.957	7.299
Summe	457'244	88.029	11.618

Tabelle 16: Fahrzeugkilometer sowie NO_x- und PM10-Emissionen in Prozent der Summe für das Jahr 2011.

	FzKm	NO_x	PM10
Hauptverkehrsstrassen	31%	32%	37%
Autobahn	69%	68%	63%
Summe	100%	100%	100%

Der Verkehr auf den Autobahnstrecken und den Hauptverkehrsstrassen im ESP Wankdorf hat gegenüber dem Vorjahr leicht zugenommen. Beim NO_x haben die Verbesserungen in den Emissionsfaktoren dazu geführt, dass trotz der leicht grösseren Verkehrsmenge insgesamt etwas weniger NO_x emittiert wurde. Die PM10-Emissionen sind gegenüber dem Vorjahr leicht angestiegen. Ein grosser Teil der PM10-Emissionen stammt aus Aufwirbelung und Abrieb, welcher aufgrund der grösseren Fahrleistung im Untersuchungsgebiet zugenommen hat. Die Verbesserungen in den Emissionsfaktoren der Abgasemissionen können diese Zunahme nicht ganz ausgleichen.

6 Fazit und Schlussfolgerungen

Entlang der Hauptverkehrsachsen im ESP Wankdorf waren im Jahr 2011 die Grenzwerte der Jahresmittelwerte von Stickstoffdioxid und Feinstaub überschritten. In den Quartieren abseits stark befahrener Strassen lagen die NO₂-Jahresmittelwerte unter dem Grenzwert von 30 µg/m³.

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 wurden ab dem Jahr 2010 auch Querprofile mit NO₂-Passivsammlern entlang stark befahrener Strasse gemessen. Somit kann die Abnahme der Luftbelastung durch NO₂ quer zur Strasse aufgezeigt werden. Insgesamt wurden 6 zusätzliche Messstandorte betrieben.

Es sollte alles daran gesetzt werden, dass möglichst vollständige Datenreihen vorliegen (Verkehrszählungen, Luftschadstoff- und meteorologische Messungen). Nur so können belastbare Aussagen zur Situation der Luftbelastung und Emissionsmenge erarbeitet werden.

7 Literatur

- BAFU, 2010: Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs (HBEFA). Version 3.1.
<http://www.bafu.admin.ch/luft/00596/00597/00605/index.html>
- BAFU, 2010a: Luftschadstoff-Emissionen des Strassenverkehrs 1990-2035. Aktualisierung 2010. Umwelt-Wissen Nr. 1021.
<http://www.bafu.admin.ch/luft/00596/00597/00604>
- BAFU, 2012: NABEL. Luftbelastung 2011. Messresultate des Nationalen Beobachtungsnetzes für Luftfremdstoffe (NABEL).
http://www.bafu.admin.ch/luft/luftbelastung/blick_zurueck/10576/index.html (in Bearbeitung)
- beco, 2012: Berner Luft 2011.
http://www.vol.be.ch/vol/de/index/luft/luftmesswerte/downloads_publicationen/luftreinhaltung.html
- BUWAL, 2004: Immissionsmessung von Luftfremdstoffen. Messempfehlung.
<http://www.bafu.admin.ch/publikationen/publikation/00645/index.html>
- BVE, 2009: Monitoring und Controlling ESP Wankdorf. Monitoring Bericht 08. Stand März 2009. Projektorganisation ESP Wankdorf.
http://www.wankdorf.info/der_raum/Monitoring%20neu.pdf
- LRV, 1985: Luftreinhalte-Verordnung vom 16. Dezember 1985; Stand am 1. Januar 2009.
www.admin.ch/ch/d/sr/c814_318_142_1.html
- METEOTEST*, 2011: Monitoring und Controlling ESP Wankdorf. Luftbelastung: Analyse und Interpretation für das Messjahr 2010.
- TBA, 2012: Verkehrszählungen in der Stadt Bern. Datenlieferungen per E-Mail im Mai 2011.

Anhang

A1: Abkürzungen und Begriffserläuterungen

AfU	Amt für Umweltschutz der Stadt Bern http://www.bern.ch/luft
ASTRA	Bundesamt für Strassen http://www.astra.admin.ch
BAFU	Bundesamt für Umwelt http://www.bafu.admin.ch/luft/
beco	Berner Wirtschaft, Immissionsschutz http://www.vol.be.ch/vol/de/index/luft.html
BVE	Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern http://www.bve.be.ch
DTV	Durchschnittlicher Täglicher Verkehr. Fahrzeuge pro Tag.
Emissionen	Freisetzung von Luftschadstoffen an den Quellen http://www.bafu.admin.ch/luft/00596
ESP	Programm Entwicklungsschwerpunkte http://www.jgk.be.ch/jgk/de/index/raumplanung/raumplanung/kantonale_raumplanung/siedlung_verkehr.html
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) http://www.feinstaub.ch
HBEFA3.1	Emissionsfaktoren des Strassenverkehrs. Version 3.1 http://www.bafu.admin.ch/luft/00596/00597/00605/index.html
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 http://www.vol.be.ch/vol/de/index/luft/luftmesswerte.html

	<p>http://www.bern.ch/leben_in_bern/sicherheit/umweltschutz/Luft http://www.bafu.admin.ch/luft/luftbelastung</p>
Inversion	<p>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.</p> <p>http://de.wikipedia.org/wiki/Inversionswetterlage</p>
LNf	<p>Leichte Nutzfahrzeuge <3,5t (Kleinbusse, Lkw, Wohnmobile, sonstige Kfz)</p>
LRV	<p>Luftreinhalte-Verordnung</p> <p>http://www.admin.ch/ch/d/sr/c814_318_142_1.html</p>
NABEL	<p>Nationales Beobachtungsnetz für Luftfremdstoffe</p> <p>http://www.bafu.admin.ch/luft/00612/00625</p>
MR	<p>Motorrad</p>
NO _x	<p>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 (NO₂) umgewandelt wird).</p> <p>http://www.bafu.admin.ch/luft/00585/10763</p>
NO ₂	<p>Stickstoffdioxid (Immissionen)</p> <p>http://www.bern.ch/leben_in_bern/sicherheit/umweltschutz/Luft/luft_hygiene/no2 http://www.vol.be.ch/vol/de/index/luft/luftschaedstoffe/stickstoffdioxid.html</p>
Passivsammler	<p>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 NO₂-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 NO₂ sind daher nur unter einem gewissen Vorbehalt durchführbar,</p>

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://www.bern.ch/leben_in_bern/sicherheit/umweltschutz/Luft/pasivsammler

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. http://www.bern.ch/leben_in_bern/sicherheit/umweltschutz/Luft/luft_hygiene/pm10 http://www.vol.be.ch/vol/de/index/luft/luftschaedstoffe/feinstaub.html http://www.bafu.admin.ch/luft/00585/10761
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 _x
Stickstoffdioxid	siehe NO ₂
SwissMetNet	Das neue meteorologische Messnetz der MeteoSchweiz. http://www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/klima/messsysteme/boeden/swissmetnet/infos_messtation/bern.html
TBA	Tiefbauamt der Stadt Bern http://www.bern.ch/stadtverwaltung/tvs/tba/PuR/Verkehr
µg/m ³	Mikrogramm pro Kubikmeter

A2: Luftschadstoffmessungen im Jahr 2011

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

Die Feinstaubmessung an der Station Brünnen wurde auf Ende Mai 2011 beendet und ist daher in Tabelle 17 nicht mehr enthalten.

Tabelle 17: Standorte mit Luftschadstoffmessungen sowie Jahresmittelwerte im Jahr 2011 (Fixstationen).

Station	Abkürzung	Koordinaten	NO ₂ [µg/m ³]	PM10 [µg/m ³]
Bern-Brunngasshalde (AfU)	BRUNN	600'833 / 199'785	28.2	22.6
Bern-Bollwerk (NABEL)	BOLLW	600'170 / 199'990	42.4	25.7
Bern Wankdorf (beco)	MESSW	602'015 / 201'570	35.7	21.7
Ittigen (beco)	ITTIG	603'040 / 202'810	--- ⁹	---
Eigerplatz	EIGER	599'415 / 198'838		20.6

Tabelle 18: Standorte mit Luftschadstoffmessungen sowie Jahresmittelwerte im Jahr 2011 (Passivsammler).

NO ₂ -Passivsammler ¹⁰	Abkürzung	Koordinaten	NO ₂ [µg/m ³]
Breitenrainplatz	BRE-P	601'195 / 200'838	34.2
Breitenrainplatz B	BRE-B	601'166 / 200'881	22.9
Burgfeld Ost	BUR-O	602'710 / 201'052	42.9
Burgfeld West	BUR-W	602'715 / 201'153	39.5
Businesspark	BUSIN	601'240 / 201'650	25.4
Guisanplatz	GUISP	601'916 / 200'939	36.5
Morgartenstrasse	MORGA	601'540 / 201'360	22.7
Schönburg	SCHOE	601'568 / 200'284	--- ¹¹
Standstrasse	STAND	601'150 / 201'338	29.7
Standstrasse Strasse	STA-A	601'150 / 201'310	30.6
Standstrasse Quartier	STA-B	601'150 / 201'380	24.0

⁹ Aufgrund von Gebäudesanierung war die Station Ittigen im Jahr 2011 nur bis 7. März und ab dem 8. Dezember in Betrieb.

¹⁰ 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 dokumentiert.

¹¹ Für den Standort Schönburg konnten die fehlenden Werte der Monate Oktober und November nicht mittels Regression ergänzt werden, da keine Station mit vollständiger Messreihe gut korreliert.

NO ₂ -Passivsammler ¹⁰	Abkürzung	Koordinaten	NO ₂ [µg/m ³]
Stauffacherstrasse Nord	STA-N	601'897 / 202'095	---
Stauffacherstrasse Süd	STA-S	601'923 / 202'045	47.8
Tellstrasse	TELLS	601'566 / 201'210	20.1
Wankdorf beco	WAN-B	602'027 / 201'571	34.2
Wankdorfplatz Nord	WAN-N	602'222 / 201'595	36.7
Wankdorfplatz Süd	WAN-S	602'257 / 201'476	33.6
Winkelriedstrasse Strasse	WIN-A	601'440 / 201'420	30.2
Winkelriedstrasse Quartier	WIN-B	601'410 / 201'470	24.8

A3: Standorte mit meteorologischen Messdaten

Tabelle 19: 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 (SwissMetNet)	BANTI	606'850 / 202'975	942

A4: Zählstellen und Messdaten des motorisierten Individualverkehrs im Jahr 2011

Tabelle 20: Standorte mit Verkehrszählungen (permanente Messungen) und DTV im Jahr 2011.

Station	Abkürzung	Koordinaten	DTV
Ostermundigenstrasse 61 (TBA)	OSTER	602539 / 200278	10'497
Papiermühlestrasse 91 (TBA)	PAPIE	602201 / 201450	keine Daten
Winkelriedstrasse 10 (TBA)	WINKE	602103 / 201583	keine Daten
Bern, Felsenauviadukt (ASTRA)	FELSE	601680 / 201980	keine Daten
Umfahrung Bern Ost (ASTRA)	BERNO	602400 / 200825	67'582

Tabelle 21: Standorte mit Verkehrszählungen (periodische Messungen) und DTV im Jahr 2011.

Station	Abkürzung	Koordinaten	DTV
A6-Ausfahrt von ZH	A6VZH	602320 / 201890	keine Daten
A6-Einfahrt nach ZH	A6NZH	602395 / 201800	keine Daten
Bolligenstrasse Mitte	BOLLM	602723 / 201071	7'900
Bolligenstrasse Stadtgrenze	BOLLS	603541 / 201503	24'444
Mingerstrasse	MINGE	602177 / 200638	7'708
Papiermühlestrasse Nord	PAPIN	602455 / 201920	keine Daten
Papiermühlestrasse Süd	PAPIS	601637 / 200372	10'213
Pulverweg	PULVE	602360 / 200370	6'686
Rodtmattstrasse Sa (Guisanplatz)	RODTA	601836 / 200950	4'101
Rodtmattstrasse Se (Guisanplatz)	RODTE	601836 / 200950	4'101
Schermenweg 133	SCHER	603047 / 201124	3'109
Sempachstrasse 7	SEMPA	601731 / 201189	keine Daten
Standstrasse 15	STAND	600855 / 201154	9'979
Löchligutweg	LOECH	602366 / 202187	5'821
Stauffacherstrasse 134	STA134	602068 / 202070	4'931
Stauffacherstrasse 145	STA145	602224 / 201725	keine Daten
Stauffacherstrasse 17a	STA17	601221 / 201171	5'338
Stauffacherstrasse 44 (SBB)	STA44	601232 / 201517	keine Daten
Tellstrasse 18	TELLS	601587 / 201174	keine Daten
Wankdorffeldstrasse West	WANKD	601347 / 201481	2'788
Winkelriedstrasse Mitte	WINKM	601872 / 201575	10'051
Winkelriedstrasse West	WINKW	601460 / 201430	11'093
Wöflistrasse	WOELF	603127 / 201465	keine Daten
Worblauenstrasse Nord	WORBL	602393 / 202201	8'938
Zentweg West	ZENTW	602596 / 200901	4'042

A5: Emissionsfaktoren für Feinstaub im Jahr 2011

In Tabelle 22 sind die Emissionsfaktoren für Feinstaub nur am Auspuff der Fahrzeuge aufgezeigt (BAFU, 2010). Sie sind meistens kleiner als die Werte aus für Abrieb und Aufwirbelung gemäss BAFU (2010a). 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 2011.

Strassentyp	Personenwagen (PKW)	Lieferwagen (LNF)	Motorräder (MR)	Lastwagen (SNF)	gewichtet
Hauptverkehrsstr.	0.010	0.045	0.000	0.120	0.014
Autobahn	0.008	0.041	0.000	0.087	0.016

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