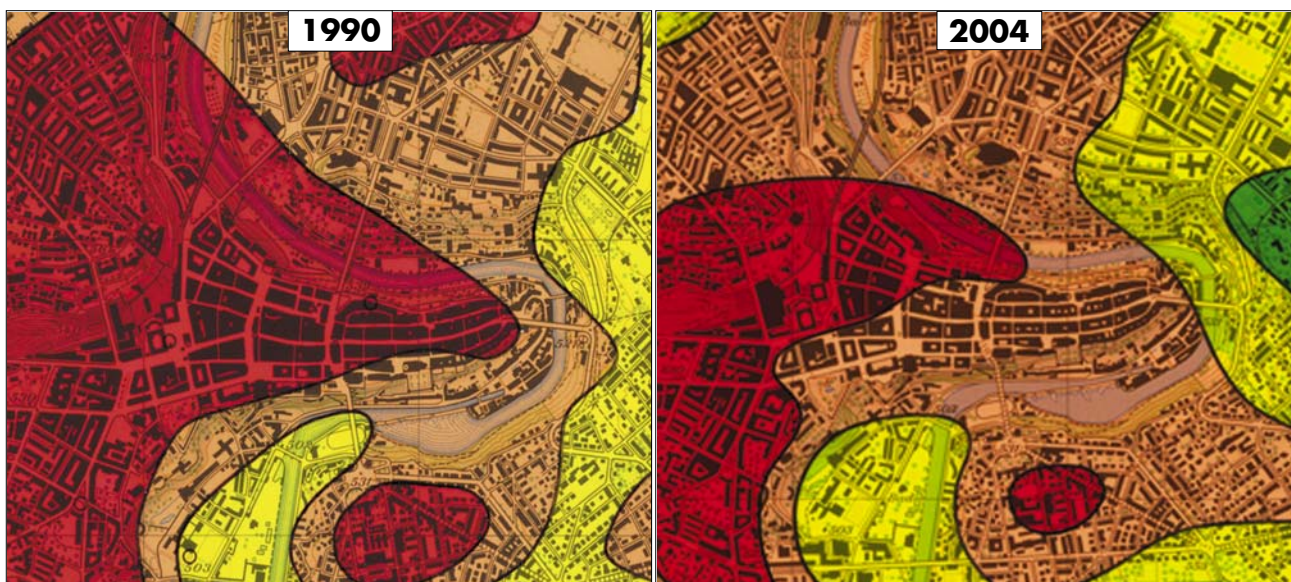


Stadt Bern, Amt für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle (AfUL),  
beco – Berner Wirtschaft und Gemeinden Bremgarten und Köniz

# **Erfolgskontrolle zur Luftreinhaltung in der Stadt Bern 2004**

## **Wiederholung der Untersuchungen mit Flechten nach 14 Jahren**



## **Kurzbericht**

**September**

**2005**

*AGB - Dr. Rolf Herzig  
Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation,  
Umweltbeobachtung und ökologische Planung  
3013 Bern*

## **Impressum**

---

### **Projekt-Bearbeitung**

Dr. Rolf Herzig und Christof Bieri  
AGB, Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation,  
Umweltbeobachtung und ökologische Planung  
Quartiergasse 12  
3013 Bern  
Tel. 031 332 66 29

### **Projektleitung**

Dr. Karl-Heinz Gerber und Dr. Heribert Bürgy  
Amt für Umweltschutz und Lebensmittelkontrolle der Stadt Bern  
Brunngasse 30  
3000 Bern 7  
Tel. 031 321 63 06

### **Begleitung**

Dr. Gerrit Nejedly  
beco - Berner Wirtschaft  
Immissionsschutz  
Laupenstrasse 22  
3011 Bern  
Tel. 031 633 57 83

---

Kartenreproduktion: Reproduziert mit Bewilligung von Swisstopo  
(BA046556)

# **Erfolgskontrolle zur Luftreinhaltung in der Stadt Bern 2004 Wiederholung der Untersuchungen mit Flechten nach 14 Jahren**

## **Lufthygienische Erfolgskontrolle 2004**

1990 wurde in der Stadt Bern eine erste Untersuchung zur Luftbelastung mit Hilfe von Flechten an Laubbäumen durchgeführt. Zur Beurteilung der Wirksamkeit der bisher auf kommunaler, kantonalen und nationaler Ebene getroffenen Luftreinhaltmassnahmen wurde im Jahr 2004 - 14 Jahre nach der Ersterhebung - eine Erfolgskontrolle mit Flechten durchgeführt.

### **Bioindikation mit Flechten**

Die Bioindikation mit Flechten ist eine standardisierte Methode, welche die biologischen Auswirkungen der Luftbelastung erfasst. Der mittels der Flechtenartenvielfalt gemessene Luftgütwert IAP18 ist aufgrund der Eichung mit technisch gemessenen Luftschadstoffen ein zuverlässiger Indikator für die Gesamtbelastung der Luft und ermöglicht eine flächendeckende und räumlich präzise Charakterisierung der Luftqualität. Die Flechtenindikationsmethode unterscheidet fünf verschiedenfarbige Zonen der Gesamtbelastung der Luft, welche bezüglich der Flechtenwirkung als kritisch, stark, mittel, gering und sehr gering bezeichnet werden. In den kritisch und stark belasteten Zonen Rot und Orange werden die Grenzwerte der Luftreinhaltverordnung von NO<sub>2</sub> und z.T. anderen Luftschadstoffe in der Regel überschritten.

Flechten reagieren auf kleinste Beeinträchtigungen der Luftqualität mit sicht- und messbaren Veränderungen. Mit zunehmender Luftbelastung verschwinden Flechten von den Baumstämmen, kehren jedoch bei Verringerung der Schadstoffbelastung ebenso rasch wieder zurück. Diese Eigenschaft wird für die Erfolgskontrolle von Luftreinhaltmassnahmen genutzt. Dabei werden die Ergebnisse einer Wiederholungskartierung mit denjenigen der Ersterhebung verglichen.

Die aktuelle Flechtenuntersuchung der Stadt Bern erfolgte von Herbst 2003 bis Sommer 2004 an 365 ausgewählten Laubbäumen, die sich homogen auf eine rund 30 km<sup>2</sup> grosse Untersuchungsfläche verteilen. Nach Möglichkeit wurden die identischen Bäume der Ersterhebung untersucht. Ein Drittel musste allerdings durch vergleichbare Bäume ersetzt werden.

Der Stadtberner Untersuchung haben sich auch die Gemeinden Bremgarten und Köniz und für das Wangental die Recyclingfirma Karl Kaufmann AG angeschlossen, was ein abgerundeteres Bild der regionalen Entwicklung ermöglicht. Diese erweiterten Untersuchungen konnten bis Frühling 2005 abgeschlossen werden. Das Projekt wird vom Immissionsschutz des beco Berner Wirtschaft unterstützt.

### **Gesamtbelastung der Luft vor 14 Jahren - Luftgütekarte von 1990**

Die Luftgütekarte der Erstuntersuchung von 1990 (Karte1) zeigt das Ausmass der Luftgesamtbelastung der Stadt Bern vor 14 Jahren. Mit einer grossen Flächenausdehnung musste damals für die zentralen Stadtgebiete die "rote Zone" mit einer kritischen Gesamtbelastung der Luft ausgewiesen werden. Auch Teilgebiete der drei Aussenzentren Breitenrain, Kirchenfeld und Ostring-Sonnenhof mussten der roten Zone mit kritischer Gesamtbelastung, in welcher starke Grenzwertüberschreitungen von NO<sub>2</sub> u.a. Luftschadstoffen zu erwarten sind, zugeordnet werden. In gleich grosser Flächenausdehnung wie die rote Zone zeigte sich in den zentrumsnahen Quartieren die orange Zone mit starker Gesamtbelastung. Diese umschloss die roten Gebiete ringförmig. Die gelbe Zone charakterisierte besonders die Aussenquartiere der Stadt Bern. Weitgehend auf den westlichen und östlichen Stadtrand beschränkt wurde die grüne Zone mit geringer Gesamtbelastung. Die blaue Zone mit sehr geringer Gesamtbelastung trat in vier kleinen Gebieten am Perimeterrand sowie auf dem Gurten auf.

**Tabelle 1:** Flächenanteile der einzelnen Luftbelastungszonen und Vergleich mit den NO<sub>2</sub>-Passivsammlermessungen. Der Anteil der Fläche Berns mit einer Belastung im Bereich der Grenzwerte und darüber hat sich in den letzten 14 Jahren von zwei Dritteln auf die Hälfte reduziert.

Luftgüte und Zonenfarbe	1990	2004	Luftgesamtbelastung mittels Flechten	Luftbelastung NO <sub>2</sub> 2004
Flechtenwüste - rot	14%	5%	kritisch	deutlich über Grenzwert
Innere Kampfzone - orange	16%	15%	stark	über Grenzwert
Äusserere Kampfzone - gelb	34.5%	30%	mittel	im Bereich Grenzwert
Überganszone - grün	28%	38%	gering	unter Grenzwert
Normalzone - blau	7.5%	12%	sehr gering	deutlich unter Grenzwert

### Luftgesamtbelastung von 2004 - die aktuelle Luftgütekarte

Erfreulicherweise hat sich die am stärksten belastete rote Luftgütezone mit kritischer Gesamtbelastung in den letzten 14 Jahren seit der Ersterhebung markant verkleinert (Karte 2, Tabelle 1). Heute tritt diese «Flechtenwüste», wie sie von Fachleuten auch bezeichnet wird, nur noch im oberen Altstadtzentrum um den Bahnhof mit Bollwerk und entlang der Neuengasse bis zur Kornhausbrücke sowie im Stadtbachquartier und vom östlichen Teil des Mattenhofs Richtung Monbijou bis Sulgenbach auf. Von den drei Aussenzentren Breitenrain, Kirchenfeld und Ostring-Sonnenhof, welche bei der Ersterhebung ebenfalls eine kritische Gesamtbelastung aufwiesen, zeigt sich heute die rote Zone nur noch im Kirchenfeld und dies in deutlich geringerer Ausdehnung. In dieser Zone zeigen sich nach wie vor die stärksten Grenzwertüberschreitungen von Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>).

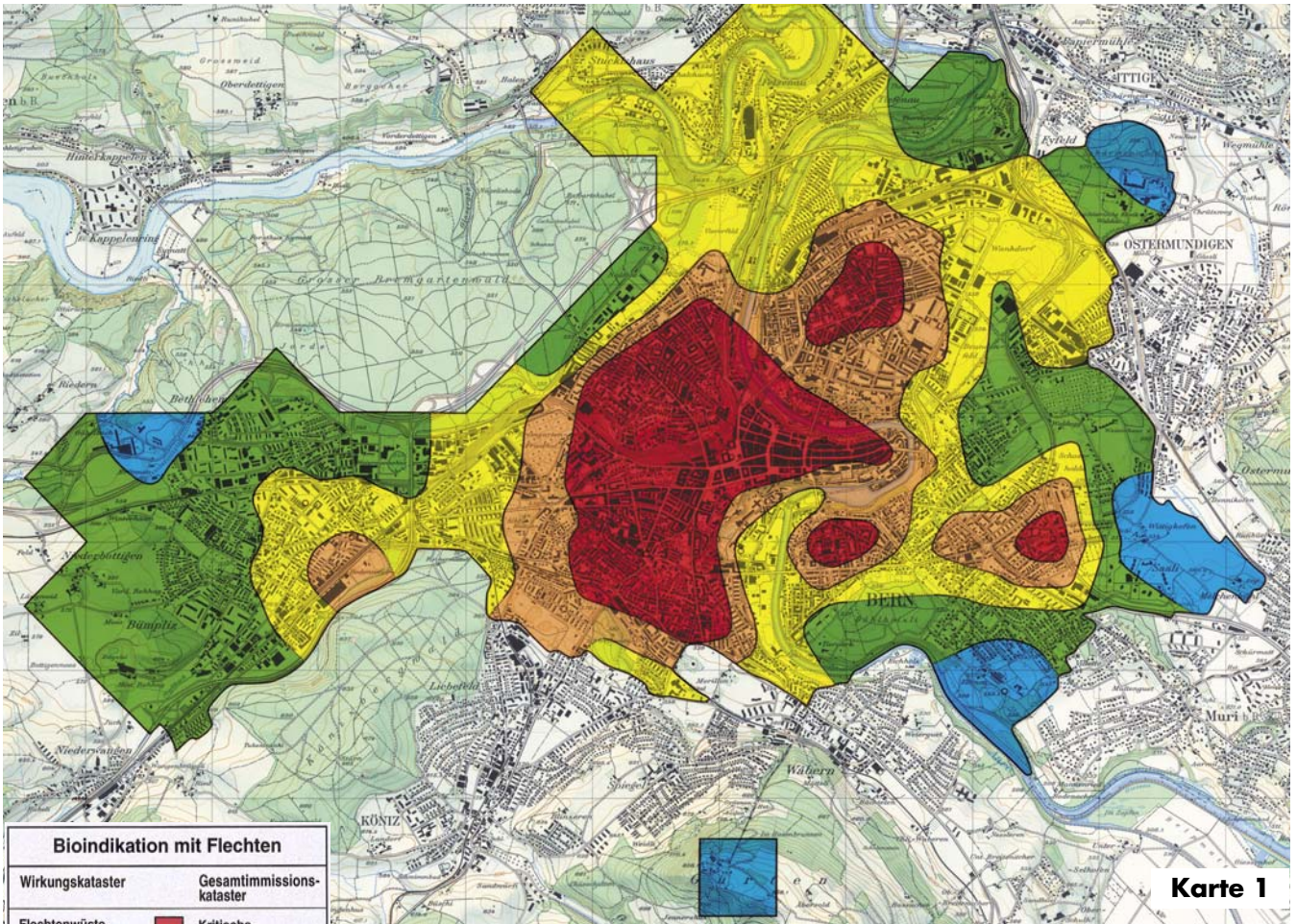
Weite Gebiete der einst grossflächigen roten Zone verbesserten sich in den letzten 14 Jahren um bis zu einer Luftgütezone. In diesen zentrumsnahen Gebieten findet sich heute die orange Zone mit einer starken Gesamtbelastung. Diese orange Zone umschliesst den Stadtkern mit den angrenzenden Wohngebieten und dehnt sich entlang wichtiger Hauptverkehrsachsen wie dem Nordring, der Neubrück-, Kirchenfeld-, Thun-, Monbijou- und der Seftigenstrasse aus. Der aktuelle Flächenanteil der orangen Zone bleibt hoch. Zu den nach wie vor stark belasteten Quartieren gehören Länggasse, Breitenrain, die untere Altstadt und das Kirchenfeld sowie das Gebiet vom Muristalden bis Sonnenhof und Teile vom Mattenhof bis Weissenbühl. Aufgrund der Passivsammlermessungen der Stadt ist auch in der orangen Zone noch mit Grenzwertüberschreitungen von NO<sub>2</sub> zu rechnen.

Die gelbe Zone mit mittlerer Gesamtbelastung umschliesst die kritisch bis stark belasteten Zentrumsgebiete. Mit einer mittleren Gesamtbelastung ausgewiesen sind heute die Quartiere Bümpliz Höhe, Holligen, Weissenstein, Marzili, Chalchegg bei Brunnadern, Schosshalde, Obstberg, Beundenfeld, Wankdorffeld, Wyler, Seftau, Felsenau, Rossfeld und Tiefenau. In der gelben Zone liegen die Jahresmittelwerte NO<sub>2</sub> meist im Grenzwertbereich, können jedoch in unmittelbarer Strassennähe durchaus auch darüber liegen.

Von den fünf Belastungszonen nimmt heute die grüne Zone mit geringer Gesamtbelastung die Hauptfläche des Untersuchungsgebietes ein. Die grössten zusammenhängenden Gebiete dieser Luftgütezone liegen im westlichen und nordöstlichen Teil des Untersuchungsgebietes, in Bethlehem, Bümpliz, Weyermannshaus, im Brunnadern- und Elfenaquartier sowie im Galgenfeld, Burgfeld, Wankdorf und Wylergut. In der grünen Zone mit geringer Gesamtbelastung können die NO<sub>2</sub>-Grenzwerte in der Regel eingehalten werden.

Stark vergrössert hat sich auch die blaue Zone mit sehr geringer Gesamtbelastung (Normalzone), in der heute durchschnittlich 11 und maximal sogar 17 verschiedene, auch schadstoffempfindliche Flechtenarten festgestellt werden.

# Früher - Luftgütekarte der Stadt Bern - Erstuntersuchung von 1990



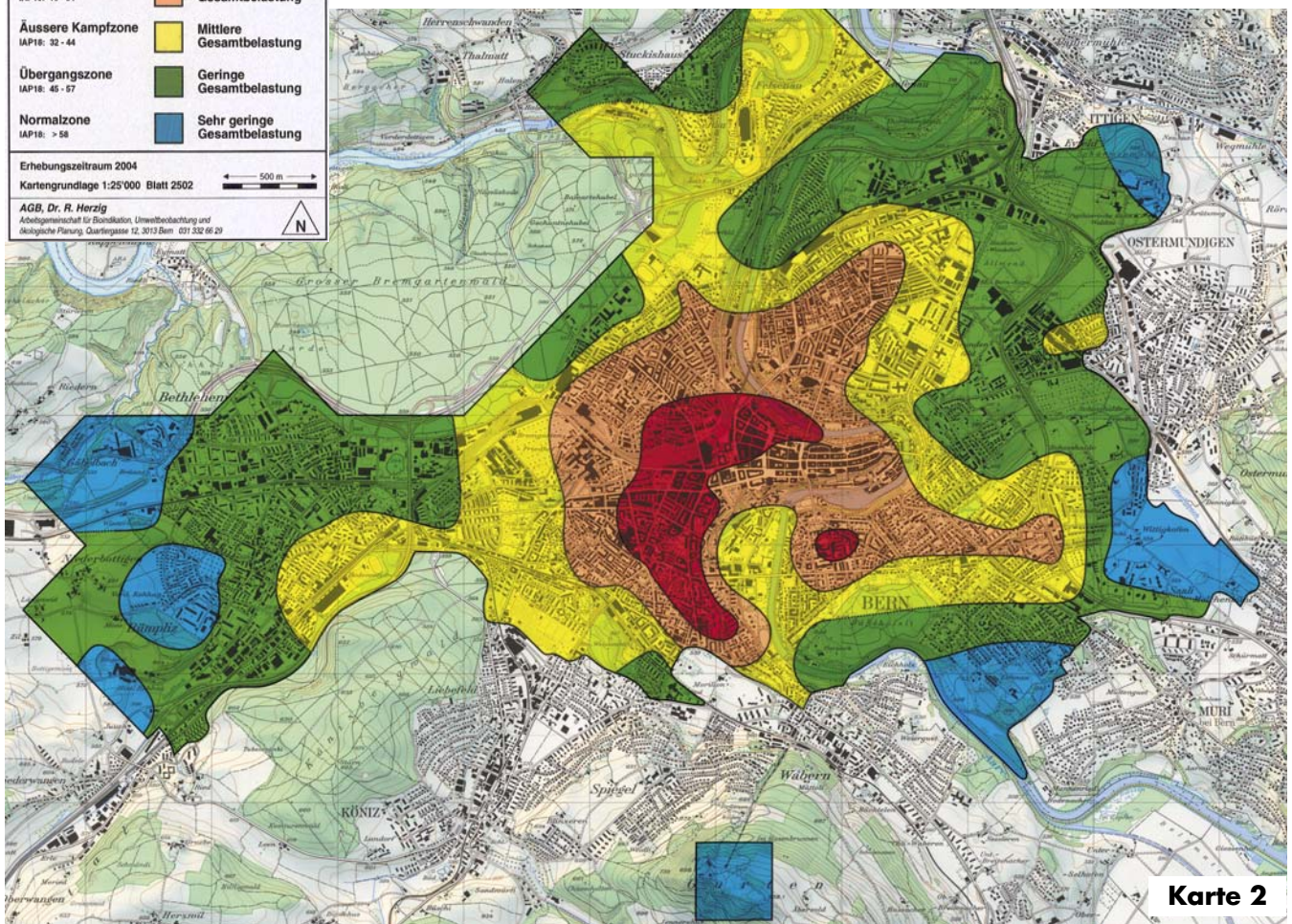
Karte 1

Bioindikation mit Flechten	
Wirkungskataster	Gesamtimmissionskataster
Flechtenwüste IAP18: 0 - 18	<span style="color: red;">■</span> Kritische Gesamtbelastung
Innere Kampfzone IAP18: 19 - 31	<span style="color: orange;">■</span> Starke Gesamtbelastung
Äussere Kampfzone IAP18: 32 - 44	<span style="color: yellow;">■</span> Mittlere Gesamtbelastung
Übergangszzone IAP18: 45 - 57	<span style="color: green;">■</span> Geringe Gesamtbelastung
Normalzone IAP18: > 58	<span style="color: blue;">■</span> Sehr geringe Gesamtbelastung

Erhebungszeitraum 2004  
 Kartengrundlage 1:25'000 Blatt 2502

AGB, Dr. R. Herzig  
 Arbeitsgemeinschaft für Bioindikation, Umweltbeobachtung und  
 Biologische Planung, Quartiergasse 12, 3013 Bern, 031 332 66 29

# Heute - Luftgütekarte nach 14 Jahren - Erfolgskontrolle - 2004



Karte 2

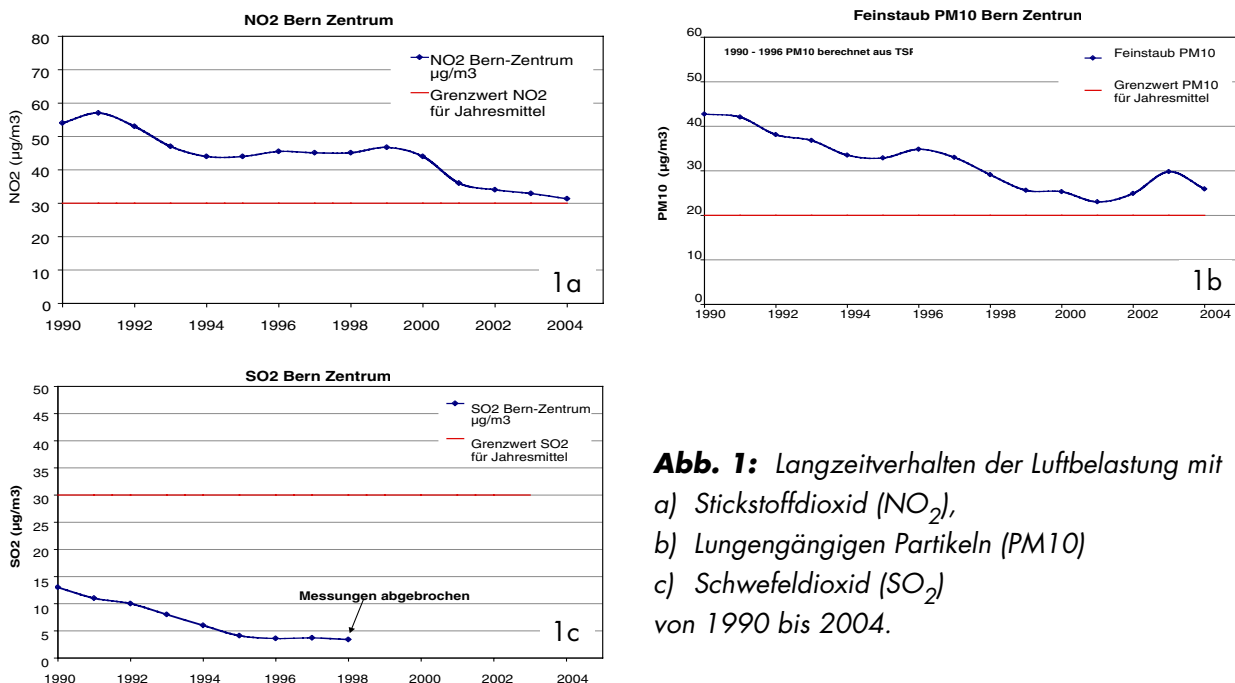
Diese Zunahme ist besonders auf den westlichen Teil des Untersuchungsgebietes zurückzuführen, wo sich die beste Luftgütezone von einem auf drei Teilgebiete ausgedehnt hat. In der blauen Zone mit sehr geringer Gesamtbelastung können die  $\text{NO}_2$ -Grenzwerte in der Regel gut eingehalten werden.

Trat früher diese blaue Gunstzone ausschliesslich am Stadtrand auf, wie im Gebiet Waldau, Saali, Elfenau, Gäbelbach und auf dem Gurten - findet sie sich heute bereits im Stapfenacker von Bümpliz. Ein doch ermutigendes Ergebnis ...

## Verbesserte Luftqualität in der Stadt Bern dank wirksamer Luftreinhaltepolitik

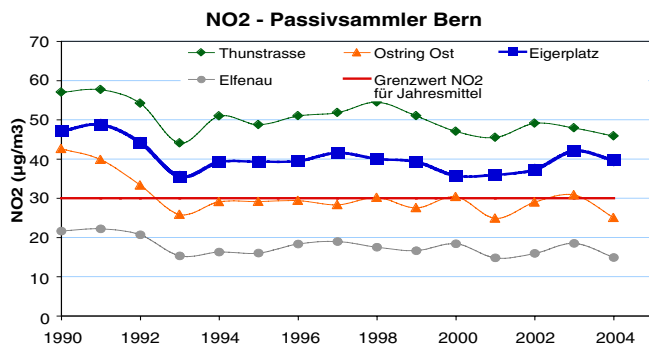
In der Stadt Bern fällt die Bilanz der ersten lufthygienischen Erfolgskontrolle von 2004 insgesamt positiv aus. Wie aus dem Direktvergleich der beiden Luftgütekarten klar ersichtlich ist, zeigt sich in über 90% des Untersuchungsgebietes eine verbesserte Luftqualität. Die deutlichste Verbesserung findet sich besonders in den zentrumsnahen Gebieten. Einige dieser Gebiete weisen sogar eine Verbesserung um eine ganze Luftqualitätsstufe auf, so etwa das Breitenrain- und das Länggassquartier. In den Aussengebieten dehnen sich zudem die gering bis sehr gering belasteten Zonen - grün und blau - Richtung Innenstadt aus, ebenfalls ein deutliches Zeichen dafür, dass die Luftqualität zugenommen hat. Im Vergleich zur starken Belastungsverminderung in den Zentrumsgebieten ist diese in den Aussengebieten allerdings weniger ausgeprägt.

Damit werden die Resultate der Luftimmissionsmessungen bestätigt. Grossflächig wird ein Rückgang der Belastungen an Stickoxiden ( $\text{NO}_2$ ), lungengängigen Partikeln (PM10), Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) festgestellt (Abb. 1).



**Abb. 1:** Langzeitverhalten der Luftbelastung mit  
a) Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ),  
b) Lungengängigen Partikeln (PM10)  
c) Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ )  
von 1990 bis 2004.

Darüber hinaus zeigten sich in der Flechtenuntersuchung 9 % der Fläche mit einer marginalen Verschlechterung des Zustandes (beispielsweise in der Abwindfahne der N1 bei Bethlehem und in der Abwindfahne der N6 und Kirchenfeldstrasse). Aber auch bei den technischen Luftschadstoffmessungen werden teilweise steigende Werte beobachtet (z.B. beim Eigerplatz und beim Bollwerk, Abb. 2).

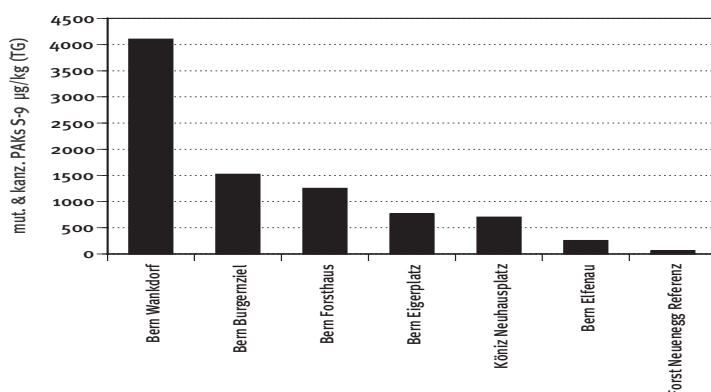


**Abb. 2:** Langzeitverhalten der Luftbelastung mit Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) von 1990 bis 2004. Am Messstandort Eigerplatz zeigt sich in den letzten Jahren ein steigender Trend der  $\text{NO}_2$  Belastung.

### Einzelstoffbelastung von Schwermetallen und PAKs in Flechten als Ergänzung

Im Rahmen der Erfolgskontrolluntersuchung von 2004 wurden in den Flechtenproben auch anorganische und organische Einzelschadstoffe wie Schwermetalle und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, sogenannte PAKs gemessen. Generell konnte in den letzten 14 Jahren dank der getroffenen Luftreinhaltmassnahmen die Belastung der Stadtluft durch gefährliche Schwermetalle wie Blei und Cadmium merkbar reduziert werden. Die Luftbelastung mit zahlreichen PAKs, welche z. T. eine kanzerogene und oder mutagene Wirkung auf den Menschen aufweisen, ist hingegen noch sehr verbesserungswürdig, zeigen sich doch unerwartet grosse standörtliche Unterschiede im Stadtgebiet. Hochfrequentierte Verkehrsstandorte mit häufigen Staulagen, wie etwa der Zubringer im Wankdorf-Schermenweg weisen eine um bis zu einem Faktor 16 höhere Summenbelastung an mutagenen und kanzerogenen PAKs auf als etwa das Naherholungsgebiet Elfenau (Abb. 3).

### Summenbelastung an mutagenen und kanzerogenen PAKs



**Abb. 3:** Summenbelastung von neun sowohl mutagenen wie auch kanzerogenen PAKs wie z.B. Benzo(a)pyren an ausgewählten Verkehrsstandorten und Naherholungsgebieten der Stadt Bern und in Köniz. Am Messstandort Bern Wankdorf zeigt sich infolge der intensiven Verkehrsbelastung eine hohe Belastung dieser unerwünschten Luftschadstoffe. Weit bessere Verhältnisse zeigen sich z.B. im Naherholungsgebiet Elfenau abseits von Verkehrsemissionen.

Allgemein ist bekannt, dass in städtischen Gebieten ein sehr grosser Anteil der PAKs auf den motorisierten Verkehr und ganz besonders auf Dieselfahrzeuge ohne Partikelfilter zurückgeführt werden kann. Weit bessere Emissionseigenschaften für diese gefährlichen partikelgebundenen PAKs weisen moderne gas- und benzinbetriebene Fahrzeuge mit Katalysatoren auf. Für weitere PAK-Einzelsubstanzen zeigten sich noch weit höhere Belastungsunterschiede von einem Faktor 40-90, für Indeno(1,2,3-cd)pyren sogar von einem Faktor 284. Diese Belastungsunterschiede zwischen sehr stark und gering belasteten Standorten übersteigen für PAKs diejenigen für Schwermetalle um ein Vielfaches und belegen die lufthygienische Bedeutung dieser unerwünschten Substanzen, welche mittels Partikelfiltern für Dieselmotoren deutlich reduziert werden könnten.

### Handlungsbedarf bleibt bestehen ...

Die weiträumige Verbesserung der Luftqualität in der Stadt Bern ist das sicht- und messbare Resultat eines ganzen Bündels von erfolgreichen Luftreinhaltmassnahmen von Bund, Kanton und Gemeinden. Dazu gehören beispielsweise die stufenweise Heizölentschwefelung, die Feuerungskontrolle und verbesserte Feuerungstechnik sowie die Substitution von Öl durch abgasärmere Gasfeuerungen. Aber auch die Einführung des bleifreien Benzins, der Katalysatorteknik und die Rea-

lisierung von Verkehrsberuhigungsmassnahmen haben einen entscheidenden Beitrag geleistet. Die VOC-Abgabe auf Lösungsmittel und Anwendungsverbote von besonders umweltschädlichen Stoffen (z.B. Cadmium, Quecksilber), die Umstellung auf schadstoffarme Produktionsverfahren in Industrie und Gewerbe und nicht zu vergessen die für Bern wichtige KVA-Sanierung haben sich ebenfalls sehr positiv ausgewirkt.

All diese Massnahmen haben auch in der Stadt Bern zu einer markanten nachweisbaren Verringerung der Gesamtimmissionsbelastung und damit zu einer verbesserten Luftqualität geführt, wie aus den aktuellen Flechtenuntersuchungen ersichtlich ist.

Bei allem Erreichten sollten die Erfolge dennoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass nur schon zur Bewahrung der momentanen Luftqualität und erst recht zur wünschbaren weiteren Verbesserung der Situation auch künftig ein deutlicher Handlungsbedarf besteht (siehe Kasten Massnahmenplan). Daher werden zusätzliche Anstrengungen in der Luftreinhaltung nötig sein.

### **Massnahmenplan zur Luftreinhaltung 2000/2015 des Kantons Bern**

Der Massnahmenplan zur Luftreinhaltung 2000/2015 des Kantons Bern zeigt auf, welche Massnahmen zusätzlich zu den auf Bundesebene getroffenen Massnahmen im Kanton Bern notwendig sind, damit die Ziele von Luftreinhaltung und Klimaschutz bis ins Jahr 2015 erreicht werden können. Es zeichnet sich aber bereits heute ab, dass zusätzliche Massnahmen notwendig sein werden, um diese Ziele zu erreichen.

Auch die Zentrumsgebiete mit einer kritischen oder starken Gesamtbelastung - gemäss der aktuellen Luftgütekarte der Stadt Bern - können mit einer weiterhin griffigen Luftreinhaltungspolitik zum Wohle der Bevölkerung durchaus weiter reduziert und hoffentlich zum Verschwinden gebracht werden. Dabei kommt der regionalen Verkehrspolitik eine zentrale Rolle zu. Zum Erreichen dieses Ziels «Saubere Luft für Alle» braucht es jedoch die Unterstützung von uns allen...

#### **NO<sub>2</sub> Stickstoffdioxid**

Unter dem Begriff Stickoxide werden Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) und Stickstoffmonoxid (NO) zusammengefasst. In der Luft wird NO rasch zu NO<sub>2</sub> umgewandelt, deshalb werden die Emissionen und Immissionen auf Stickstoffdioxid (NO<sub>2</sub>) bezogen angegeben.

##### **Herkunft und Entstehung**

- Beim Verbrennen von Brenn- und Treibstoffen, insbesondere bei hohen Verbrennungstemperaturen, bildet sich als Nebenprodukt NO (Stickstoffmonoxid). Dieses wird in der Luft rasch zu NO<sub>2</sub> oxidiert.

##### **Hauptquellen**

- Strassenverkehr, Heizungen

#### **PM<sub>10</sub> Schwebestaub**

Unter der Bezeichnung PM<sub>10</sub> versteht man Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner gleich 10 Mikrometer. Es handelt sich dabei um die sogenannten lungengängigen Partikel, klein genug um in die feinen Lungenbläschen hineinzugelangen. Deshalb gilt ihnen eine erhöhte Aufmerksamkeit. Staub ist ein physikalisch-chemisch komplexes Gemisch. Es besteht sowohl aus primär emittierten wie auch aus sekundär gebildeten Komponenten natürlichen und anthropogenen Ursprungs (z.B. Russ, geologisches Material, Abriebspartikel, biologisches Material wie Blütenstaub) und ist in seiner Zusammensetzung sehr vielfältig (Schwermetalle, Sulfat, Nitrat, Ammonium, organischer Kohlenstoff, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Dioxine/Furane u.a.).

##### **Herkunft und Entstehung**

- 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 und Feuerungen
- Industrie und Gewerbe
- Land- und Forstwirtschaft

**PAK Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe** entstehen bei unvollständiger Verbrennung. Sie werden auf Russpartikeln sitzend besonders von Dieselfahrzeugen ohne Partikelfilter emittiert. In der vorliegenden Biomonitringuntersuchung wurden 27 verschiedene PAK-Spezies quantitativ analysiert. Aus diesen Einzeldaten werden vier verschiedenen Summenparameter zur ganzheitlichen PAK-Belastung berechnet: PAK-Summe 27 (alle incl. neue Dibenzo-PAKs), PAK-Summe 20 (alle ohne neue Dibenzo-PAKs), Summe 14 (alle mutagenen PAKs), Summe 12 (alle kanzerogene PAKs), Summe 9 (alle mutagene und kanzerogene PAKs). Die Luftreinhaltung-Verordnung kennt bisher noch keine Limitierung für PAKs, währenddem die EU seit Anfang 2005 einen Richtwert (Immission) für Benzo(a)pyren von 1 ng/m<sup>3</sup> hat.