



Industrie Service

## Bericht

### über Immissions-Wirkungserhebungen mit dem Grünkohlverfahren in Graz und Leoben im Jahr 2004

Kompetenz.  
Sicherheit.  
Qualität.

**Auftraggeber:** Amt der Steiermärkischen Landesregierung  
Fachabteilung 17C  
Landhausgasse 7  
A-8011 Graz

Datum: 10.02.2005

Unsere Zeichen:  
IS-US2-FIL/Ma

Dokument:  
GrazBericht04.doc

Das Dokument besteht aus  
66 Seiten  
Seite 1

**Bestellzeichen, Datum:** FA17C 72.002-2/04-18 vom 13.04.2004

**Berichtumfang:** 49 Seiten  
3 Anlagen mit 6, 4 und 5 Seiten

**Bearbeitung:** Dipl.-Biologe W. Maier

**Projektnummer:** 459 717

**Aufgabenstellung:** Grünkohl-Biomonitoring für PAH, PCB und  
PCDD/F in Graz und Leoben im Jahr 2004



## Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Einführung und Aufgabenstellung</b> .....	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Untersuchungsprogramm</b> .....	<b>11</b>
3.1	Immissions-Wirkungserhebungen mit dem Grünkohlverfahren.....	11
3.2	Auswahl und Lage der Messpunkte.....	11
<b>4</b>	<b>Das Grünkohlverfahren</b> .....	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Beschreibung und Beurteilung der Ergebnisse</b> .....	<b>17</b>
5.1	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) und Benzo(a)pyren (BaP).....	17
5.1.1	Beurteilungskriterien.....	17
5.1.2	Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) und Benzo(a)pyren (BaP) in exponierten Grünkohlpflanzen.....	19
5.1.2.1	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH).....	19
5.1.2.2	Zeitliche Entwicklung der PAH-Gehalte seit 1997 .....	21
5.1.2.3	Benzo(a)pyren (BaP) .....	22
5.1.2.4	Zeitliche Entwicklung der BaP-Gehalte seit 1997 .....	23
5.1.3	Beitrag verschiedener Quellen zur PAH-Belastung .....	24
5.2	Polychlorierte Biphenyle („Klassische“ PCB) .....	28
5.2.1	Beurteilungskriterien.....	28
5.2.2	Gehalte an polychlorierten Biphenylen (PCB) in exponierten Grünkohlpflanzen.....	30
5.2.3	Zeitliche Entwicklung der PCB-Gehalte seit 1997 .....	32
5.3	Dioxine/Furane (PCDD/PCDF) und koplanare PCB .....	35
5.3.1	Beurteilungskriterien.....	35
5.3.2	Gehalte an Dioxinen/Furanen (PCDD/PDCF) in exponierten Grünkohlpflanzen .....	38
5.3.3	Zeitliche Entwicklung der PCDD/F-Gehalte seit 1997 .....	43
<b>6</b>	<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>45</b>

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1: Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) und Benzo(a)pyren (BaP) in exponierten Grünkohlpflanzen .....	7
Tabelle 2: Gehalte an polychlorierten Biphenylen (PCB) und Dioxinen/Furanen (PCDD/F) in exponierten Grünkohlpflanzen .....	9
Tabelle 3: Bezeichnung, Untersuchungsparameter und Lage der Messpunkte in Graz und Leoben 2002 .....	13
Tabelle 4: Beurteilungskriterien für Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) und Benzo(a)pyren (BaP) in exponierten Grünkohlpflanzen.....	17
Tabelle 5: PAH in exponierten Grünkohlpflanzen aus verschiedenen Gebieten Österreichs und der Bundesrepublik Deutschland (Konzentrationsangaben in µg/kg TS).....	18
Tabelle 6: Verhältniszahlen ausgewählter PAH als Maß für den Kfz-Einfluß in Graz im Jahr 2004.....	25
Tabelle 7: PCB-Gehalte („klassische PCB“) in exponierten Grünkohlpflanzen von Standorten unterschiedlicher Landnutzung bzw. im Einwirkungsbereich von Emittenten aus verschiedenen Gebieten Österreichs und der Bundesrepublik Deutschland (1989 - 2004) .....	29
Tabelle 8: Maximale Immissions-Dosis (MID) für einzelne polychlorierte Biphenyle (PCB) im Futter (bezogen auf 88 % Trockensubstanz) .....	30
Tabelle 9: Dioxin/Furangehalte in exponierten Grünkohlpflanzen sowie in Nahrungspflanzen von Standorten unterschiedlicher Landnutzung bzw. im Einwirkungsbereich von Emittenten aus verschiedenen Gebieten Österreichs und der Bundesrepublik Deutschland (1989 bis 2004).....	36
Tabelle 10: Gehalte von Dioxinen/Furanen und koplanaren PCB in verschiedenen pflanzlichen Matrices – Vergleich verschiedener Toxizitätsäquivalente sowie der Anteile von PCDD/F und koplanaren PCB am Gesamt-Toxizitätsäquivalent .....	37
Tabelle 11: Toxizitätsäquivalente in den exponierten Grünkohlpflanzen im Jahr 2004 .....	38

## **Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Grünkohlverfahren - Expositionseinrichtung mit Grünkohl (Brassica oleracea 'Arsis') zur Ermittlung der Anreicherung von PAH, PCDD/F und PCB am Mess punkt 4 in Leoben (Kindergarten).....	15
Abbildung 2: Open-Top-Kammer mit gefilterter, schadstofffreier Luft zur Ermittlung der verfahrensabhängigen, anzuchtbedingten Anreicherung von Schadstoffen „unbelasteter“ Grünkohl-Pflanzen .....	16
Abbildung 3: Zeitlicher Verlauf der PAH-Gehalte in exponierten Grünkohlpflanzen 1997-2004.....	21
Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf der BaP-Gehalte in exponierten Grünkohlpflanzen 1997-2004.....	23
Abbildung 5: Relative Anteile der PAH-Komponenten an den Gesamtgehalten 2004 .....	26
Abbildung 6: Prozentuale Abweichungen der PAH-Komponenten an den einzelnen Messpunkten vom Gesamt-Mittelwert .....	26
Abbildung 7: PCB-Profile der exponierten Grünkohlpflanzen - Untersuchungsjahr 2004 (Anteil der einzelnen PCB-Kongenere an der Summe der 6 PCB-Kongenere in Prozent).....	33
Abbildung 8: Zeitlicher Verlauf der PCB-Gehalte in exponierten Grünkohlpflanzen 1997-2004.....	34
Abbildung 9: Verteilung der Dioxin-/Furan-Homologensummen in den exponierten Grünkohl pflanzen im Untersuchungsjahr 2004.....	41
Abbildung 10: Verteilung der Dioxin-/Furan-Homologensummen in den exponierten Grünkohl pflanzen im Untersuchungsjahr 2004.....	42
Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf der PCDD/F-Gehalte in exponierten Grünkohlpflanzen 1997-2004 .....	43

## **Kartenverzeichnis**

Karte 1: Lage der Messpunkte für das Grünkohlverfahren

Karte 2: Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) und Benzo(a)pyren (BaP) in exponierten Grünkohlpflanzen im Jahr 2004

Karte 3: Gehalte an polychlorierten Biphenylen („Klassische PCB“) in exponierten Grünkohlpflanzen im Jahr 2004

Karte 4: Gehalte an Dioxinen /Furanen und koplanaren PCB in exponierten Grünkohlpflanzen im Jahr 2004

## **Anhang**

**Anhang 1: Stationsbeschreibungen**

**Anhang 2: Tabellen:**

Tab. A2- 1: Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) in exponierten Grünkohlpflanzen

Tab. A2- 2: Gehalte an polychlorierten Biphenylen (PCB) in exponierten Grünkohlpflanzen

Tab. A2-3: Gehalte an koplanaren polychlorierten Biphenylen (PCB) in exponierten Grünkohlpflanzen

Tab. A2-4: Gehalte an Dioxinen und Furanen (PCDD/F) in exponierten Grünkohl-Pflanzen

**Anhang 3: Analysenverfahren**

## 1 Zusammenfassung

Die TÜV Industrie Service GmbH TÜV SÜD Gruppe wurde mit Schreiben vom 13.04.2004 vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung beauftragt, im Jahr 2004 in Graz und Leoben Immissions-Wirkungserhebungen mit dem Grünkohlverfahren zur Ermittlung der Belastung der Luft mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH), polychlorierten Biphenylen (PCB) und Dioxinen/Furanen (PCDD/F) durchzuführen.

Die Immissions-Wirkungserhebungen mit dem Grünkohlverfahren wurden 2004 an 5 Messpunkten durchgeführt.

Mit dem Grünkohlverfahren - ein Verfahren des aktiven Biomonitorings - wird die Anreicherung von fettlöslichen organischen Luftschadstoffen erfasst. Die organischen Schadstoffe reichern sich in der ausgeprägten Wachsschicht der Grünkohlblätter an, wo sie mit chemisch-analytischen Methoden quantitativ nachgewiesen werden können.

Der Untersuchungsraum und die einzelnen Messpunkte für die Immissions-Wirkungserhebungen mit dem Grünkohlverfahren sowie der Umfang dieser Untersuchungen wurden in Abstimmung mit dem Auftraggeber festgelegt.

Zwei der 5 Messpunkte liegen im Stadtgebiet von Graz, drei in Leoben. Messpunkt 1 liegt im Süden von Graz und Messpunkt 3 im südöstlichen Kerngebiet der Landeshauptstadt. Die Messpunkte 4, 5 und 6 liegen in Leoben im Ortsteil Donawitz. Die Messpunkte 1, 3 und 4 wurden bereits im Jahr 1997 mit dem Grünkohlverfahren beprobt. Die Untersuchungen 1998, 2000, 2002 und 2004 umfassten alle 5 Messpunkte.

Messpunkt 1	Graz / Herrgottwiesgasse
Messpunkt 3	Graz / Don Bosco (Kreuzung Kärntner Straße / Peter-Rossegger-Straße / Harter Straße)
Messpunkt 4	Leoben-Donawitz / Kindergarten
Messpunkt 5	Leoben-Donawitz / Voest Süd
Messpunkt 6	Leoben-Donawitz / Voest West

An den 5 Messpunkten wurde die Belastung der exponierten Grünkohlpflanzen mit PAH, PCDD/F und PCB untersucht. In der Untersuchungsperiode 2004 wurden erstmals zusätzlich zu den sog. ‚klassischen‘ PCB die koplanaren PCB mit dioxinähnlicher Wirkung untersucht. Mit der Exposition der Grünkohlpflanzen in Graz und Leoben wurde am 28.09.2004 begonnen. Nach 8 Wochen (56 Tagen) wurde die Exposition am 23.11.2004 beendet und die exponierten Grünkohlpflanzen geerntet und im akkreditierten Labor für Umweltanalytik des TÜV Industrie Service GmbH analysiert.

Die in den exponierten Grünkohlpflanzen ermittelten Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) und Benzo(a)pyren (BaP) sowie an polychlorierten Biphenylen (PCB) und Dioxinen/Furanen (PCDD/PCDF) werden in Tabelle 1 und Tabelle 2 zusammengefasst und bewertet.

### Gehalte an PAH und BaP in exponierten Grünkohlpflanzen:

Die in den exponierten Grünkohlpflanzen ermittelten Anreicherungen an Gesamt-PAH sowie der kanzerogenen Leitkomponente Benzo(a)pyren (BaP) ist an den 5 Messpunkten auf den Einfluss von Immissionen zurückzuführen (Tabelle 1).

Tabelle 1: Gehalte an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) und Benzo(a)pyren (BaP) in exponierten Grünkohlpflanzen

2004 Grünkohl-Verfahren	Kontrollpflanzen (Open-Top-Kammer) <sup>1)</sup>	Mittelwert von 5 Messpunkten in Graz und Leoben	Schwankungsbereich aller 5 Messpunkte	Immissionseinfluss an Messpunkt Nr.	Wirkungsniveau
Schadstoff	µg/kg Trockensubstanz				
PAH-Summe	184	914	496 – 1.385	an allen Messpunkten	niedrig bis mittel
BaP	1,0	7,0	2,3 – 13,8	an allen Messpunkten	niedrig

1) Kontrollpflanzen aus der Open-Top-Kammer mit gefilterter, schadstofffreier Luft

Für das Messgebiet in Graz und Leoben ergibt sich im Jahr 2004 hinsichtlich der **Gesamt-PAH-Anreicherung** in exponierten Grünkohlpflanzen an den Messpunkten 4 (Leoben-Donawitz / Kindergarten), 5 (Leoben-Donawitz / Voest Süd) und 6 (Leoben-Doanwitz / Voest West) ein „**niedriges**“ **Wirkungsniveau** im Bereich der für ländlich geprägte Gebiete typischen Anreicherungen. An den Messpunkten 1 (Graz / Herrgottwiesgasse) und 3 (Graz / Don Bosco) ist ein „**mittleres**“ **Wirkungsniveau** festzustellen. Die Anreicherungsraten entsprechen der typischen Situation in Stadtrandgebieten bzw. Stadtzentren.

Hinsichtlich **Anreicherung von Benzo(a)pyren (BaP)** ergibt sich für das Messgebiet in Graz und Leoben in den exponierten Grünkohlpflanzen an allen 5 Messpunkten ein „**niedriges**“ **Wirkungsniveau**, wobei die beiden Messpunkte im Stadtgebiet von Graz insgesamt etwas höhere Werte als die Messpunkte in Leoben-Donawitz aufweisen. Die BaP-Gehalte sind typisch für ländliche Gebiete und Stadtrandgebiete bzw. städtische Gebiete.

Eine Analyse der Zusammensetzung der PAH-Komponenten ergibt, dass

- an den Messpunkten 1 (Graz / Herrgottswiesgasse), 3 (Graz / Don Bosco) und 4 (Leoben-Donawitz / Kindergarten) eine Belastung durch ein urbanes, vom Kfz-Verkehr geprägtes Umfeld vorliegt,
- an den Messpunkten 5 (Leoben-Donawitz / Voest Süd) und 6 (Leoben-Donawitz / Voest West) weitere Quellen für die festgestellte PAH-Belastung in Betracht zu ziehen sind.

Hinsichtlich der zeitlichen Entwicklung ist - abgesehen von Einzelereignissen - an den meisten Messpunkten von einem eher gleich bleibenden Trend sowohl für die Anreicherung der Gesamt-PAH als auch für die Leitkomponente BaP auszugehen.

### **Gehalte an ‚klassischen‘ PCB in exponierten Grünkohlpflanzen:**

Die Anreicherung von ‚klassischen‘ PCB in den exponierten Grünkohlpflanzen ist an den Messpunkten 3 (Graz – Don Bosco) und 5 (Leoben-Donawitz / Voest Süd) als immissionsbedingt einzustufen. Die anderen Messpunkte weisen lediglich Werte im Bereich der Kontrollpflanzen auf.

Der Prüfwert der Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung (LÖLF, 1992) Nordrhein-Westfalen wird an allen Messpunkten unterschritten. Die Richt- bzw. MID-Werte der VDI-Richtlinie 2310, Blatt 32, für den PCB-Gehalt im Futter von landwirtschaftlichen Nutztieren werden nicht erreicht.

Mit Ausnahme von Messpunkt 5 (Leoben-Donawitz / Voest Süd) weisen alle Messpunkte sehr ähnliche Profile der ‚klassischen‘ PCB auf. Hinsichtlich des zeitlichen Entwicklungstrends ist festzustellen, dass alle Messpunkte seit dem Untersuchungsjahr 2000 abnehmende Werte aufweisen, die in der Tendenz auf eine rückläufige Belastungssituation hinweisen.

### **Gehalte an Dioxinen/Furanen und koplanaren PCB in exponierten Grünkohlpflanzen:**

Die Anreicherung von PCDD/F und koplanaren PCB – ausgedrückt als Gesamtoxizitätsäquivalent nach WHO - kann an allen Messpunkten als immissionsbedingt angesehen werden. Entgegen dem Trend der Vorjahre liegen die Anreicherungen an allen 5 Messpunkten in einem sehr engen Bereich und auf einem insgesamt relativ niedrigen Niveau. Sie liegen deutlich unter Vergleichswerten aus Ballungsräumen. Der von der EU empfohlene Auslösewert für Gemüse von 0,4 ng WHO-TE (PCDD/F) / kg Erzeugnis wird von den auf das Frischgewicht umgerechneten Anreicherungswerten deutlich unterschritten.

Die beiden Messpunkte im Stadtbereich von Graz weisen ähnliche PCDD/F-Homologenprofile mit einem ubiquitär verbreiteten Muster auf, das typisch für Ballungsräume ist. Die beiden Messpunkte 5 (Leoben-Donawitz / Voest Süd) und 6 (Leoben-Donawitz / Voest West) weisen ebenfalls sehr ähnliche Profile auf, die auf eine spezifische Emissionsquelle hindeuten.



Tabelle 2: Gehalte an polychlorierten Biphenylen (PCB) und Dioxinen/Furanen (PCDD/F) in exponierten Grünkohlpflanzen

2004 Grünkohl-Verfahren Schadstoff	Kontrollpflanzen (Open-Top-Kammer) *	Mittelwert von 5 Messpunkten	Schwankungsbereich aller 5 Messpunkte	Immissionseinfluss
	µg/kg Trockensubstanz			
<b>„klassische“ PCB</b>	1,5	2,2	1,7 – 3,2	<b>an den Messpunkten 3 und 5</b>
	Ng WHO-TE/kg Trockensubstanz			
<b>Dioxine/Furane und koplanare PCB</b>	0,14	1,08	0,87 – 1,38	<b>alle Messpunkte</b>

\* Kontrollpflanzen aus der Open-Top-Kammer mit gefilterter, schadstofffreier Luft

Die bei den PCDD/F festgestellte Gruppierung der Messpunkte findet sich auch bei den PCB-Homologenverteilungen. Große Ähnlichkeiten bestehen bei den Profilen der beiden Messpunkte im Stadtgebiet von Graz sowie der beiden Messpunkte 5 und 6 in Leoben. Der Messpunkt 4 (Leoben-Donawitz / Kindergarten) nimmt eine Zwischenstellung ein und deutet damit auf Einflüsse sowohl einer urban geprägten und als auch einer durch eine spezifische Quelle geprägten Belastungssituation hin.

Die zeitliche Entwicklung der PCDD/F-Belastungssituation weist auf einen weitgehend gleich bleibenden Trend an den beiden Messpunkten im Stadtgebiet von Graz hin. Insbesondere der Messpunkt 6 (Leoben-Donawitz / Voest West) weist im zeitlichen Verlauf eine Besonderheit auf: Hier wurde im Jahr 2002 einen Spitzenwert von ca. 9 ng ITE/kg TS erreicht. Abgesehen von den an diesem Messpunkt in den Jahren 2000 und 2002 extrem erhöhten Werte, weisen die 3 Messpunkte in Leoben insgesamt ein etwas höheres Belastungsniveau als die Messpunkte in Graz auf. Die im Jahr 2004 ermittelten PCDD/F-Gehalte stellen an allen 3 Messpunkten in Leoben die bisher niedrigsten Werte dar und deuten damit möglicherweise einen abnehmenden Trend an.



Industrie Service

## 2 Einführung und Aufgabenstellung

Die TÜV Industrie Service GmbH TÜV SÜD Gruppe wurde mit Schreiben vom 13.04.2004 vom Amt der Steiermärkischen Landesregierung beauftragt, im Jahr 2004 in Graz und Leoben Immissions-Wirkungserhebungen mit dem Grünkohlverfahren zur Ermittlung der Belastung der Luft mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH), polychlorierten Biphenylen (PCB) und Dioxinen/Furanen (PCDD/F) durchzuführen.

Immissions-Wirkungserhebungen mit dem Grünkohlverfahren zur Ermittlung der Belastung mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH), polychlorierten Biphenylen (PCB) und Dioxinen/Furanen (PCDD/PCDF) wurden erstmalig im Jahr 1997 an 4 Messpunkten in Graz und Leoben durchgeführt. Der Untersuchungsumfang in den Jahren 1998, 2000, 2002 und 2004 umfasste insgesamt 5 Messpunkte, davon 2 im Stadtgebiet von Graz und 3 in Leoben.

In der praktischen Luftreinhaltung liefern Immissions-Wirkungserhebungen mit pflanzlichen Bioindikatoren wichtige ergänzende Informationen zu vorhandenen Emissions- und Immissionsdaten.

Hierbei wird mittels pflanzlicher Bioindikatoren, also lebender Organismen, die Wirkung oder Anreicherung von Luftschadstoffen dokumentiert. **Bioindikatoren** sind Organismen, die auf Schadstoffbelastungen reagieren. Die Schadstoffwirkungen äußern sich dabei prinzipiell als

- |                     |   |  |
|---------------------|---|--|
| <b>Reaktion</b>     | = | erkennbare Schädigung, die entsprechend der Empfindlichkeit des Indikators, der Schadstoffkonzentration und Einwirkungsdauer abgestuft ist und   |
| <b>Akkumulation</b> | = | analysierbare Anreicherung von mittelbar schädlichen Stoffen im Gewebe, die der Pflanze zwar nicht schaden, aber für Tiere oder Menschen, denen die Pflanze zur Nahrung dient, giftig wirken können. |

Aus der Umwelt gelangen die Schadstoffe über die Pfade Atemluft, Nahrung und Trinkwasser zum Menschen. In der Nahrungskette des Menschen sind Pflanzen ein zentrales Glied, da sie als Nahrungspflanzen vom Menschen direkt verzehrt werden und als Futterpflanzen Eingang in tierische Nahrungsmittel finden. Neben dem direkten Schadstoffeintrag aus der Luft in oberirdische Pflanzenorgane können im Boden angereicherte Schadstoffe über die Wurzeln in Nahrungs- und Futterpflanzen aufgenommen werden und auf diesem Pfad die Nahrungskette und damit letztlich die Gesundheit des Menschen belasten.

Mit dem **Grünkohlverfahren** - einem Verfahren des aktiven Biomonitorings - wird vor allem die Anreicherung von fettlöslichen, organischen Luftschadstoffen erfaßt. Die organischen Schadstoffe reichern sich in der ausgeprägten Wachsschicht der Grünkohlblätter an, wo sie mit chemisch-analytischen Methoden quantitativ nachgewiesen werden können.

### **3 Untersuchungsprogramm**

#### **3.1 Immissions-Wirkungserhebungen mit dem Grünkohlverfahren**

Grünkohl wurde 1971 erstmalig von Hettche (1971) im Ruhrgebiet und später von Steubing et al. (1983) im Großraum Frankfurt zur Ermittlung der Belastung der Luft mit polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) eingesetzt. Seit 1983 wird das Grünkohlverfahren vom TÜV Süddeutschland in der Luftreinhaltepraxis routinemäßig zur Dokumentation der Vorbelastung der Luft in der Umgebung von Anlagenstandorten sowie in industriellen Ballungsräumen angewendet (Nobel et al., 1992a und 1992b).

Die organischen Schadstoffe reichern sich in der ausgeprägten Wachsschicht der Grünkohlblätter an, wo sie mit chemisch-analytischen Methoden quantitativ nachgewiesen werden können. Dabei gilt für die Stoffgruppe der PAH, PCB und PCDD/F, dass das Bodensubstrat und der Aufnahmeweg über die Wurzeln für die Gehalte der oberirdischen Pflanzenteile von untergeordneter Bedeutung sind (Grimmer und Düvel, 1970; Tiefenbacher et al., 1983; Fritz, 1983; Crößmann, 1990; Hembrock-Heger und König, 1990; Krause, 1992; Hülster und Marschner, 1993). Mit der Exposition von Grünkohl wird somit die immissionsbedingte Anreicherung dieser organischen Stoffe über den Luftpfad ermittelt (Prinz et al., 1990; Nobel et al., 1993).

#### **3.2 Auswahl und Lage der Messpunkte**

Im Jahr 1997 wurde mit den Immissions-Wirkungserhebungen mit dem Grünkohlverfahren an 4 Messpunkten begonnen. Ab dem Jahr 1998 erfolgten die Untersuchungen in zweijährigem Rhythmus an insgesamt 5 Messpunkten, davon 2 im Stadtgebiet von Graz und 3 in Leoben. Die Lage der Messpunkte wurde in Abstimmung mit dem Auftraggeber festgelegt. Im Jahr 2004 wurde die Lage des Messpunktes 1 (Graz / Herrgottwiesgasse) um ca. 200 m nach Süden verlegt.

Die Lage der Messpunkte und die jeweilige Bezeichnung sind Tabelle 3 und Karte 1 zu entnehmen. Die genaue Lage sowie eine detaillierte Beschreibung der einzelnen Messpunkte, mit Bemerkungen über potentielle Emittenten in der Umgebung des Messpunktes, ist den Stationsbeschreibungen in Anhang 1 zu entnehmen.



Karte 1: Lage der Messpunkte für das Grünkohlverfahren

Tabelle 3: Bezeichnung, Untersuchungsparameter und Lage der Messpunkte in Graz und Leoben 2002

Meßpunkt	Bezeichnung	BMN - Koordinaten	
		Rechtswert	Hochwert
1	Graz / Herrgottwiesgasse	681 650	211 770
3	Graz / Don Bosco	680 450	213 380
4	Leoben-Donawitz / Kindergarten	654 913	249 266
5	Leoben-Donawitz / Voest Süd	653 734	249 839
6	Leoben-Donawitz / Voest West	653 325	250 150

BMN = Österreichisches Bundesmeldenetz

An den 5 Messpunkten wird die Belastung der exponierten Grünkohlpflanzen mit PAH, PCDD/F und PCB untersucht. In der Untersuchungsperiode 2004 wurden erstmals zusätzlich zu den sog. ‚klassischen‘ PCB die koplanaren PCB mit dioxinähnlicher Wirkung untersucht.

## 4 Das Grünkohlverfahren

Das Grünkohlverfahren wurde vom TÜV Süddeutschland im Routineeinsatz weiterentwickelt und optimiert. Eine entsprechende VDI-Richtlinie wurde im Dezember 2000 herausgegeben. Die Anzucht und Exposition der Grünkohlpflanzen erfolgt entsprechend der nachfolgend beschriebenen Methode:

Die Anzucht der Grünkohlpflanzen (*Brassica oleracea* 'Arsis') wurde im Gewächshaus des TÜV Süddeutschland in Nürtingen entsprechend den Vorgaben der VDI-Richtlinie 3957, Blatt 3, durchgeführt. Die Aussaat erfolgte in Pikierschalen mit Einheitserde ED 73, die mit Flusssand im Verhältnis 1:8 gemischt wurde. Zwei Wochen nach der Aussaat wurden die Pflanzen pikiert und nach weiteren zwei Wochen mit dem oben genannten Pflanzensubstrat in PE-Töpfe (d = 10 - 12 cm, 1 Pflanze je Topf) umgesetzt, in die 2 Saugdochte aus Glasfaser zur späteren Wasserversorgung eingezogen sind. Nach ca. 8 Wochen im Gewächshaus - um die Pflanzen weitgehend vor Immissionen zu schützen - wurden die Pflanzen eine Woche vor der Exposition in d = 25 cm große Pflanztöpfe umgetopft und ins Freiland zur Akklimatisation gebracht. Um die Pflanzen bei ungünstigen Windverhältnissen am Standort vor dem Abknicken zu schützen, wurden sie kurz vor der Exposition jeweils an 2 in die Topferde gesteckte Bambusstäbe festgebunden. Die Anzuchtdauer bis zur Exposition betrug insgesamt ca. 10 Wochen.

Die Exposition der Grünkohlpflanzen erfolgte mittels einer speziellen Expositionsvorrichtung, die aus verzinktem Standrohr, Metallhalterung und Wasservorrats- bzw. Expositionsbehälter besteht (siehe Abbildung 1). Der zylinderförmige Behälter dient dabei zur Aufnahme der Grünkohltopfe, wobei die Topfoberkante aus dem Rand des Expositionsbehälters aufsitzt und die Saugdochte des Topfes ins Innere ragen. Die Expositionshöhe betrug ca. 1,5 m zwischen der Geländeoberfläche und der Gefäßoberkante. Pro Messpunkt wurden 5 Grünkohltopfe exponiert.

Als Kontrollwerte, die die verfahrensabhängigen, anzuchtbedingten Schadstoff-Anreicherungen in Grünkohlpflanzen charakterisieren, werden Analysenwerte von Grünkohl-Pflanzen herangezogen, die zeitgleich zu den im Untersuchungsraum exponierten Grünkohlpflanzen in einer Open-Top-Kammer (Testkammer) in gefilterter, schadstofffreier Luft gehalten wurden (siehe Abbildung 2).

Für die Beurteilung der Gehalte an PAH, Dioxinen/Furanen und PCB in den exponierten Grünkohlpflanzen werden die Gehalte der Grünkohl-Kontrollpflanzen herangezogen. Überschreiten die in den exponierten Grünkohlpflanzen ermittelten Gehalte die Werte in den Kontrollpflanzen, sind diese Anreicherungen als immissionsbedingt einzustufen.

Da Grünkohlpflanzen eine relativ hohe Frostresistenz aufweisen, können sie am Jahresende ausgebracht werden. Damit lässt sich ein Teil der Belastung der exponierten Grünkohlpflanzen mit PAH, PCB und PCDD/PCDF durch die im Herbst einsetzende Heizperiode miterfassen.



Abbildung 1: Grünkohlverfahren - Expositionseinrichtung mit Grünkohl (*Brassica oleracea* 'Arsis') zur Ermittlung der Anreicherung von PAH, PCDD/F und PCB am Messpunkt 4 in Leoben (Kindergarten)

Mit der Exposition der Grünkohlpflanzen an den 5 Messpunkten in Graz und Leoben wurde am 28.09.2004 begonnen. Nach 8 Wochen (56 Tagen) wurde die Exposition am 23.11.2004 beendet und die exponierten Grünkohlpflanzen geerntet.

Bei einem 8-wöchigen Messintervall von Anfang Oktober bis Ende November erhält man pro Messpunkt einen Analysenwert, der die gesamte Belastungssituation der Luft während der Expositionszeit integriert.

Die Vorgehensweise bei der Aufbereitung und Analyse der Grünkohlpflanzen ist in Anhang 3 beschrieben.