

**VORPROJEKT FÜR EIN MESSPROGRAMM ZUR  
ERMITTLUNG DER EMISSIONSFAKTOREN FÜR  
DIE SCHADSTOFFE SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, ORG-C  
UND STAUB BEI FEUERUNGSANLAGEN  
FÜR FESTE BRENNSTOFFE IM  
PRAKTISCHEN BETRIEB**



**VORPROJEKT FÜR EIN  
MESSPROGRAMM ZUR ERMITTLUNG  
DER EMISSIONSFAKTOREN FÜR DIE  
SCHADSTOFFE SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, ORG-C  
UND STAUB BEI FEUERUNGSANLAGEN  
FÜR FESTE BRENNSTOFFE IM  
PRAKTISCHEN BETRIEB**

UBA-BE-038

Wien, August 1995

Bundesministerium für Umwelt



**Projektleitung:** Erich Grösslinger (Umweltbundesamt)

**Autoren:** Stiglbrunner R.  
Golja F.  
Gölles J.  
Spitzer J.  
(Joanneum Research)

**Impressum:**

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt, 1090 Wien, Spittelauer Lände 5

© Umweltbundesamt, Wien, August 1995

Alle Rechte vorbehalten  
ISBN 3-85457-255-7

## 1 EINLEITUNG

Vom Umweltbundesamt (UBA) wird das Projekt "Bestimmung der Emissionsfaktoren von Feuerungsanlagen kleiner und mittlerer Leistungsklassen für die Brennstoffe Heizöl leicht und extraleicht, Erdgas, Kohle und Holz für Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), Stickoxide (NO<sub>x</sub>), Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>) und Staub auf Basis der Ergebnisse von Feldemissionsmessungen" vorbereitet.

Ziel dieses Projektes ist die Ermittlung von aktuellen, realitätsnahen und repräsentativen Emissionsfaktoren für die oben angeführten Schadstoffe, Feuerungsanlagen und Energieträger.

Für die Ermittlung dieser Emissionsfaktoren ist es notwendig, Feldemissionsmessungen an Feuerungsanlagen im praktischen Betrieb durchzuführen.

Für die flüssigen (Heizöl leicht und extraleicht) und gasförmigen (Erdgas) Energieträger werden Messungen an jeweils ca. je 500 Feuerungsanlagen herangezogen, welche im Auftrag der ÖMV AG und des ÖVGW durchgeführt wurden bzw. werden. Für die festen Brennstoffe (Holz und Kohle) liegen derzeit nur Ergebnisse aus Literaturlauswertungen von Prüfstandsmessungen und vereinzelt Meßergebnisse an Feuerungsanlagen im praktischen Betrieb vor, welche die Ermittlung realitätsnaher und repräsentativer Emissionsfaktoren nicht nur mit großen Ungenauigkeiten ermöglichen.

Die Kenntnis der Emissionsfaktoren ist erforderlich für die

- Berechnung der gesamtösterreichischen Emissionsmengen aus Feuerungsanlagen im privaten Sektor (Kleinverbraucher)
- Erstellung und Fortschreibung von Emissionskatastern mit unterschiedlichem Detaillierungsgrad (bundes- oder landesweit bzw. regional abgegrenzte Gebiete) zur
- Beurteilung von umwelt- und energiepolitischen Maßnahmen insbesondere in stark belasteten Gebieten
- Durchführung von regionalen Energie- und Umweltplanungen.

Weiters sind aufgrund der Feldmessungen Erkenntnisse in Hinblick auf den

- Stand der Technik der in praktischen Betrieb befindlichen Feuerungsanlagen sowie auf den

- Forschungs- und Entwicklungsbedarf bezüglich Anlagentechnik und Betrieb der Feuerungsanlagen ableitbar und ein
- Vergleich von Prüfstands- mit Feldmessungen möglich.

Dieser Bericht, in dem die praktische Durchführung eines Meßprogrammes zur Ermittlung von repräsentativen Emissionsfaktoren für Festbrennstofffeuerungsanlagen untersucht wird, ist in folgende Abschnitte gegliedert:

#### Statistikkonzept

Aufbauend auf einer Systemanalyse wird ein geeignetes Stichprobenmodell erstellt. Daraus wird in Abhängigkeit von der gewünschten Genauigkeit (Vertrauensbereich) der Emissionsfaktoren die Anzahl der zu messenden Feuerungsanlagen (erforderlicher Stichprobenumfang) ermittelt und mögliche Zugänge zu den Feuerungsanlagen untersucht. Als Datenbasis werden die "Häuser- und Wohnungszählung 1991" (HWZ91) \*) verwendet.

#### Meßkonzept

Da bei Festbrennstofffeuerungen praktisch keine stationären Zustände auftreten, sind die Meßaufwendungen viel höher als jene für flüssige und gasförmige Brennstoffe. Entsprechende Konzepte betreffend die Meßverfahren, die zu erfassenden Meßgrößen, die Meßstelle, die Meßwerterfassung, die praktische Durchführung der Messungen, die zu erhebenden sonstigen Daten und die Dokumentation der Meß- und Erhebungsergebnisse werden erstellt.

#### Auswertekonzept

Es wird die Vorgangsweise zur Ermittlung der repräsentativen Emissionsfaktoren aus den Meß- und Erhebungsergebnissen dargestellt.

#### Durchführungskonzept

In diesem Kapitel wird eine mögliche Projektstruktur und die Abwicklung des Projektes dargestellt sowie eine Aufwands- und Kostenabschätzung durchgeführt.

\*) Beiträge zur Österreichische Statistik, Herausgegeben vom Österreichischen Statistischen Zentralamt 1.040/10. HEFT; Wien 1993

2 STATISTIKKONZEPT

Problemstellung und Lösungsablauf

Zur Ermittlung von repräsentativen Emissionsfaktoren ist ein Stichprobenplan mit Durchführungskonzept zu entwickeln. Diese Emissionsfaktoren können u.a. zur Berechnung der gesamtösterreichischen Emissionsmengen verwendet werden. Hierfür gilt folgende Beziehung:

$$\text{Emissionsmenge (kg/a)} = \text{Emissionsfaktor (kg/MJ)} \times \text{Endenergiemenge (MJ/a)}$$

Die Endenergiemengen für die gesamtösterreichische Betrachtung sind der "Österreichischen Energiebilanz" und dem "Energieverbrauch der Haushalte im Jahre 1988, Ergebnisse des Mikrozensus 1989" (MZ89) \*) des ÖSTAT zu entnehmen. Aufgrund der dort vorgegebenen Datenstruktur ergeben sich folgende 6 Gruppen, für welche die Emissionsfaktoren zu ermitteln sind:



Tabelle 2.1 zeigt die Verteilung der Anlagen und Endenergiemengen auf diese Gruppen.

Tabelle 2.1: Verteilung der Festbrennstoffeuerungsanlagen und Endenergiemengen in Österreich (Quelle: ÖSTAT-MZ89)

Brennstoff - Anlage	Beheizte Wohnungen (in 1.000)	Endenergie pro Jahr (PJ/a)
<b>Holz</b>		
- Einzelofen	468	27,1
- Etagenheizung	124	9,2
- Zentralheizung	436	33,7
<b>Kohle</b>		
- Einzelofen	335	8,9
- Etagenheizung	80	4,5
- Zentralheizung	272	18,6

\*) Beiträge zur Österreichische Statistik, Herausgegeben vom Österreichischen Statistischen Zentralamt 1.016. HEFT; Wien 1991

Pro Gruppe sind jeweils fünf Emissionsfaktoren für die Schadstoffe SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, org-C und Staub zu ermitteln. Diese sollen für ganz Österreich repräsentativ sein (d.h. Zielpopulation: Gesamtösterreich). Um zur Zielgröße "mittlerer Emissionsfaktor für eine Gruppe" zu gelangen, müssen die Emissionsfaktoren der zugehörigen Einzelanlagen gewichtet werden. Da nicht die Anzahl der Feuerungsanlagen das entscheidende Kriterium für die Berechnung der Emissionsmengen ist, sondern die eingesetzten Brennstoffmengen (Endenergieeinsatz) ausschlaggebend sind, stellen diese auch den Gewichtungsfaktor dar. Das heißt, als Ergebnis erhält man einen mittleren, nach Energiemengen gewichteten Emissionsfaktor mit zugehöriger Verteilung pro Schadstoff und Gruppe.

Im Sinne der allgemeinen Vorgangsweise bei einer statistischen Problemlösung sind folgende Arbeitsschritte notwendig:

- Systemanalyse zur Strukturierung des Problemumfeldes. Diese beinhaltet die Elemente:
  - Festlegung der Untersuchungsmerkmale und Merkmalsskalierung
  - Messung und Meßgenauigkeit
  - Abgrenzung der Population (eventuelle Schichtung in homogene Subpopulationen)
  - Einflußgrößenermittlung bezüglich der Untersuchungsmerkmale. Gliederung derselben in plan- und nicht planbare Einflußgrößen
  - Störgrößenermittlung
  - Grobabschätzung der Verteilungen der Schadstoffemissionen aus Literatur und Erfahrungswerten
  - Datenzugang
- Stichprobenmodellbildung mit Stichprobenumfangbestimmung
- Durchführungskonzept zur Auswahl der Feuerungsanlagen
- Statistische Datenanalyse (siehe Kapitel Auswertekonzept)

### Erkenntnisse aus der Systemanalyse

#### *Einflußfaktoren auf das Emissionsverhalten*

Sehr starken Einfluß auf die Schadstoffemissionen haben die Faktoren Benutzerverhalten und Brennstoff (bei Holz hier vor allem die Feuchtigkeit). Die

Emission von  $\text{SO}_2$  hängt direkt von der Brennstoffzusammensetzung ab (Schwefelgehalt in der Kohle). Hohe Emissionen an CO und org-C entstehen bei schlechter Verbrennung. Schlechte Verbrennung kann vor allem durch falsche Bedienung (Benutzerverhalten), schlechten Zustand der Feuerungsanlage und ungeeigneten Brennstoff verursacht werden. Die Höhe der  $\text{NO}_x$ -Emissionen hängt hauptsächlich vom Stickstoffgehalt des Brennstoffes ab. Die Staubemission ist vorwiegend von der Bauart der Feuerung und des Kamins, möglicherweise auch vom Benutzerverhalten abhängig.

Die große Anzahl unterschiedlicher Feuerungsanlagen, Bedienungsmöglichkeiten und verschiedenartiger Brennstoffe führt zu einer sehr großen Variabilität der zu untersuchenden Schadstoffemissionen. In Tabelle 2.2 sind die wichtigsten Einflußfaktoren auf das Emissionsverhalten zusammengefaßt. Die Betrachtung dieser Größen ist für die statistische Modellbildung erforderlich.

Tabelle 2.2: Wichtige Einflußfaktoren auf das Emissionsverhalten von

## Feuerungsanlagen

Einflußfaktoren	Einfluß	Bemerkungen
Benutzerverhalten bezüglich Heizungsbetrieb	sehr groß	Elemente des Benutzerverhaltens: - Luftzufuhr (zuviel, zuwenig) - Brennstoffzufuhr (oft, aber wenig; selten, aber viel) - Wartung der Heizung - Anheizvorgang (oben, unten)
Brennstoffart und -qualität	sehr groß	Stückigkeit, Wassergehalt
Art der Heizanlage - Gruppen: Einzelöfen, Etagen- und Zentralheizung  - Typ innerhalb der Einzelöfen: Kachelöfen, Allesbrenner, etc	groß	Die Emissionen von Einzelöfen und Etagenheizungen sind in der Regel höher als bei Zentralheizungen.  Ein guter Kachelofen hat vermutlich geringere Emissionen als ein guter Allesbrenner.
Alter der Heizanlage	groß	
Zustand der Heizanlage	groß	Schamott, "Sauberkeit"
Wetter	mittel	Tiefdruck/Hochdruck; Außentemperatur...
Kaminbauart	mittel	Einschalig, Mehrschalig,...
Kaminzug	mittel	Dimensionierung
Kaminzustand	mittel	"Sauberkeit"

*Abschätzung der zu erwartenden Emissionsfaktorenverteilung*

Tabelle 2.3 zeigt eine grobe Abschätzung der Verteilungen der zu erwartenden Emissionsfaktoren. Diese Abschätzungen dienen u. a. zur Ermittlung des Stichprobenumfanges.

Tabelle 2.3: Abschätzung der zu erwartenden Emissionsfaktoren in mg/MJ über einen Meßzyklus

Schadstoff	Holz			Kohle		
	von	bis	häufigste Werte	von	bis	häufigste Werte
SO <sub>2</sub>	10	50	Mitte	200	500	unten
CO	100	10.000	oben	wie Holz		
NO <sub>x</sub>	20	300	unten	wie Holz		
org-C	30	3.000	oben	wie Holz		
Staub	20	300	Mitte	wie Holz		

*Sampling - Auswahlbasis*

In der HWZ91 ist die "überwiegende Art der Heizung" (u.a. Einzelofen, Etagenheizung, Zentralheizung) und der "überwiegend verwendete Brennstoff" erfaßt. Diese Daten sind bis zur Wahlsprengelenebene über Datenbank zugänglich. Das heißt, man weiß wieviele Anlagen in einem Wahlsprengel den 6 Gruppen zuzuordnen sind. Die Informationsbeschaffung über Einzelofen und Etagenheizung erfolgt über das "Wohnungsblatt", jene über die Zentralheizung über das "Gebäudeblatt", denn nur hier ist für die Zentralheizung der vorwiegend verwendete Brennstoff angegeben.

Modellbildung

Die Schadstoffe CO und die org-C dienen für die Ermittlung des Stichprobenmodells als "Leitmerkmale", da sie von der Bedeutung her die wichtigsten Schadstoffe sind und weiters auch die größte Variabilität aufweisen. Die übrigen Schadstoffe, die eine

geringere Variabilität aufweisen und von den angeführten Einflußgrößen nicht so stark beeinflusst werden, sind in den Modellansätzen indirekt integriert. Das heißt, wenn das Modell dem Schadstoff CO angepaßt ist, so gilt dies auch für die übrigen Schadstoffe (kleinere Variabilität in der Population bringt Genauigkeitsgewinn bei gleichen Stichprobenumfang). Im folgenden werden ein "Idealmodell" und ein "realistisches Modell" vorgestellt.

### *"Idealmodell"*

Das ideale Stichprobenmodell ist ein geschichtetes, mehrstufiges Auswahlverfahren. Kriterien zur Bildung homogener Subschichten innerhalb einer Gruppe sind die wichtigsten Einflüsse auf die Emissionsfaktoren (siehe Tabelle 2.2). Durch die Zerlegung einer heterogenen Population (wie im vorliegendem Fall) in homogene Schichten kann ein Genauigkeitsgewinn oder bei vorgegebener Schätzgenauigkeit eine wesentliche Verringerung des Stichprobenumfangs erzielt werden. Die große Anzahl von Einflußfaktoren erfordert allerdings, um tatsächlich diesen Effekt zu erreichen, auch eine sehr große Anzahl von Schichten.

In Tabelle 2.4 ist eine Gliederung nach möglichen Schichtkriterien, die sich nach den Einflußfaktoren richten, dargestellt. In Klammer ist jeweils die Anzahl der Einstufungslevel innerhalb des angeführten Merkmals angegeben. Die in der Tabelle angegebenen Einflußfaktoren sind sicher nicht vollständig sondern dienen lediglich der Veranschaulichung der Komplexität der Problemstellung:

- Alter (2): alt oder neu
- Leistung (2): hoch oder niedrig
- Zustand (2): gepflegt oder ungepflegt
- Warmwasser (2): mit oder ohne Warmwasserbereitung
- Kamin (2): zur Feuerungsanlage passend oder nicht
- Brennstofffeuchte (2): feucht oder trocken
- Benutzerverhalten (2): sorgfältig oder nicht sorgfältig in bezug auf gute Verbrennung
- Brennstoff (6): Feuchte (2- feucht oder trocken), Art (2 - Rinde oder Holz), Stückigkeit (2 - groß oder klein)
- Bauart (2): für den verfeuerten Brennstoff geeignet oder nicht geeignet
- Heizsystem (2): direkte oder indirekte (über Wasser) Wärmeabgabe
- Stückigkeit (2): groß oder klein
- Größe (2): klein oder groß

**Tabelle 2.4:** Gruppierung der zu betrachtenden Brennstoff/Anlagenkombinationen nach möglichen Schichtkriterien (In Klammern Anzahl der zu betrachtenden Varianten)

Brennstoff	Art der Heizanlage (Gruppe)	Typ der Heizanlage	Merkmale des Heizsystems	Brennstoffeigenschaft und Benutzerverhalten
Holz	Einzelofen	Kachelofen	Alter (2) Leistung (2) Zustand (2) Warmwasser (2) Kamin (2)	Brennstoffeuchte (2) Benutzerverhalten (2)
		Kaminofen Allesbrenner Herd	Alter (2) Zustand (2) Größe (2) Warmwasser (2) Kamin (2)	Brennstoff (6) Stückigkeit (2) Benutzerverhalten (2)
	Etagenheizung		Alter (2) Bauart (2) Warmwasser (2) Zustand (2) Heizsystem (2) Kamin (2)	Brennstoffeuchte (2) Stückigkeit (2) Benutzerverhalten (2)
	Zentralheizung		Alter (2) Bauart (2) Warmwasser (2) Zustand (2) Leistung (2) Kamin (2)	Brennstoffeuchte (2) Stückigkeit (2) Benutzerverhalten (2)
Kohle	Einzelofen	Allesbrenner	Alter (2) Zustand (2) Kamin (2)	Brennstoffeuchte (2) Stückigkeit (2) Benutzerverhalten (2)
		Herd	Alter (2) Zustand (2) Größe (2) Warmwasser (2) Kamin (2)	Brennstoffeuchte (2) Stückigkeit (2) Benutzerverhalten (2)
	Etagenheizung		Alter (2) Bauart (2) Warmwasser (2) Zustand (2) Heizsystem (2) Kamin (2)	Brennstoffeuchte (2) Stückigkeit (2) Benutzerverhalten (2)
	Zentralheizung		Alter (2) Bauart (2) Warmwasser (2) Zustand (2) Leistung (2) Kamin (2)	Brennstoffeuchte (2) Stückigkeit (2) Benutzerverhalten (2)

Da in der HWZ91 und auch im MZ89 keinerlei Informationen über diese Schichtkriterien vorliegen, müßten diese über eine Stichprobenbefragung (Umfang ca. 3.000 Befragungen) ermittelt werden. Gewisse Informationen, wie z.B. Benutzerverhalten, sind sehr schwierig bzw. sogar unmöglich abzufragen.

Ein Lösungsansatz ist ein Random Sample mit nachträglicher Schichtung. Das heißt, es wird in den einzelnen Gruppen eine Zufallsauswahl und erst nach der Datenerhebung (Messung) eine Schichtung (Clusteranalyse) durchgeführt, um Erkenntnisse (Verteilungen und ihre Kenngrößen bzgl. Lage und Variabilität) über die Emissionsfaktoren für die wichtigsten Subschichten zu erhalten. Geht man davon aus, daß nur 3 Hauptkriterien für die nachträgliche Schichtung herangezogen werden, ergibt dies bei jeweils zwei Ausprägungen pro Kriterium 8 mögliche Subschichten ( $2^3 = 8$  Kombinationen). Zieht man in Betracht, daß die realistische Anzahl der Subschichten pro Gruppe nicht bei 8 sondern bei 6 liegt (da nicht alle Kombinationen auftreten), ergibt sich aus statistischen Überlegungen (Mindestanzahl von ca. 35 Messungen pro Subschicht; siehe "Realistisches Modell") ein Stichprobenumfang von rund 200 zu messenden Feuerungsanlagen pro Gruppe. Bei 6 Gruppen ergibt dies insgesamt ca. 1.200 Messungen. Eine so hohe Anzahl von Messungen ist praktisch nicht realisierbar. Es soll aber dennoch die weitere Vorgangsweise dieses Modellansatzes skizziert werden, um das Verständnis für die weiteren Ausführungen zu erleichtern.

- Erhebung

Für jede der 6 Gruppen wird eine Stichprobe im Umfang von rund 200 Feuerungsanlagen (siehe Erhebungskonzept) in Form eines Random Samples bestimmt und die Messungen durchgeführt. Bei der Messung selbst sind vorort auch die oben angeführten Einflußgrößen (Heizanlagentyp, Alter der Heizanlage, Benutzerverhalten, Brennstoffeuchte, ...) zu erfassen. Die ebenfalls zu erfassende Brennstoffmenge pro Jahr wird bei der Datenanalyse (Hochrechnung) als Gewichtungsfaktor benötigt.

- Datenanalyse:

Aus den erhobenen Daten werden die wichtigsten Schichtkriterien ermittelt und über eine Clusteranalyse eine Schichtung im nachhinein durchgeführt. Als Ergebnis erhält man für jede ausgewählte Schicht die Emissionsfaktorverteilung.

Beispiel: Würde es sich herausstellen, daß für die Gruppe "Zentralheizung - Holz" die "trennenden" Einflußfaktoren Leistung (< 25 kW oder >25 kW), Alter (alt oder neu) und Benutzerverhalten (gut oder schlecht) die Schichtkriterien darstellen, dann ergibt dies acht ( $2^3$ ) Schichten und somit 8 Emissionsfaktorenverteilungen.

Der Emissionsfaktor ist statistisch gut abgesichert und repräsentativ für Österreich. Unter der Annahme einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95% ist zu erwarten, daß der mittlere Emissionsfaktor für den Schadstoff CO in der Gruppe Holz/Einzelofen etwa einen Vertrauensbereich von ca.  $\pm 5\%$  aufweist.

- **Modelldiskussion "Idealmodell"**

Aus dem "Idealmodell" erhält man, neben den mittleren gewogenen Emissionsfaktoren pro Gruppe und Schadstoff, auch noch Emissionsfaktoren für die einzelnen Subschichten, die einer Gruppe zugeordnet sind. Mit Hilfe dieser Faktoren können auch regional über einfache Erhebungen die mittleren gewogenen Emissionsfaktoren für die Zielgruppen ermittelt werden. Die Anzahl der zu messenden Feuerungsanlagen beträgt mindestens 1.200.

*"Realistisches Modell"*

Wegen des großen Stichprobenumfangs beim Idealmodell ist es notwendig, eine Reduktion des Stichprobenumfangs (Messungen an Feuerungsanlagen) vorzunehmen und gewisse Restriktionen bezüglich der Ergebnisse in Kauf zu nehmen. Eine Reduktion auf 210 Messungen (ca. 35 pro Gruppe) ist auf einen realisierbaren Untersuchungsrahmen abgestimmter Stichprobenumfang und stellt eine unterste Schranke dar, mit der noch brauchbare Aussagen erzielbar sind. Sollten die Voraussetzungen für die Mittelwertschätzung nicht im angenommenen Ausmaß erfüllt sein, so stellt das Ergebnis im Sinne einer exploratorischen (d.h. Struktur erkennend) Statistik trotzdem ein wesentlich abgesicherteres Ergebnis dar als die derzeit verwendeten Emissionsfaktoren. Wegen der vielen Einflußgrößen/ Störgrößen, die nicht geplant erfaßt werden können, muß ein besonderes Augenmerk auf die Zufälligkeit des Auswahlverfahrens (siehe Erhebungskonzept) gelegt werden.

- **Erhebung**

Für jede der 6 Gruppen wird eine einfache Zufallsstichprobe im Umfang von rund 35 Feuerungsanlagen durchgeführt und die Messungen vorgenommen. In

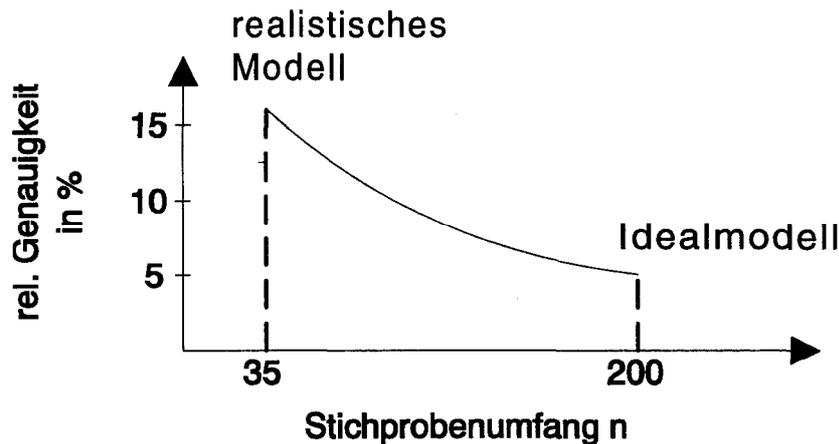
Summe sind rund 210 Feuerungsanlagen zu messen. Bei einer nicht zu "bizarren" Emissionsfaktorenverteilung kann z.B. für den Schadstoff CO in der Gruppe Holz/ Einzelofen bei einer Sicherheitswahrscheinlichkeit von 95% mit einem Vertrauensbereich der Schätzung der mittleren gewogenen Emissionsfaktoren von  $\pm 15\%$  vom absoluten Wert gerechnet werden.

- **Modelldiskussion "Realistisches Modell"**  
Die ermittelten Emissionsfaktoren gelten für den derzeitigen Istzustand. Die Umsetzung der mittleren gewogenen Emissionsfaktoren gilt für Österreich, regionale Aussagen sind nur bedingt möglich.
- **Zeitliche Erhebungsgliederung**  
Falls aus organisatorischen und technischen Gründen innerhalb der Heizperiode 1994/95 nicht alle 210 Messungen durchgeführt werden können, wird vorgeschlagen, in dieser Heizperiode zumindest Messungen an einer Teilmenge, z.B. 60 Messungen, durchzuführen. Die Ergebnisse aus diesen 60 Messungen sind zwar nicht repräsentativ, aber, wie oben angeführt, im exploratorischen Sinn sicherlich informativ.

#### *Vergleich der Schätzgenauigkeit der Modelle*

Grundsätzlich gilt:

- Je größer der Stichprobenumfang, desto größer sind Genauigkeit und Informationsgehalt der Analysen.
- Je heterogener die Population, umso größer muß der Stichprobenumfang sein, um eine vorgegebene Genauigkeit einhalten zu können. Dies ist auch, wie oben angeführt, der Grund für die Beschränkung der Aussagen auf den Schadstoff CO. Die CO-Emissionen bilden die heterogenste Population. Abbildung 2.1 zeigt den Unterschied der zu erwartenden Genauigkeiten in Abhängigkeit vom Stichprobenumfang.



**Abbildung 2.1:** Abhängigkeit der Genauigkeit vom Stichprobenumfang für das Beispiel Emissionsfaktor CO für die Gruppe Einzelofen-Holz

- Die Zahl 35 pro Gruppe kann nicht mehr reduziert werden, da die Repräsentativität der mittleren Emissionsfaktoren dann nicht mehr gewährleistet ist. Dies ist in der statistischen Methodik und der sehr heterogenen Population begründet.

#### Erhebungskonzept - Durchführung der Auswahl der Feuerungsanlagen

Die Auswahl der Adressen für die zu messenden Feuerungsanlagen erfolgt im Sinn des oben angeführten Zufallverfahrens über die HWZ-Merkmale (Brennstoff Holz oder Kohle; Einzelofen-Etagenheizung-Zentralheizung), die auch die Gruppen darstellen. Die zur Verfügung stehenden HWZ-Daten sind bis zur Wahlsprengel Ebene gliederbar. Das heißt, man kann für jede Gruppe ein Random Sample über die Wahlsprengel durchführen. Die Auswahl der Wahlsprengel erfolgt ebenfalls über ein Random Sample. Die Anzahl der ausgewählten Adressen muß größer als der geforderte Stichprobenumfang sein, da die zugrundeliegende Datenbank bereits 3 Jahre alt ist und in diesem Zeitraum durchaus Veränderungen stattgefunden haben können. Weiters ist die "Nonresponse"-Rate zu berücksichtigen, d. h. eine gewisse Zahl der ausgewählten Personen werden eine Messung nicht zulassen. Vorgesehen ist, mit Unterstützung der Rauchfangkehrer, zu den ausgewählten Personen Kontakt aufzunehmen bzw. zu prüfen, ob die HWZ-Daten noch gültig sind. Es sind folgende Auswahlvarianten möglich:

- Variante 1

Die Adressen (ca. 500 beim realistischen Modell) werden vom ÖSTAT zur Verfügung gestellt, da nur dieses den Direktzugriff zu den Adressen hat. Die Auswahl ist bei dieser Variante somit nur mit Unterstützung durch das ÖSTAT möglich.

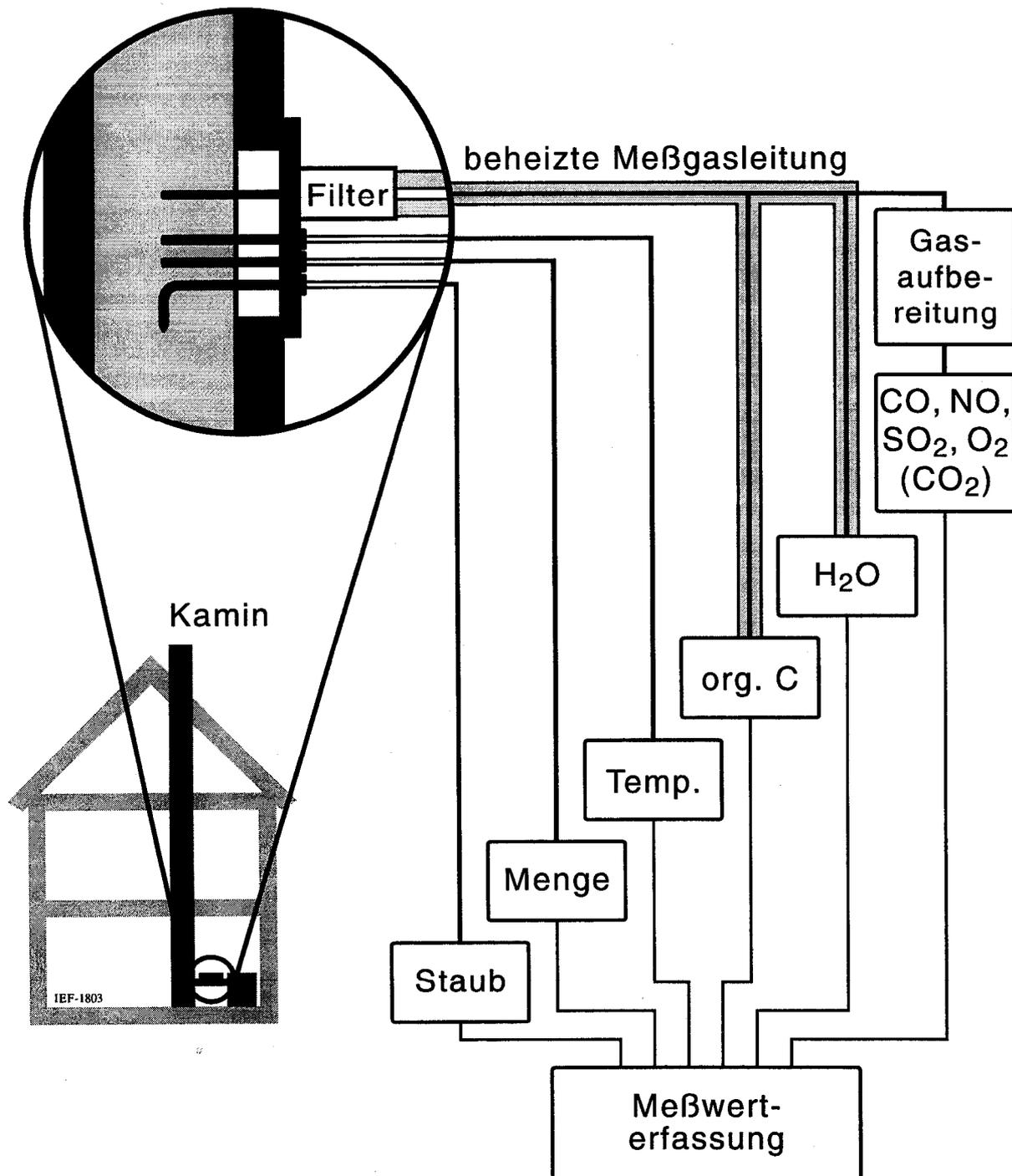
- Variante 2

Die Adressen, welche den Anforderungen der Gruppen genügen, werden auf Wahlsprengelene mit Hilfe der zuständigen Rauchfangkehrer zufällig ausgewählt. Dadurch ist auch vorab ein Kontakt zu den Haushalten hergestellt.

Variante 1 ist die, statistisch gesehen, sauberere Vorgangsweise, Variante 2 (zweistufiges Auswahlverfahren) die praktikablere. Es wird daher empfohlen, zunächst die Variante 2 zu versuchen und falls dies nicht zufriedenstellend ist Variante 1 anzuwenden.

### 3 MESSKONZEPT

Da bei Festbrennstofffeuerungen, im Gegensatz zu Öl- oder Gasfeuerungen, praktisch keine stationären Betriebszustände auftreten, ist ein sehr hoher Aufwand bei der Meßtechnik und Durchführung der Messungen erforderlich. Eine schematische Darstellung der Meßanordnung ist in Abbildung 3.1 dargestellt.



### Abbildung 3.1: Meßanordnung

In diesem Kapitel werden Überlegungen zur praktischen Durchführung der Feldmessungen angestellt, welche eine Diskussionsbasis für die endgültige Festlegung der Meßtechnik und Meßdurchführung darstellt.

#### Meßstelle

Bei der Ermittlung der Emissionsfaktoren für flüssige und gasförmige Brennstoffe ist die Meßstelle für die Emissionsmessungen unmittelbar nach der Feuerungsanlage. Es ist daher wegen der Vergleichbarkeit der Meßergebnisse auch bei Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe anzustreben, die Emissionsmessungen an dieser Meßstelle durchzuführen.

Allerdings ist in der Praxis bei Festbrennstofffeuerungen an der Meßstelle zwischen der Feuerungsanlage und dem Kamin (Fuchs) das Auftreten folgender Probleme zu erwarten:

- Verbrennungsreaktion oft noch nicht abgeschlossen
- hohe Temperaturen des Verbrennungsgases und des "Ofenrohres"
- Messung der Verbrennungsgasmenge sehr schwierig bzw. unmöglich
- Staubmessung sehr schwierig bzw. unmöglich
- Platzprobleme bei der Montage der Entnahmesonden (siehe Vorschlag "Meßkopf")
- Platzprobleme beim Aufbau der Meßanlage
- Zumutbarkeit für die von der Messung Betroffenen (Dauer der Messung bis zu einem Tag)

Die Emissionsmessungen an Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe können daher nur bei jenen Anlagen an der Meßstelle unmittelbar nach der Feuerungsanlage durchgeführt werden, bei welchen dies technisch und praktisch möglich ist. Bei Feuerungsanlagen an welchen die Emissionsmessungen an dieser Meßstelle nicht möglich sind, ist die Meßstelle an einen anderen, geeigneten Ort zu verlegen.

### Meßgrößen

Zur Ermittlung der Emissionsfaktoren ist die Messung folgender Größen erforderlich:

- gasförmige Schadstoffe ( $\text{SO}_2$ , CO,  $\text{NO}_x$  und org-C)
- feste Schadstoffe (Staub)
- Bezugsgrößen ( $\text{O}_2$  oder  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , Verbrennungsgasmenge, Luftdruck und Temperaturen) zur Normierung der Meßwerte
- Brennstoffdurchsatz während der Messung (Gewicht, Wassergehalt)

### Meßverfahren und Meßgeräte

Zur Messung der verschiedenen Größen sind unterschiedliche Meßverfahren anzuwenden. Für die Messungen sind, soweit möglich, eignungsgeprüfte Meßgeräte einzusetzen. Aus praktischen Gründen (Transport zur Meßstelle) sollten möglichst kompakte Geräte verwendet werden. In Tabelle 3.1 sind die Meßverfahren und der Zustand des Verbrennungsgases bei der Messung (feucht oder trocken) zusammengestellt.

Tabelle 3.1: Meßverfahren

Meßgröße	Meßverfahren	Gaszustand
SO <sub>2</sub>	fotometrisch	trocken
CO	fotometrisch	trocken
NO <sub>x</sub>	fotometrisch oder chemilumineszenz	trocken
org-C	Flammenionisation	feucht
Staub	gravimetrisch (z.B. Ströhlein)	feucht
O <sub>2</sub>	magnetisch oder elektrochemisch	trocken
CO <sub>2</sub>	fotometrisch	trocken
H <sub>2</sub> O	fotometrisch oder kapazitiv	feucht
Verbrennungsgas- menge	Konzentration eines Tracergases (fotometrisch) oder Geschwindigkeit (Anemometer)	trocken
		feucht
Luftdruck	Barometer	-
Temperatur	PT100 oder Thermoelement	-
Brennstoffmenge	gravimetrisch (Waage vor Ort)	-
Brennstoff- Wassergehalt	gravimetrisch (Trockenschrank im Labor)	-

Die Meßbereiche der Analysatoren sind so zu wählen, daß auch die auftretenden Emissionsspitzen erfaßt werden können. Bei CO und org-C ist mit Konzentrationen im Prozentbereich zu rechnen.

### *Probenahme*

Die Probenahme für die Gasanalyse erfolgt durch Entnahme eines Teilgasstromes des Verbrennungsgases. Dieser wird über eine Gasentnahmesonde, einen keramischen Filter, Meßgasleitungen und (für die im trockenen Verbrennungsgas zu messenden Komponenten, siehe Tabelle 3.1) über eine Gasaufbereitung (Filterung und Trocknung) zu den Analysatoren geleitet. Zur Messung der org-C Konzentration

muß der gesamte Meßgasweg (von der Entnahmesonde bis zum Analysator) auf mindestens 180°C beheizt werden. Zur Messung der Wasserdampfkonzentration (siehe unten) ist der Gasweg auf ca. 75°C zu thermostatisieren.

### *Wasserdampf*

Die kontinuierliche Messung des Wasserdampfgehaltes des Verbrennungsgases ist zu Umrechnung der Schadstoffkonzentration bezogen auf trockenes oder feuchtes Verbrennungsgas bzw. umgekehrt, zur Überprüfung der isokinetischen Absaugung bei der Staubmessung (siehe unten) und eventuell zur Korrektur bei der Messung der Verbrennungsgasmenge (siehe unten) erforderlich.

- Fotometrisch

Wie andere gasförmige Verbrennungsgaskomponenten kann auch die Wasserdampfkonzentration fotometrisch gemessen werden. Dazu ist ein eigener Analysator bzw. ein eigener Meßkanal in einem Mehrfachanalysator erforderlich. Es ist zu beachten, daß der Taupunkt an keiner Stelle des Gasweges (auch nicht im Analysator) unterschritten wird.

- Kapazitiv

Dieses Meßverfahren beruht auf der Änderung der Dielektrizitätskonstante eines Meßkondensators in Abhängigkeit vom Wasserdampfgehalt des Verbrennungsgases. Es sind Sensoren verfügbar, welche nach diesem Meßprinzip die relative Feuchte (und die Gastemperatur) messen. Um zu vernünftigen Meßwerten zu kommen sollte die relative Feuchte zwischen 10 und 90% liegen. Dies läßt sich leicht durch definiertes Abkühlen des Verbrennungsgases auf Temperaturen zwischen ca. 60 und ca. 80°C erreichen. Die Einsetzbarkeit dieses Meßverfahrens für die vorgesehenen Feldmessungen muß in Vorversuchen getestet werden.

### *Verbrennungsgasmenge*

Zur Ermittlung der absoluten Schadstoffemissionen (in mg) ist die kontinuierliche Messung der Verbrennungsgasmenge erforderlich. Probleme sind dabei durch die, zumindest teilweise, niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten (< 1m/s) und eventuell hohe Verbrennungsgastemperaturen (einige hundert °C) zu erwarten.

- Anemometer

Durch Messung der Strömungsgeschwindigkeit kann bei bekanntem Strömungsprofil und Kaminquerschnitt die Verbrennungsgasmenge errechnet werden. Es ist zu erwarten, daß es durch die anderen Meßsonden und die Querschnittsänderung bei der Kehröffnung zu undefinierten Änderungen des Strömungsprofils kommt. Außerdem sind konventionelle Anemometer nur begrenzt temperaturbeständig.

- Tracergas-Verfahren

Durch Beimischung definierter Mengen eines Tracergases zum Verbrennungsgas und homogene Durchmischung beider Gase kann durch Messung der Konzentration des Tracergases in der Gasmischung die Verbrennungsgasmenge berechnet werden. Voraussetzung zur Anwendung dieses Verfahrens ist in erster Linie ein geeignetes Tracergas und ein entsprechender Analysator. Anforderungen an das Tracergas sind unter anderem hohe Temperaturbeständigkeit, Reaktionsträgheit, Ungiftigkeit, kein Einfluß auf die Analysatoren zur Messung der anderen Gaskomponenten (Querempfindlichkeit der Analysatoren) und die Verfügbarkeit. Nach den bisherigen Recherchen erscheint Schwefelhexafluorid ( $\text{SF}_6$ ) als ein für diese Zwecke geeignetes Tracergas. Die Konzentration dieses Tracergases kann fotometrisch bestimmt werden (kleinster handelsüblicher Meßbereich des Analysators 0 bis 20 ppm). Für die Messung der Verbrennungsgasmenge erscheint es günstig, das Tracergas mittels Schwebekörper-Durchflußmesser (Rotameter) dem Verbrennungsgas im Fuchs definiert beizumengen um bis zur Meßstelle eine homogene Durchmischung zu erreichen. Vor dem Einsatz dieses Meßverfahrens für die Feldmessungen sind Vorversuche bzw. Verfahrensoptimierungen erforderlich.

### *Staubmessung*

Um die Staubemissionen über den gesamten Meßzyklus ermitteln zu können, ist die Staubmessung über diesen gesamten Zeitraum durchzuführen. Das gravimetrische Staubmeßverfahren besteht darin, dem Verbrennungsgas einen Teilstrom isokinetisch zu entnehmen und die darin enthaltenen Feststoffe in einem Filter (Quarzwolle oder Papier) abzuscheiden. Durch die Gewichtszunahme des Filters und der Messung der abgesaugten Gasmenge kann die Staubemission berechnet werden. Um möglichst exakte Meßwerte zu erhalten, müßte während des gesamten Meßzyklus isokinetisch abgesaugt werden. Da dies in der Praxis nur sehr schwer

durchzuführen sein wird, wird vorgeschlagen die Messung "quasikontinuierlich" vorzunehmen. Als "quasikontinuierlich" wird hier ein Verfahren bezeichnet, in welchem z.B. innerhalb von 15 Minuten nur 5 Minuten isokinetisch abgesaugt wird (d.h. 5 Minuten Absaugung, 10 Minuten keine Absaugung usw.). Es wird dabei angenommen, daß die Staubemission während des Absaugintervalls in erster Näherung gleich der Staubemission in der Zeit, in der keine Absaugung erfolgt, ist. Die isokinetische Absaugung muß daher unmittelbar nach jeder Absaugung überprüft werden, um sie, falls erforderlich, für die nächste Absaugung zu korrigieren zu können. Durch die Vielzahl der Absaugungen während eines Meßzyklus beeinflussen gelegentliche Ausreißer das Gesamtergebnis nur geringfügig. Da die abgesaugte Gasmenge bei isokinetischer Absaugung proportional der gesamten Verbrennungsgasmenge ist, kann die gesamte emittierte Staubmenge aus der Beziehung

$$\frac{\text{im Filter abgeschiedene Staubmenge}}{\text{abgesaugte Verbrennungsgasmenge}} = \frac{\text{gesamte emittierte Staubmenge}}{\text{gesamte Verbrennungsgasmenge}}$$

mit hinreichender Genauigkeit errechnet werden. Vor dem Einsatz Verfahrens bei den Feldmessungen ist es durch Vorversuche zu optimieren.

### Meßwerterfassung

Bei der Meßwerterfassung ist zwischen kontinuierlich ("automatisch") und nicht kontinuierlich ("händisch") zu erfassenden Größen zu unterscheiden.

#### *Kontinuierlich zu erfassende Größen*

Es sind dies die Konzentration von SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, org-C, O<sub>2</sub> oder CO<sub>2</sub> und H<sub>2</sub>O sowie die Verbrennungsgasmenge und -temperatur. Die von den Analysatoren bzw. Sensoren gemessenen Werte sind mittels einer automatischen Meßwerterfassungsanlage kontinuierlich aufzuzeichnen. Es wird auch erforderlich sein, gewisse Meßgrößen miteinander zu verknüpfen bzw. einfache mathematische Operationen durchzuführen (z.B. Berechnung der Verbrennungsgasmenge aus gemessener Konzentrationen oder Geschwindigkeit; Multiplikation einer gemessenen Schadstoffkonzentration mit der berechneten Verbrennungsgasmenge, usw.). Das Einlesen der Meßwerte von den Analysatoren und Sensoren soll

möglichst "gleichzeitig" erfolgen. Das Abtastintervall sollte nicht größer als 5 Sekunden sein. Aus diesen Meß- bzw. Rechenwerten sind Mittelwerte über 3 Minuten zu bilden (bei einem Abtastintervall von 5 Sekunden und einer Mittelungszeit über 3 Minuten ergibt sich ein Mittelwert aus 36 Werten). Diese Mittelwerte sind über den gesamten Meßzyklus aufzuzeichnen. Berechnete Größen (z.B. absolute Schadstoffemissionen oder Umrechnung von Konzentrationen von trockenem auf feuchtes Verbrennungsgas, etc.) sind nach jeder Einzelmessung zu berechnen und die Mittelwertbildung ist über die berechneten Größen durchzuführen. Es ist weiters zu berücksichtigen, daß Meßbereichsumschaltungen, Meßbereichsüberschreitungen und Störungen der Meßgeräte bzw. Sensoren, etc. miterfaßt und als solche gekennzeichnet werden.

#### *Nicht kontinuierlich zu erfassende Größen*

Diese sind in erster Linie alle mit der Staubmessung in Zusammenhang stehende Größen wie abgesaugte Gasmenge, Zustand des Gases (Druck, Temperatur, Wassergehalt), etc. Außerdem sind die verfeuerte Brennstoffmenge (Bestimmung mittels Waage) und die Brennstoffart(en) inklusive Zeitpunkt der Verfeuerung aufzuzeichnen. Der Wassergehalt des Brennstoffes ist nach dem Trockenschrankverfahren im Labor zu bestimmen. Dafür sind Brennstoffproben zu ziehen und in wasser- und gasdicht verschlossenen Behältern (z.B. Gefrierbeutel) bis zur Analyse aufzubewahren. Die Proben sind so zu kennzeichnen, daß es zu keinen Verwechslungen kommen kann. Vor Beginn des Meßzyklus und während des Meßzyklus in regelmäßigen Abständen ist der Luftdruck an der Entnahmestelle, die Außentemperatur und die Temperatur im Heizraum zu messen und aufzuzeichnen. Die Aufzeichnungen sind durch händische Eintragungen in vorbereitete Listen bzw. Formblätter vorzunehmen. Meßgrößen wie z.B. Staub, sind derart in die Meßwerterfassung zu integrieren, daß zumindest die Anfangs- und Endzeiten des Meßvorganges erfaßt werden.

#### Durchführung der Messungen

Ein Meßzyklus dauert von der Inbetriebsetzung der Feuerungsanlage bis zum Ende des Verbrennungsvorganges. Die Durchführung der Messungen erfolgt durch ein Meßteam.

Ein Meßteam soll aus 2 Personen bestehen, wobei eine Person vorrangig für die Bedienung der Meßgeräte zuständig ist, während die andere Person vorrangig für die Messungen im Heizraum und die Erfassung der Erhebungsdaten (siehe dort)

zuständig ist. Wenn möglich sollte es sich dabei um ein eingespieltes Team handeln, wobei jede Tätigkeit von jedem der beiden übernommen werden kann. Die Verantwortung für die Durchführung der Messung ist aber von einer Person zu tragen.

Die Meßgeräte sind so nahe wie möglich an der Meßstelle aufzubauen. Die Stromversorgung soll, wenn möglich aus 2 getrennten Stromkreisen erfolgen. Damit der Auf- und Abbau möglichst rasch erfolgen kann, wird vorgeschlagen die Meßausrüstung so vorzubereiten, daß ein "baukastenartiger" Aufbau (Idealfall nur mehr "zusammenstecken" der verschiedenen Geräte) möglich ist. Anschließend ist der "Meßkopf" an der Probenahmeöffnung zu montieren und zu justieren. Eine mögliche Ausführungsform eines derartigen "Meßkopfes" ist in Abbildung 3.2 dargestellt.

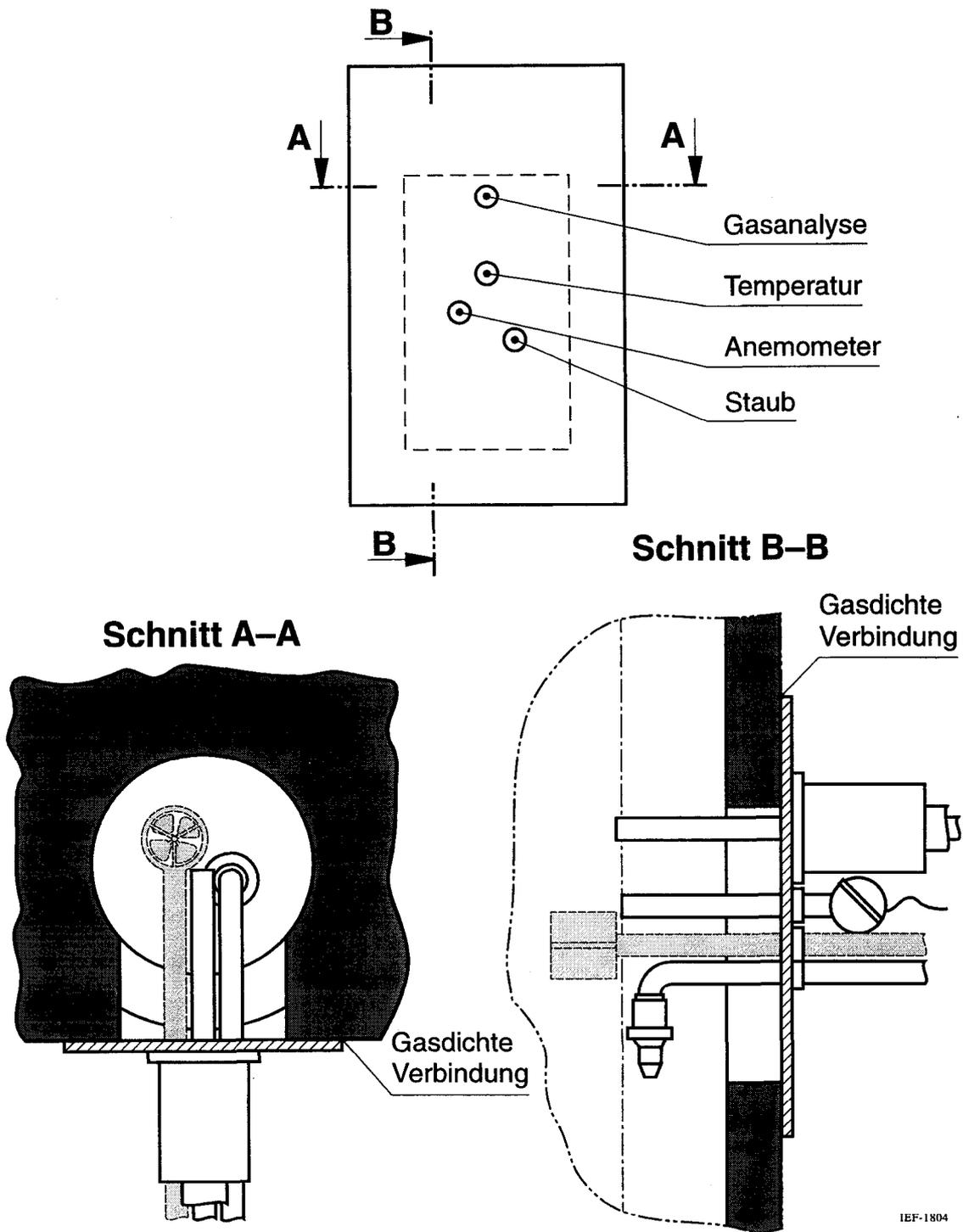


Abbildung 3.2: Mögliche Bauweise eines "Meßkopfes"

Die Durchführungen der Sonden durch die Abdeckplatte sind so auszuführen, daß sie gasdicht sind, die Eintauchtiefe der Sonden aber variiert werden können (z.B.

Klemmverschraubungen), um sie der Kanaldimension anpassen zu können. Die Befestigung des "Meßkopfes" an der Probenahmeöffnung kann entweder mittels Spanngurte (Verwendung hitzebeständiger Materialien) um die Außenseite des Kanals und durch Abstützung am Boden erfolgen. Eine andere Möglichkeit ist, falls der Hausbesitzer damit einverstanden ist, den "Meßkopf" fix an der Kanalausseite zu montieren. In jedem Fall ist darauf zu achten, daß die Abdeckplatte gasdicht mit dem Kanal verbunden ist (Abdichtung z.B. mit Glasfaserschnur oder hitzebeständigem Silikon), damit die Messungen nicht durch eintretende Luft gestört werden.

Nachdem die Meßgeräte in meßbereitem Zustand sind (Aufwärmzeit abwarten), sind sie zu kalibrieren (Kalibrierküvette oder -gas) und die ordnungsgemäße Funktion der Meßgeräte, der Sensoren und der Meßwerterfassung zu prüfen. Der Kalibriervorgang ist "händisch" oder über die Meßwerterfassung (Mittelungszeit zu beachten) zu dokumentieren. Für die erforderlichen Zeitangaben sind die Zeiten der Meßwerterfassung und der Uhren des Meßpersonals aufeinander abzustimmen. Ist die Meßanlage im meßbereiten Zustand (Prüfung anhand einer Checkliste) so kann die Feuerungsanlage vom Betreiber in Betrieb genommen werden. Dieser ist anzuhalten, die Feuerungsanlage möglichst "normal", d.h. wie sonst üblich, zu bedienen. Die Messungen sind so lange durchzuführen, bis der Verbrennungsvorgang abgeschlossen ist. Als Indikatoren dafür können die Verbrennungsgastemperatur, der O<sub>2</sub> (bzw. CO<sub>2</sub>) -Gehalt im Verbrennungsgas oder die Verbrennungsgasmenge dienen. Bevor die Messung beendet wird, ist auf jeden Fall zu prüfen, ob in der Feuerungsanlage tatsächlich keine Verbrennung mehr stattfindet. Ist dies der Fall so sind die Analysatoren, wie vor Beginn der Messungen, zu kalibrieren. Unmittelbar vor Beginn oder nach Abschluß der Messungen ist die Meßanordnung und die Feuerungsanlage mittels Foto- oder Videoaufnahmen zu dokumentieren. Anschließend ist die Meßanlage abzubauen und der Zustand vor der Messung wiederherzustellen.

### Erhebungsdaten

Außer den Meßdaten sind bei einer Messung folgende Daten zu erheben:

- Daten über Brennstoffverbrauch der letzten Jahre

Zu erfassen sind die Art und Menge der in der gemessenen Feuerungsanlage jährlich verbrannten Brennstoffe. Aufgrund der durchgeführten Messungen ist eine Plausibilitätsprüfung der Angaben vor Ort vorzunehmen und bei groben Abweichungen nachzuhaken.

- Daten der Feuerungsanlage und des Heizsystems  
wie z.B. Hersteller, Type, Baujahr, Leistung, Brennstoff, Typenschild abschreiben (falls vorhanden und lesbar), Art der Warmwasserbereitung, Regelung der Anlage, etc.
- Dokumentation der Bedienung der Feuerung  
Dazu ist eine Art "Logbuch" der Ofenreise zu führen, worin zumindest die verfeuerten Brennstoffmengen, der Zeitpunkt der Verfeuerung und eine Beschreibung des Heizvorganges unter Angabe des jeweiligen Handlungen und und des Zeitpunktes dokumentiert wird.  
Falls für die Messung "außergewöhnliches Heizverhalten" erforderlich ist (z.B. vorzeitiger Abbruch des Heizvorganges oder Aufgeben größerer Brennstoffmengen als sonst üblich), ist dies ebenfalls aufzuzeichnen.

#### Dokumentation der Meß- und Erhebungsdaten

Nach Vorauswertung der Messungen durch das Meßteam sind an die Projektleitung (siehe Kapitel Durchführungskonzept) so rasch wie möglich folgende Daten zu übergeben:

- Kopie von sämtlichen bei der Messung aufgenommenen bzw. im Labor ermittelten Meß- und Erhebungsdaten inklusive Fotos, Dias oder Videoband,
- Meßprotokoll und auf Datenträger gespeicherte Daten wie unten spezifiziert.

#### *Meßprotokoll*

Über jede durchgeführte Messung ist ein einfaches, übersichtliches Meßprotokoll anzufertigen, worin alle wesentlichen, mit der Messung und den Erhebungen in Zusammenhang stehenden Daten dokumentiert sind.

#### *Daten auf Diskette*

Die Daten sind als Excel-File zu übergeben (3,5" Diskette für Betriebssystem MS-DOS). Dieses File muß im wesentlichen so strukturiert sein, daß im "Kopf" alle "händisch" während der Messung und im Labor ermittelten Meß- und

Erhebungsdaten sowie die daraus berechneten Werte (z.B. Staubemission, eingesetzte Brennstoffenergie, etc.) enthalten sind.

Die während der Messung von der Meßwerterfassung aufgezeichneten und eventuell nachbearbeiteten Daten sind als Matrix in folgender Form darzustellen:

- 1. Zeile: Bezeichnung des Meßwertes und Einheit  
Bsp.: Verbrennungsgastemperatur in °C
- 2. bis n. Zeile: Daten
- 1. Spalte: Zeit (hh:mm:ss)
- 2. bis 14. Spalte: Daten

Die Daten sind mit 3 signifikanten Stellen und Zehnerpotenzen (z.B. nicht 0,00123 sondern 1,23 E-3) in folgender Reihenfolge und Einheiten anzugeben:

- 2. bis 5. Spalte: Emissionen von SO<sub>2</sub>, CO, NOX und org-C in mg/Nm<sup>3</sup> bezogen auf 13 Vol% O<sub>2</sub> und trockenes Verbrennungsgas
- 6. bis 9. Spalte: absolute Emissionen von SO<sub>2</sub>, CO, NOX und org-C in mg/s
- 10. Spalte: O<sub>2</sub> oder CO<sub>2</sub>-Gehalt in Vol% bezogen auf trockenes Verbrennungsgas
- 11. Spalte: Wasserdampfgehalt im Verbrennungsgas in Vol%
- 12. Spalte: feuchte Verbrennungsgasmenge in Nm<sup>3</sup>/s
- 13. Spalte: Verbrennungsgastemperatur in °C
- 14. Spalte: Mittelwert, ob Staubmessung (Absaugung) erfolgte; Wert zwischen 0 und 1

### Vorversuche

Die Komplexität einiger Meßverfahren für die geplanten Feldmessungen erfordert die Durchführung von Vorversuchen. Sie betreffen die kontinuierliche Messung der Verbrennungsgasmenge und des Wassergehaltes im Verbrennungsgas sowie die "quasikontinuierliche" Staubmessung. Das Ziel ist die Erprobung bzw. Optimierung dieser Meßverfahren bzw. Meßgeräte. Sie sollen zum Teil im Labor aber auch bei ausgewählten Feuerungsanlagen durchgeführt werden. Die Vorversuche haben vor der endgültigen Spezifikation und Vergabe der Messungen zu erfolgen. Detaillierte Informationen darüber sind dem Abschnitt Meßverfahren und Meßgeräte zu entnehmen.

#### 4 AUSWERTEKONZEPT

Ziel der Auswertungen ist die Ermittlung der Emissionsfaktoren der Schadstoffe SO<sub>2</sub>, CO, NO<sub>x</sub>, org-C und Staub für die 6 Gruppen von Brennstoff/Anlagenkombinationen. Hierzu sind 2 Auswerteschritte erforderlich:

- Berechnung der Emissionsfaktoren einer Einzelmessung
- Berechnung der mittleren Emissionsfaktoren und der Emissionsfaktoren-Verteilung für jede Gruppe mit Hilfe einer statistischen Datenanalyse

#### Emissionsfaktoren einer Einzelmessung

Als Datengrundlage dafür dienen die Meßergebnisse der Feldmessungen. Daraus werden die absoluten Schadstoffemissionen (berechnet aus kontinuierlich gemessener Schadstoffkonzentration und Verbrennungsgasmenge) und der Energieeinsatz (berechnet aus Brennstoffmenge und Heizwert) ermittelt. Die Emissionsfaktoren sind der Quotient aus der absoluten Schadstoffmenge und dem Energieeinsatz. Aus meßtechnischen Gründen werden bei den kontinuierlich erfaßten Größen (Schadstoffkonzentration und Verbrennungsgasmenge) das Integral durch eine Summe ersetzt. Mathematisch läßt sich dies in folgender Formel ausdrücken:

$$EF^k = \frac{\sum_{l=1}^L c_l^k V_l \Delta t_l}{m \quad Hu}$$

Abkürzungen:

EF.....Emissionsfaktor [mg/MJ]  
 c.....Konzentration [mg/Nm<sup>3</sup>]  
 V.....Volumenstrom des Verbrennungsgases [Nm<sup>3</sup>/s]  
 m.....Brennstoffmasse [kg] pro Meßzyklus  
 Hu.....unterer Heizwert [MJ/kg]  
 Δt.....Zeitintervall [s]  
 L..... Anzahl der Zeitintervalle  
 (  $\sum_{l=1}^L \Delta t_l =$  Gesamtzeit eines Meßzyklus)

Indizes:

k....Schadstoffkomponente  
 1 bis 5 (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, org-C, Staub)  
 l.....Summenindex 1 bis L

Das Ergebnis dieser Berechnungen sind Emissionsfaktoren für eine bestimmte Feuerungsanlage.

### Ermittlung der Emissionsfaktoren für eine Gruppe - Statistische Datenanalyse

Statistische Analysen erfordern ein interaktives Vorgehen, d. h. aus Zwischenergebnissen werden weitere Schritte abgeleitet, wobei die Grundstruktur des Lösungsablaufes nicht wesentlich verändert wird. Folgendes Schema gilt für die Analyse der Ermittlung der Emissionsfaktoren:

- Mit den erhobenen Daten wird zunächst eine statistische Urdatenanalyse durchgeführt. Schwerpunkte sind Plausibilitätskontrollen, Ausreißeruntersuchungen, grafische Darstellungen und Strukturbetrachtungen.
- Aus den Meßdaten erhält man eine Verteilungsstruktur der Emissionsfaktoren, deren Kenngrößen der mittlere Emissionsfaktor und die Standardabweichung sind.
- Der mittlere Emissionsfaktor pro Gruppe und Schadstoff wird über ein gewogenes, arithmetisches Mittel berechnet. Als Gewichtungsfaktor wird der bei den Messungen erhobene, jährliche Endenergieeinsatz herangezogen. Dazu erfolgt die Berechnung der Vertrauensbereiche (Einbindung der Variabilität) aus den Istwerten.

Weiters werden über Einflußgrößenanalysen die wichtigsten Einflußgrößen bestimmt (siehe Kapitel 2 Statistikkonzept). Diese Informationen sind für zukünftige Erhebungen ähnlicher Art von großer Bedeutung, da man dadurch gezieltere Untersuchungen durchführen kann.

Die Gewichtung der Emissionsfaktoren der Einzelmessungen erfolgt mit den jährlich eingesetzten Endenergiemengen nach folgender Formel:

$$EF_j^k = \frac{\sum_{i=1}^{n_j} EF_{j,i}^k \quad EE_{j,i}}{\sum_{i=1}^{n_j} EE_{j,i}}$$

Abkürzungen:

EF.....Emissionsfaktor [mg/MJ]  
EE.....Endenergieeinsatz  
pro Jahr [MJ/a]

Indizes:

k....Schadstoffkomponente  
1 bis 5 (SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, CO, org-C, Staub)  
j....Gruppe  
1 bis 6 (H-EO, H-ETH,... K-ZH)  
i....Einzelmessungen in Gruppe  
1 bis n<sub>j</sub> (ca. 35)

Auf diese Weise wird für jeden Schadstoff und jede Gruppe ein Emissionsfaktor ermittelt.

## 5 DURCHFÜHRUNGSKONZEPT

In diesem Kapitel wird der organisatorische Aufbau und Ablauf des Meßprogrammes zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für Festbrennstoffeuerungen (Projektmanagement) behandelt .

### Projektmanagement

Aufgabe des Projektmanagements ist die organisatorische, technische und kaufmännische Abwicklung des Projektes. Ebenfalls zur Aufgabe des Projektmanagements gehört die laufende Information über den Stand der Arbeiten an den Auftraggeber, an das UBA und an die wissenschaftliche Leitung des Gesamtprojektes. Um eine möglichst effiziente Bearbeitung zu ermöglichen werden die durchzuführenden Arbeiten in die Bereiche Koordination, Messungen und Auswertung unterteilt. Die hierfür vorgeschlagene Projektstruktur ist in Abbildung 5.1 dargestellt.

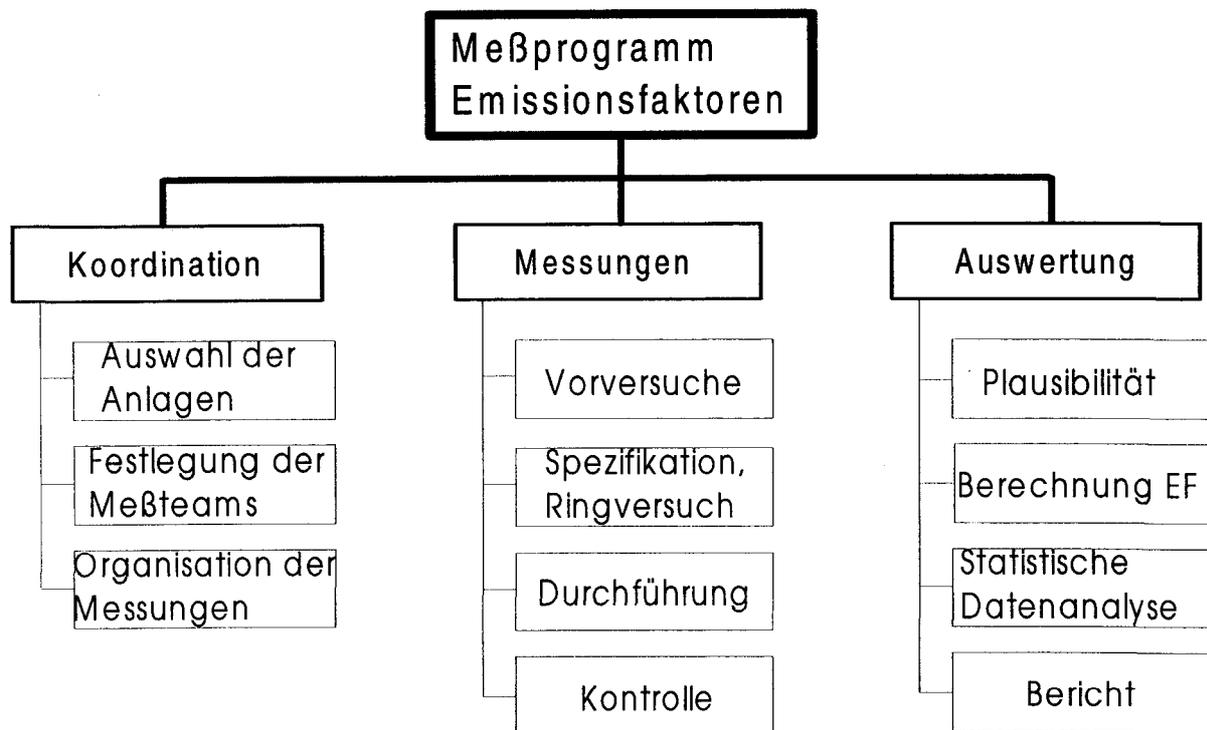


Abbildung 5.1: Projektstruktur

## Koordination

Dieser Bereich umfaßt sämtliche organisatorische Arbeiten, welche zur Durchführung der Messungen erforderlich sind.

- Auswahl der Anlagen

Es beginnt mit der konkreten Auswahl der zu messenden Feuerungsanlagen (Adressen) aufgrund des festgelegten Stichprobenmodells (siehe Kapitel 2 Statistikkonzept). In Kooperation mit den Rauchfangkehrern bzw. ÖSTAT werden die Adressen von Häusern bzw. Wohnungen mit entsprechenden Feuerungsanlagen zufällig ausgewählt. Sodann wird Kontakt mit den Betreibern der Feuerungsanlagen aufgenommen, die Zustimmung zur Durchführung einer Messung eingeholt und der praktische Zugang abgeklärt. So muß z.B. sichergestellt sein, daß eine Probenahmeöffnung vorhanden ist, welche zum Anbringen des "Meßkopfes" geeignet ist, genügend Platz zum Aufbau der Meßgeräte vorhanden ist, die Feuerungsanlage sich in einem "meßbereiten Zustand" befindet, d.h. daß sie z.B. nicht unmittelbar vor einem Austausch steht oder in nächster Zeit größere Umbauten am Heizsystem erfolgen etc.

- Festlegung der Meßteams

Parallel dazu soll die Festlegung der Meßteams erfolgen. Es wird vorgeschlagen, mögliche Meßteams mittels öffentlicher Interessentensuche anzusprechen und zu einer Koordinationsbesprechung zu bitten. Bei dieser Koordinationsbesprechung sollten die Möglichkeiten und Grenzen der verschiedenen Meßteams im Hinblick auf die technische und zeitliche Durchführung der Messungen abgeklärt werden. Damit sollen die Meßteams in der Lage sein, konkrete Angebote abzugeben und am Ringversuch teilzunehmen. Anschließend erfolgt die Auftragsvergabe. Je größer die Anzahl der Meßteams, desto höher ist dieser Aufwand. Es wird daher vorgeschlagen, nur Meßteams mit der Durchführung von Messungen zu beauftragen, welche in der Lage sind eine Mindestanzahl von Messungen (z.B. 15) vorzunehmen.

- Organisation der Messungen

Der zeitliche Ablauf der Messungen muß ebenfalls koordiniert werden, d.h. die Meßteams müssen richtig "eingeteilt" werden. Sollte es bei einzelnen Feuerungsanlagen bzw. Betreibern zu Problemen kommen, so sind die erforderlichen Messungen an anderen Feuerungsanlagen durchzuführen.

## Messungen

Dieser Bereich beinhaltet die Durchführung von Vorversuchen, deren Ergebnisse erst die genaue Spezifikation der Messungen ermöglichen (zum Großteil bereits in diesem Vorprojekt bearbeitet), die Durchführung der Messungen und eine stichprobenartige Kontrolle der Meßteams während der Messungen vor Ort.

- Vorversuche

Diese sind erforderlich, um noch nicht erprobte Meßverfahren auf ihre Tauglichkeit für den Einsatz bei den Feldmessungen zu untersuchen. Es handelt sich dabei in erster Linie um die kontinuierliche Messung der Verbrennungsgasmenge, des Wasserdampfgehaltes im Verbrennungsgas und die "quasikontinuierliche" Staubmessung.

- Spezifikation, Ringversuch

Die endgültige Spezifikation zur Durchführung der Messungen erfolgt aufgrund der Ergebnisse der Vorversuche und der Koordinationsbesprechung. Um die Qualität der Messungen sicherzustellen müssen alle Meßteams an einen Ringversuch teilnehmen.

- Durchführung der Messungen

Die Feldmessungen sind von den beauftragten Meßteams durchzuführen. Die vorausgewerteten Meßdaten und -protokolle (z.B. Auswertung der Staubmessung, Korrektur der Meßwerte bei zu starken Drift der Meßgeräte, etc.) sind so bald wie möglich nach Durchführung der Messung (z.B. innerhalb einer Woche) an die Projektleitung zur weiteren Auswertung zu übermitteln.

- Kontrolle

Diese soll ein möglichst frühzeitiges Reagieren beim Auftreten von Problemen bei den Messungen ermöglichen. Auch hier steigt der Aufwand mit der Anzahl der Meßteams.

## Auswertung

Die Arbeiten dieses Bereiches umfassen sämtliche ab Übergabe der Meß- und Erhebungsdaten notwendigen Tätigkeiten bis zur Berechnung der Emissionsfaktoren und der Erstellung eines Berichtes.

- Plausibilität

Die Auswertung soll unmittelbar nach Erhalt der Meßdaten und -protokolle mit einer Plausibilitätsprüfung der Daten beginnen. Es ist entscheidend, daß dies rasch erfolgt, um auf möglicherweise während der Messung aufgetretene Probleme reagieren zu können bzw. entsprechende Maßnahmen einleiten zu können.

- Berechnung der Emissionsfaktoren

Die Berechnung der Emissionsfaktoren erfolgt wie im Kapitel Auswertekonzept bzw. Statistikkonzept dargestellt.

- Statistische Datenanalyse

Diese ermöglicht, Aussagen über den Vertrauensbereich, Emissionsfaktorenverteilungen, etc. Entsprechen die Ergebnisse nicht den Erwartungen, ist zu entscheiden, ob die "weniger guten" Daten verwertbar sind, oder ob "Nachbesserungen" d.h. die Durchführung weiterer Messungen erforderlich sind. Die Durchführung weiterer Messungen ist natürlich mit Kosten verbunden, welche in der folgenden Aufwands- und Kostenabschätzung durch einen Sicherheitszuschlag enthalten sind.

- Bericht

Die Ergebnisse der Messungen und die daraus ermittelten Emissionsfaktoren werden in einem Bericht dokumentiert. Die Dokumentation soll so gestaltet sein, daß darin alle für zukünftige Messungen zur Aktualisierung der Emissionsfaktoren wichtigen Aspekte enthalten sind.