



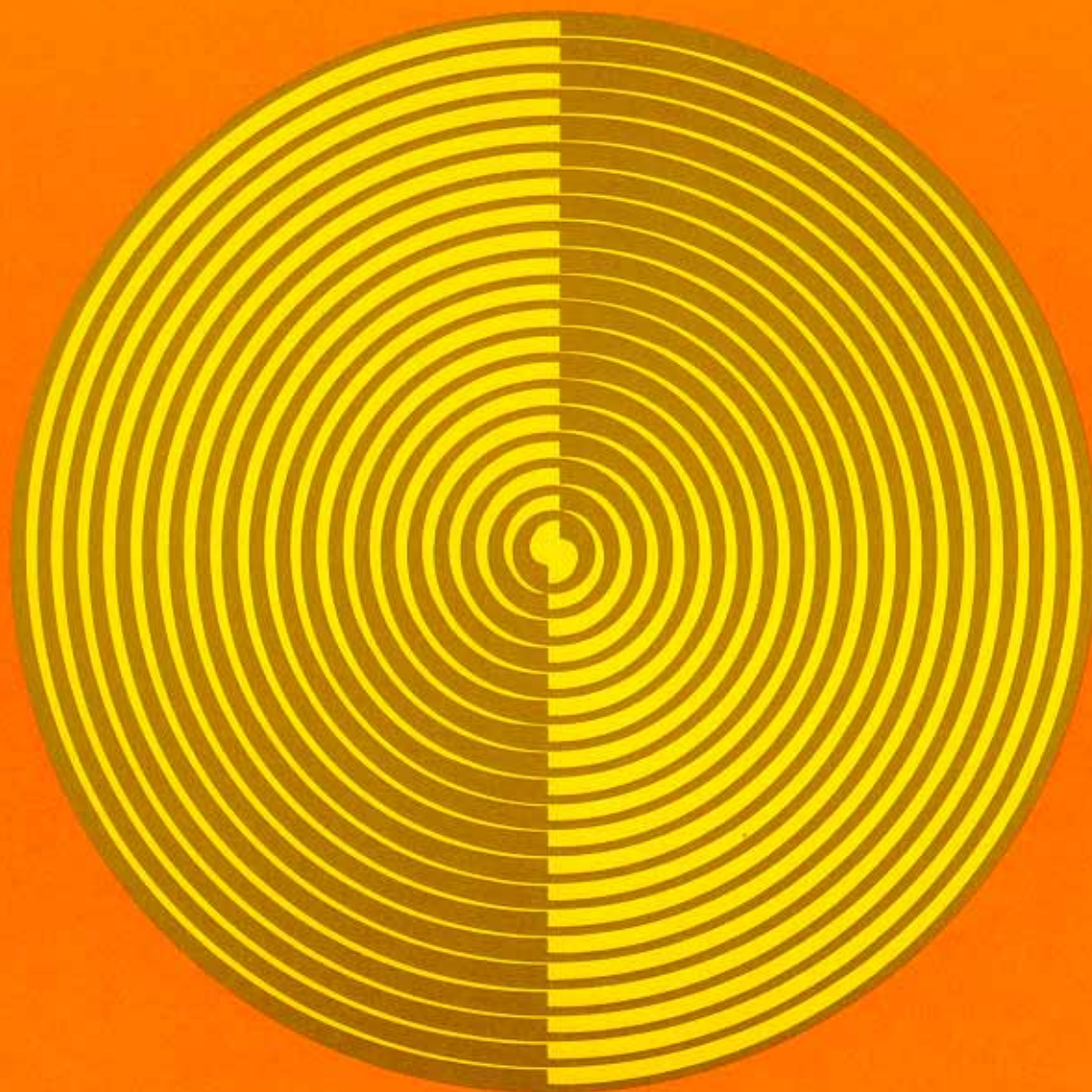
Landesanstalt für Immissionsschutz  
L I S Nordrhein-Westfalen



*LIS-Berichte*

**Nr. 114**

**Emissionen und Immissionen  
durch Holzfeuerungen im  
Hausbrandbereich**

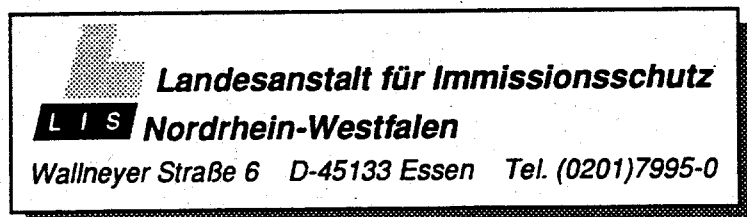


**NRW.**

**LIS-Berichte**

**Nr. 114**  
**Emissionen und Immissionen**  
**durch Holzfeuerungen im**  
**Hausbrandbereich**

Herausgeber



ISSN 0720-8499

1994

100 % Altpapier, chlorfrei gebleicht



---

## **Emissionen und Immissionen durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich**

**Volker Hoffmann, Josef Giebel und Yvonne Trippe**

**Erarbeitet im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und  
Landwirtschaft des Landes Nordrhein Westfalen**



---

# Inhaltsverzeichnis

Seite

|   |    |
|---|----|
| Zusammenfassung   | 7  |
| Summary   | 7  |
| 1. Einführung   | 8  |
| 2. Grundlagen   | 8  |
| 2.1 Holz als Brennstoff   | 8  |
| 2.2 Verbrennungstechnik   | 9  |
| 3. Emissionen   | 10 |
| 3.1 Untersuchungsergebnisse des Instituts für<br>Umweltverfahrenstechnik der GH Essen | 10 |
| 3.1.1 Versuchsaufbau  | 10 |
| 3.1.2 Brennstoffe   | 10 |
| 3.1.3 Meß- und Analysetechnik   | 10 |
| 3.1.4 Meßergebnisse   | 12 |
| 3.2 Ergebnisse aus LIS-Bericht Nr. 103  | 13 |
| 4. Immissionen  | 13 |
| 4.1 Ausgangsdaten für die Ausbreitungsrechnungen                                      | 13 |
| 4.2 Durchführung der Ausbreitungsrechnungen   | 14 |
| 4.3 Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen   | 15 |
| 4.4 Berücksichtigung der Vorbelastung   | 15 |
| 5. Bewertung der Immissionen  | 15 |
| 5.1 Kohlenmonoxid (CO)  | 15 |
| 5.2 Stickstoffoxide (NO <sub>x</sub> ), Stickstoffdioxid (NO <sub>2</sub> )           | 16 |
| 5.3 Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )   | 17 |
| 5.4 Schwebstaub   | 17 |
| 5.5 Chloride, Chlorwasserstoff (HCl)  | 17 |
| 5.6 Kohlenwasserstoffe (C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> )                               | 18 |
| 5.6.1 Phenol (C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH)                                       | 18 |
| 5.6.2 Benzol (C <sub>6</sub> H <sub>6</sub> )   | 18 |
| 5.6.3 Formaldehyd (HCOH)  | 19 |
| 5.6.4 Benzo[a]pyren (BaP)   | 19 |
| 5.6.5 Nitro-PAH (NPAH)  | 20 |
| 5.6.6 Dioxine und Furane (PCDD und PCDF)  | 20 |
| 5.7 Gesamtbewertung   | 20 |
| 6. Literatur  | 21 |
| 7. Tabellenanhang   | 23 |



---

# Emissionen und Immissionen durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich

Volker Hoffmann, Josef Giebel und Yvonne Trippe

## Zusammenfassung

Holzfeuerungen - insbesondere offene Kamine und Kaminöfen - weisen im Vergleich zu Öl- und Gasfeuerungen erheblich höhere, auf die freiwerdende Wärmemenge bezogene Emissionen auf. Am Institut für Umweltverfahrenstechnik der GH Essen sowie von der LIS wurden Emissionsdaten ermittelt. Auf Basis dieser Emissionsdaten wurden Immissionskonzentrationen abgeschätzt, wie sie unter ungünstigen Ausbreitungsbedingungen im Mittel über eine Heizperiode und als kurzzeitige Maximalbelastung auftreten können. Eine Bewertung dieser Immissionskonzentrationen zeigt, daß in der Regel bei ordnungsgemäßigem Betrieb der Feuerungen keine gesundheitlichen Beeinträchtigungen in der Nachbarschaft zu erwarten sind. Bei der (nicht erlaubten) Verfeuerung von feuchtem Holz bzw. Holz und Abfall sind dagegen gesundheitliche Auswirkungen durch Kohlenmonoxid und Stickstoffoxide bei besonders empfindlichen Personen nicht auszuschließen. Bei den organischen Stoffen einschließlich Dioxinen und Furanen ist durch die von den Anlagen bei ordnungsgemäßigem Betrieb verursachten Immissionen nicht von einer gesundheitlichen Beeinträchtigung auszugehen; allerdings ist darauf hinzuweisen, daß für Benzol, Benzo[a]pyren und Dioxine/Furane die Vorbelastung in industriell geprägten Gebieten häufig bereits über den LAI-Beurteilungswerten bzw. dem derzeit diskutierten Richtwert liegen kann.

## Summary

### Emissions and ambient air pollution caused by wood-fired domestic heaters

Based on the amount of heat produced the emissions caused by wood-fired heaters - particularly by open fireplaces and wood stoves - are generally far higher than those by oil and gas heating systems. The Institute of Environmental Process Technology of the University of Essen and the State Agency for Air Pollution and Noise Control (LIS) collected data on the emissions. Based on these data the average and peak ambient air pollution concentrations caused by unfavourable dispersion conditions during the heating period were assessed. An evaluation of these ambient concentrations shows that - in a rule - such firing systems do not pose a health hazard in the neighbourhood if they are properly operated. The (not permitted) use of moist wood or of wood and waste combined may produce concentrations of carbon monoxide and the oxides of nitrogen which may effect the health of particularly susceptible persons. Also no health impairment by organic substances including dioxins and furans needs to be feared if these firing systems are operated correctly. However, it needs to be pointed out that the baseline concentrations of benzene, benzo[a]pyrene as well as dioxins and furans found in industrial areas are frequently already above the air quality limit values of LAI-guideline or the exposure limits presently discussed by the LAI.

## Schlagwörter

Hausbrand, Kleinfeuerung, Holzfeuerung, Emission, Immission, Ausbreitung



## 1. Einführung

Holzfeuerungsanlagen spielen für die Energieversorgung im Bereich der Haushalte und Kleinverbraucher keine bedeutende Rolle. Ihr Anteil am Energieverbrauch liegt in der Größenordnung von 1 %. Aufgrund der hohen auf die freiwerdende Wärmemenge bezogenen Emissionen - insbesondere im Vergleich zu Öl- oder Gasfeuerungen - sind sie dennoch für den Immissionsschutz von großer Bedeutung.

Weit verbreitet in Alt- und Neubauten sind offene Kamine oder Kaminöfen, von denen Behaglichkeit und eine gemütliche Atmosphäre erwartet werden.

Die Anforderungen an solche Anlagen sind in der "Verordnung über Kleinfeuerungsanlagen" (Erste Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes - 1. BImSchV) [1] festgelegt. Um unnötige Emissionen und Immissionen zu vermeiden, müssen beim Betrieb der Anlagen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- eine geeignete, fachgerecht ausgeführte und saubere Anlage,
- ein zugelassener und geeigneter Brennstoff,
- eine sachgerechte Bedienung der Anlage.

Beim Verbrennungsprozeß entstehen aus dem Holz und der Verbrennungsluft feste und gasförmige Reaktionsprodukte und Reststoffe. Die gasförmigen Komponenten werden zusammen mit Asche- und Rußpartikeln in die Atmosphäre geleitet; Hauptkomponenten sind Stickstoff, Kohlendioxid, Sauerstoff, Stickoxide, Schwefeloxide, Kohlenmonoxid und organische Verbindungen. Aufgrund der in der Regel geringen Emissionshöhe bei Wohnhäusern sind Beeinträchtigungen in der Nachbarschaft nicht auszuschließen.

Ziel des vorliegenden LIS-Berichtes ist es, die potentiellen Immissionen in der Nachbarschaft von offenen Kaminen und Kaminöfen darzustellen und zu bewerten. Dies geschieht auf der Basis von Emissionsdaten, die bei Untersuchungen des Instituts für Umweltverfahrenstechnik an der GH Essen sowie der LIS ermittelt wurden.

Es sei darauf hingewiesen, daß erhebliche Beeinträchtigungen in der Umgebung von Holzfeuerungen insbesondere auch von Geruchsemissionen und -immissionen ausgehen können. Diese sind jedoch nicht Gegenstand des vorliegenden Berichtes.

## 2. Grundlagen

### 2.1 Holz als Brennstoff

Die Grundzusammensetzung von Holz, bezogen auf die Trockenmasse, ist:

|             |     |           |
|-------------|-----|-----------|
| Kohlenstoff | ca. | 50 Gew.%, |
| Wasserstoff | ca. | 6 Gew.%,  |
| Sauerstoff  | ca. | 44 Gew.%, |

Der Verbrennungsvorgang läuft in mehreren Phasen ab. In der **Trocknungsphase** zwischen ca. 60 °C und ca. 150 °C wird das im Holz enthaltene Wasser verdampft. Die anschließende **Entgasungsphase** setzt den hohen Anteil an flüchtigen organischen Substanzen des Holzes (bis zu 80 %) frei, wobei ein fester Rückstand aus Holzkohle entsteht. Das gebildete Brenngas wird in der **Oxidationsphase** mittels Luftsauerstoff unter Flammenbildung verbrannt. Den Abschluß des Verbrennungsvorgangs bildet die Oxidation der bei der Entgasung gebildeten Holzkohle; zurück bleibt die Asche.

Das Brennverhalten von Holz sowie Qualität und Quantität der Emissionen hängt wesentlich ab von den folgenden Parametern:

- **Holzfeuchte**  
Die in der Trocknungsphase aufzuwendende Energie zur Verdampfung des Wassers führt zur Senkung der maximal erreichbaren Verbrennungstemperatur. An der Luft getrocknetes Holz weist eine Restfeuchte in der Größenordnung von 15 % auf.
- **Stückigkeit des Brennstoffs**  
Bei grobstückigem Holz wird die Entgasung der innenliegenden Schichten durch die sich außen bildende Holzkohlenschicht verzögert.
- **Kesselleistung**  
Eine zu geringe Auslastung oder eine Überlastung der Brennkammer führt zu einem instabilen Brennverhalten und zu erhöhten Emissionen.
- **Luftmenge und Luftführung**  
Für eine gute Verbrennung ist eine Aufteilung der Verbrennungsluft in Primär- und Sekundärluft sinnvoll. Die Primärluft liefert dabei die Sauerstoffmenge, die für die Entgasungsreaktionen benötigt wird, die Sekundärluft dient dem Ausbrand des gebildeten Brenngases oberhalb der Brennstoffschicht.

## 2.2 Verbrennungstechnik

Im folgenden werden die Feuerungsarten, an denen die Untersuchungen der GH Essen und der LIS durchgeführt wurden, kurz beschrieben. Es handelt sich dabei um Verbrennungstechniken, die im Bereich der handbeschickten Hausbrandfeuerungen weit verbreitet sind.

### Offener Kamin

Die Prinzipdarstellung eines offenen Kamins zeigt Bild 1. Beim offenen Kamin liegt das Holz meist auf einem Rost. Die Verbrennungsluft wird durch die Öffnung zum Wohnraum oder mittels anderer Öffnungen durch den Rost zugeführt (oberer Abbrand oder Durchbrand). Nach Brennstoffaufgabe auf ein bestehendes Glutbett setzt die Entgasung des Holzes mit anschließender Verbrennung bei starker Flammenbildung ein. In der Ausbrandphase verbrennt die verbleibende Holzkohle flammenlos, bis der Vorgang durch erneute Brennstoffzufuhr von vorn beginnt.

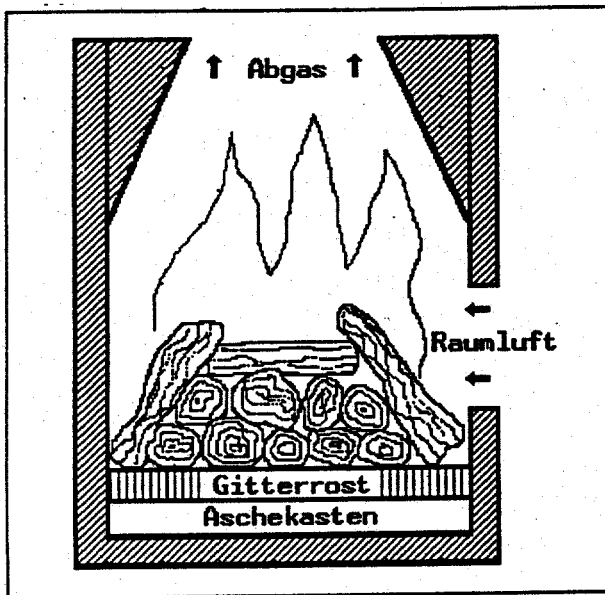


Bild 1: Prinzipdarstellung eines offenen Kamins

### Kaminofen

Der Kaminofen arbeitet wie der offene Kamin nach dem Prinzip des oberen Abbrandes oder Durchbrandes. Das Prinzip ist in Bild 2 dargestellt. Kaminöfen verfügen meist über eine Aufteilung zwischen Primär- und Sekundärluft, die einen besseren Ausbrand des Abgases bewirken soll. Gasreiche Brennstoffe wie Holz oder Braunkohle benötigen mehr Sekundärluft als Primärluft. Die Verbrennung kann mit Rost oder ohne Rost auf einem ebenen Brennraumboden erfolgen.

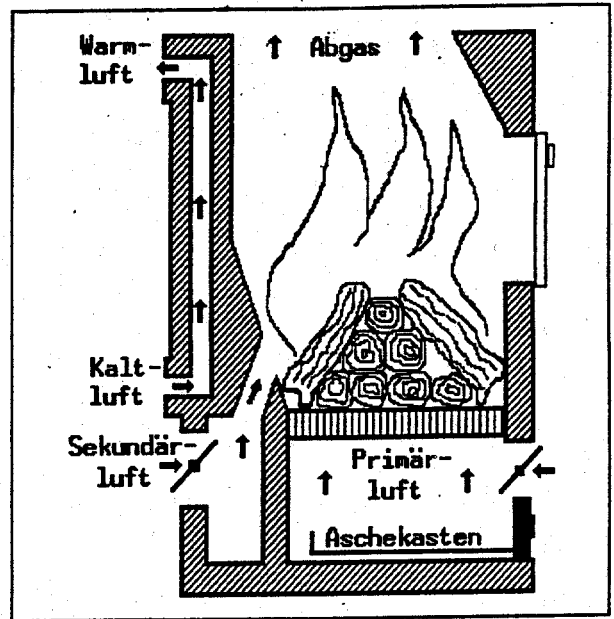


Bild 2: Prinzipdarstellung eines Kaminofens

### Feuerung mit unterem Abbrand

Feuerungen mit unterem Abbrand sind häufig bei Heizkesseln zu finden. Es brennt nur die unterste Schicht der Brennstofffüllung, während in den oberen Zonen Trocknung und Vergasung ablaufen. Das entstehende Abgas wird in der Ausbrandzone durch Zugabe von Sekundärluft nachverbrannt. Feuerungen mit unterem Abbrand weisen in der Regel ein besseres Emissionsverhalten als Feuerungen nach dem Durchbrandprinzip auf und ermöglichen eine flexiblere Anpassung der Feuerungsleistung an den momentanen Wärmebedarf. Bild 3 zeigt das Prinzip.

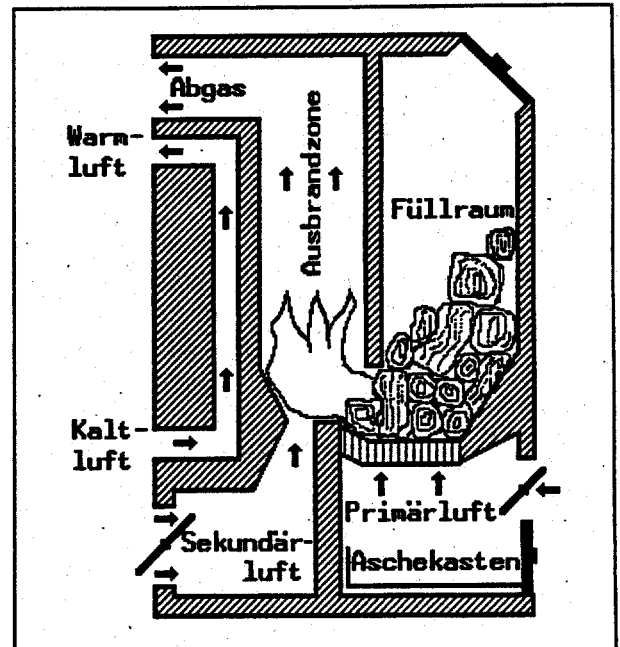


Bild 3: Prinzipdarstellung einer Feuerung mit unterem Abbrand

### 3. Emissionen

Über das Emissionsverhalten von Kleinf Feuerungsanlagen existieren zahlreiche Untersuchungen [2, 3, 4, 5]. Die nachfolgenden Daten stammen aus einem Forschungsvorhaben des Instituts für Umweltverfahrenstechnik der Universität - GH - Essen mit dem Titel "Untersuchungen zur Emission und Raumimmission von Schadstoffen beim Betrieb von offenen Kaminen und Kaminöfen" [6]. Das Vorhaben wurde durchgeführt im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen.

Mit offenen Kaminen und Kaminöfen wurden dabei Anlagenarten untersucht, denen für Holzfeuerungen im Bereich des Hausbrandes große Bedeutung zukommt. Die Palette der gemessenen luftverunreinigenden Stoffe und Stoffgruppen umfaßt alle wesentlichen Verbindungen. Insgesamt ist festzustellen, daß die in der Untersuchung gefundenen Emissionen innerhalb der aus anderen Veröffentlichungen bekannten Bandbreiten liegen, soweit vergleichbare Messungen verfügbar sind.

Die mit dieser Untersuchung vorliegenden Daten sind daher geeignet, als Grundlage für eine allgemeine Betrachtung der durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich verursachten Immissionen zu dienen (siehe Kapitel 4). Der folgende Abschnitt 3.1 enthält eine zusammenfassende Darstellung der Untersuchungsergebnisse. Dabei wurden die Meßwerte der Dioxin- und Furanemissionen allerdings nicht berücksichtigt, da hierzu umfangreiche Untersuchungen der LIS existieren, die als LIS-Bericht Nr. 103 [7] veröffentlicht sind. Die aus LIS-Bericht Nr. 103 für den vorliegenden Bericht übernommenen Daten sind in Abschnitt 3.2 zusammengestellt.

#### 3.1 Untersuchungsergebnisse des Instituts für Umweltverfahrenstechnik der Universität GH Essen

##### 3.1.1 Versuchsaufbau

Beim *offenen Kamin* handelte es sich um einen einseitig offenen Warmluftkamin der Fa. Rösler, Typ Vulkan S 65/50, mit einer Nennwärmeleistung von 11 kW und einem Raumheizvermögen bis 300 m<sup>3</sup> bei mittlerem Wärmebedarf. Der nach dem Durchbrandprinzip arbeitende Kamin war mit einem Zweikreisssystem ausgerüstet, bei dem Wärmezirkulation und Verbrennungsluftzuführung durch Kammersysteme voneinander getrennt waren. Die Verbrennungsluft wurde nur dem Brennstoff im Feuerungsraum zugeführt. Der Wärmeaustausch erfolgte unabhängig davon in einer Doppelkammer im Feuerungsraum und Heißgassammler. Die von außen zugeführte Verbrennungsluft wurde vorgewärmt und trat direkt vor der Feuerungsöffnung über einen Drehschieber

auf der gesamten Breite vor der Brennstoffschicht aus. Die Verbrennung konnte wahlweise mit oder ohne Rost erfolgen.

Der *Kaminofen* der Fa. DKG, Typ Premium, war wie der offene Kamin für die Brennstoffe Holz und Braunkohlebriketts zugelassen. Betriebstechnische Daten:

|                   |        |                |
|-------------------|--------|----------------|
| Nennwärmeleistung | 9      | kW             |
| Raumheizvermögen  | 85-180 | m <sup>3</sup> |
| Heizfläche        | 1,5    | m <sup>2</sup> |
| Minimaler Zug     | 10     | Pa             |

Die Funktionsweise des Kaminofens entsprach der eines Durchbrandofens mit Aufteilung der Verbrennungsluft in Primär- und Sekundärluftzufuhr. Die Verbrennung erfolgte ohne Rost auf einem ebenen Brennraumboden.

##### 3.1.2 Brennstoffe

Als Brennstoffe wurden im wesentlichen eingesetzt:

- lufttrockenes Holz mit einem Feuchtegehalt zwischen 11 und 17,5 %,
- feuchtes Holz mit einem Feuchtegehalt zwischen 30 und 38 %,
- Holzbriketts aus naturbelassenen Holzhackschnitzeln, die aus Durchforstholz ohne chemische Zusätze oder Bindemittel unter hohem Druck zu zylindrischen Formteilen (Durchmesser ca. 8 cm, Länge ca. 20 cm) gepreßt wurden,
- Braunkohlebriketts in der handelsüblichen 6-Zoll-Brikettgröße,
- eine Mischung aus trockenem Holz und ca. einem Drittel brennbaren Bestandteilen des üblichen Hausmülls, im wesentlichen Verpackungsmüll (z.B. Milchtüten, Kunststoffe).

Es ist darauf hinzuweisen, daß aufgrund der Vorgaben der 1. BImSchV weder feuchtes Holz noch Hausmüll zugelassene Brennstoffe für Kleinf Feuerungsanlagen sind; sie wurden in die Untersuchungen mit aufgenommen, da davon auszugehen ist, daß sie dennoch nicht selten als Brennmaterial eingesetzt werden.

##### 3.1.3 Meß- und Analysentechnik

Um das Betriebs- und Emissionsverhalten von Feuerungsanlagen erfassen zu können, ist die Bestimmung betriebstechnischer Parameter und die Konzentrationsbestimmung von Rauchgasinhaltsstoffen erforderlich.

Tabelle 1: Gasanalysatoren

| Meßgröße          | Meßgerät       | Meßprinzip              | Lieferfirma      |
|-------------------|----------------|-------------------------|------------------|
| Sauerstoff        | Magnos 5T      | Paramagnetismus         | Hartmann & Braun |
| Kohlenmonoxid     | Binos 1.2      | Infrarotabsorption      | Leybold Heraeus  |
| Kohlendioxid      | Binos 1.2      | Infrarotabsorption      | Leybold Heraeus  |
| Schwefeldioxid    | Binos 4b2      | UV-Absorption           | Leybold Heraeus  |
| Kohlenwasserstoff | GWK Modell VE5 | Ionisation von C-Atomen | JUM Engineering  |
| Stickstoffoxide   | Beckmann M 951 | Chemilumineszenz        | Beckmann         |

Im Rahmen der hier beschriebenen Messungen handelte es sich bei den betriebstechnischen Parametern um folgende Größen:

- Rauchgastemperatur,
- Kaminzugstärke,
- Brennstoffzufuhr,
- Umgebungstemperatur,
- Ofeneinstellungen (Luftschieber, Rost, Feuerraumtür).

Die Analyse der Rauchgaskomponenten erfolgte abhängig von der Konzentrationshöhe und den jeweils erforderlichen Probenahmeverfahren entweder kontinuierlich oder diskontinuierlich in Zeitintervallen. Für die kontinuierlichen Messungen der im ppm- bzw. %-Bereich vorliegenden Rauchgasbestandteile wurden handelsübliche selektive Gasanalysatoren eingesetzt (siehe Tabelle 1).

Diskontinuierliche Methoden fanden Anwendung bei den Komponenten

- Chlorid und Fluorid
- Benzol
- polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH)
- nitrierte polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (NPAH)
- Formaldehyd
- Phenol

Zur Bestimmung dieser Schadstoffemissionen wurden ebenfalls über Entnahmestutzen der Meßstrecke Teilvolumenströme des Rauchgases den einzelnen Sammelapparaturen zugeführt. Die einzelnen analytischen Methoden sind im folgenden erläutert:

#### Chlorid/Fluorid

Die Probenahme zur Bestimmung der Halogenwasserstoffe erfolgte gemäß den VDI-Richtlinien 3480 [8] und 2470 [9]. Ein Teilgasstrom wurde mit einer beheizten PTFE-Sonde aus dem Kamin entnommen und durch zwei Absorptionsgefäße mit je 100 ml 0,1 n NaOH geleitet. Eine Pumpe förderte das Probengas über einen Tropfen-

abscheider und einen Gasmengenzähler in die Abgasführung zurück. Zur Analyse wurde die Probenflüssigkeit mit Salpetersäure neutralisiert und mit einem Ionenpuffer auf pH 5 eingestellt. Anschließend erfolgte die Konzentrationsbestimmung für Cl<sup>-</sup>/F<sup>-</sup> mittels ionenselektiver Elektroden.

#### Benzol

Für die Konzentrationsbestimmung von Benzol wurde Rauchgas durch ein Sorptionsrohr gesaugt, das mit hochreiner Aktivkohle gefüllt war. Unmittelbar anschließend an die Probenahme wurde die Aktivkohle mit benzolfreiem Schwefelkohlenstoff eluiert und das Benzol gaschromatographisch an einem Carlo Erba GC 6000 Vega Serie, bestückt mit einer GSQ-Trennsäule der Firma J&W Scientific (30 m x 0,53 mm), bestimmt.

#### Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe

Ein Rauchgasteilstrom von ca. 5 - 10 m<sup>3</sup>/h wurde nach Abscheidung der partikelgebundenen PAH in einem Hochleistungskühler auf Temperaturen unter 20°C abgekühlt und durch einen Tropfenabscheider und ein Adsorptionsrohr geleitet. Sämtliche Fraktionen aus Filter, Kondensat und Adsorberharz sowie zusätzlich das Reinigungseton wurden extrahiert und chromatographisch vorgereinigt. Die Analyse der PAH erfolgte mit einer "reversedphase"-Säule in einem HPLC UV/Vis Detektor BT 8200 der Firma Biotronic.

In Tabelle 2 werden die 16 häufigsten in der Umwelt vorkommenden PAH benannt. Sie sind in der amerikanischen EPA Priority Pollution List angegeben. Die PAH-Bestimmung nach dieser Liste ist international gebräuchlich; daher wurde sie auch im vorliegenden Forschungsvorhaben verwendet.

#### Nitro-PAH

Die Probenahme zur Nitro-PAH-Bestimmung erfolgte gleichzeitig mit der PAH-Probenahme. Die fraktioniert erfaßten Proben wurden geteilt und separat zur NPAH-Analyse vorbereitet. Die einzelnen Proben wurden mit

Dichlormethan und Cyclohexan extrahiert, chromatographisch vorgereinigt und nach Reduktion zum Amin mit einem GC-MS der Firma Hewlett Packard (Modell 5890A/5970) analysiert. Die einzelnen untersuchten NPAH wurden anhand von Mutagenitätslisten ausgewählt und sind in der Tabelle 3 aufgelistet.

**Tabelle 2: Liste der untersuchten polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe**

|    |                       |
|----|-----------------------|
| 1  | Naphthalin            |
| 2  | Acenaphthylen         |
| 3  | Acenaphthen           |
| 4  | Fluoren               |
| 5  | Phenanthren           |
| 6  | Anthracen             |
| 7  | Fluoranthren          |
| 8  | Pyren                 |
| 9  | Chrysen               |
| 10 | Benz(a)anthracen      |
| 11 | Benzo(b)fluoranthren  |
| 12 | Benzo(k)fluoranthren  |
| 13 | Benzo(a)pyren         |
| 14 | Dibenz(a,h)anthracen  |
| 15 | Benzo(ghi)perylen     |
| 16 | Indeno(1,2,3-cd)pyren |

**Tabelle 3: Liste der untersuchten nitrierten polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe**

|   |                     |
|---|---------------------|
| 1 | 1-Nitronaphthalin   |
| 2 | 2-Nitronaphthalin   |
| 3 | 2-Nitrobiphenyl     |
| 4 | 3-Nitrobiphenyl     |
| 5 | 4-Nitrobiphenyl     |
| 6 | 2-Nitrofluoren      |
| 7 | 9-Nitroanthracen    |
| 8 | 1-Nitropyren        |
| 9 | 6-Nitrobenz(a)pyren |

#### Formaldehyd

Für die Bestimmung der Formaldehydmenge (HCHO) im Rauchgas wurde eine separate Probenahme eingerichtet. In Anlehnung an die VDI-Richtlinie 3484, Blatt 1 [10], wurde ein Teilvolumenstrom von ca. 3 - 5 l Rauchgas/min durch die mit je 75 ml bidestilliertem Wasser gefüllten Waschflaschen geleitet. Die Analyse der HCHO-Konzentration erfolgte nach dem Chromotropsäureverfahren in einem Spektralphotometer der Firma Hitachi Modell 100-20.

#### Phenol

Die Bestimmung der Phenolkonzentration im Rauchgas der Feuerungen erfolgte nach der VDI-Richtlinie 3485 "Messen von Phenolen" [11]. Über einen Silbersulfatvorabscheider zur Abscheidung von störenden Aminen und Schwefelwasserstoff wurde ein Teilrauchgasvolumenstrom von ca. 4 - 7 l/min durch drei Impinger geleitet, die jeweils mit 75 ml 0,1 n NaOH gefüllt waren. Zur Analyse der Phenolkonzentration nach dem Impinger-Verfahren wurde die Absorptionslösung nach der Reaktion mit Natriumnitrit, Natriumcarbonat und Formaldehyd versehen. Die Extinktion der entstandenen Farblösung wurde mit einem Spektralphotometer, Hitachi Modell 100-20, gemessen.

#### 3.1.4 Meßergebnisse

Die Meßergebnisse des Kaminofens sind in den Tabellen 5 - 8 im Tabellenanhang, die des offenen Kamins in den Tabellen 9 - 12 im Tabellenanhang zusammengestellt.

Die Betriebsweise sowohl des Kaminofens als auch des offenen Kamins ist durch einen instationären und stark alternierenden Verbrennungsablauf aufgrund der diskontinuierlichen Brennstoffzufuhr gekennzeichnet. Zum Vergleich verschiedener Meßreihen ist daher die Bildung von Mittelwerten aus mehreren Messungen erforderlich. In den Tabellen sind jeweils die minimalen und maximalen Einzelwerte aller brennstoffspezifischen Versuche sowie der entsprechende Mittelwert aufgeführt. Ausgewertet wurden dabei die Ergebnisse der Heizphasen. Die Anzündphasen und die Ausbrandphasen wurden nicht berücksichtigt, da sie in der Praxis meist kurz im Vergleich zur Heizphase sind. Zur besseren Vergleichbarkeit sind alle Werte auf 11 % O<sub>2</sub> bezogen.

Ein Bezug der Emissionskonzentrationen auf den unteren Heizwert der jeweils eingesetzten Brennstoffe ergibt Emissionsfaktoren, die einen Vergleich der verschiedenen Brennstoffe hinsichtlich ihres Emissionsverhaltens unter Berücksichtigung der bei der Verbrennung freiwerdenden Energie erlauben. In Tabelle 4a sind die Daten für die Untersuchungen der GH Essen zusammengestellt. Sie basieren auf den Mittelwerten der Messungen, die während der Heizphasen der einzelnen Versuche durchgeführt wurden, und sind auf den Heizwert der verschiedenen im Rahmen der Untersuchungen eingesetzten Brennstoffe bezogen. Da insgesamt gesehen die Emissionskonzentrationen des Kaminofens in der gleichen Größenordnung wie die des offenen Kamins liegen, wurde die Bandbreite der Emissionsfaktoren aus den Ergebnissen beider Feuerungsarten ermittelt. Die Emissionsfaktoren für Dioxine und Furane aus den Untersuchungen der LIS wurden ebenfalls in die Tabelle aufgenommen.

Zum Vergleich der Größenordnungen sind in Tabelle 4b die Emissionsfaktoren für feste Brennstoffe, Heizöl EL und Erdgas bei Haushaltsfeuerungen aus dem Luftreinhalteplan Rheinschiene Süd [12] aufgeführt. Bei den Emissionsfaktoren für feste Brennstoffe handelt es sich um Werte, die entsprechend den Anteilen der verschiedenen Brennstoffe nach der Absatzstatistik sowie den eingesetzten Ofentypen gewichtet wurden.

### 3.2 Ergebnisse aus LIS-Bericht 103

Die wesentlichen Ergebnisse aus LIS-Bericht 103 zur Holzverbrennung sind in den Tabellen 13 und 14 im Tabellenanhang dargestellt. Die Untersuchungen wurden an einer Feststofffeuerung der Fa. Wilhelm und Sander, Typ WSF DE 30 nach DIN 4702, mit einer Nennwärmeleistung von 35 kW sowie an einem offenen Kamin (Selbstbau der Schornsteinfegerschule in Dülmen) durchgeführt. Weitere Einzelheiten, insbesondere zur Meßtechnik und zur Durchführung der Messungen, sind dem LIS-Bericht 103 zu entnehmen.

Unter "TEqmin" ist der Toxizitätsäquivalent-Wert zu verstehen, bei dessen Berechnung die nicht nachgewiesenen Kongenere nicht berücksichtigt werden; bei "TEqmax" wird die Nachweisgrenze bei der Berechnung des Toxizitätsäquivalent-Wertes eingesetzt. Alle in diesem Bericht aufgeführten Toxizitätsäquivalent-Werte sind Werte nach NATO/CCMS (internationale Toxizitätsäquivalent-Werte).

Im Hinblick auf Dioxine und Furane zeigt sich, daß die Mitverbrennung von Haushaltsabfällen (Verpackungsmüll) zu einer deutlichen Erhöhung der Emissionen führt. Dies ist unabhängig davon, ob ein Heizkessel oder ein offener Kamin zum Einsatz kommt.

## 4. Immissionen

### 4.1 Ausgangsdaten für die Ausbreitungsrechnungen

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen der GH Essen und der LIS wurden die Ausgangsdaten für die Ausbreitungsrechnungen zusammengestellt. Dabei wurde folgende Vorgehensweise gewählt:

Es wird unterschieden zwischen maximalen und mittleren Emissionen. Unter maximalen Emissionen sind kurzzeitig (etwa stundenweise) auftretende hohe Emissionskonzentrationen und -massenströme zu verstehen; mittlere Emissionen sind die über eine Heizperiode

gemittelten Emissionskonzentrationen und -massenströme.

### Maximale Emissionen

Die maximalen Emissionskonzentrationen und -massenströme sind in den Tabellen 15 - 19 im Tabellenanhang zusammengestellt. Als maximale Emissionen wurden aus den Untersuchungen der GH Essen die höchsten während einer Heizphase für die jeweiligen Brennstoffe und Schadstoffe ermittelten Werte ausgewählt. Dabei wurde nicht zwischen offenem Kamin und Kaminofen unterschieden, da die Emissionskonzentrationen beider Anlagen etwa in der gleichen Größenordnung liegen. Für Dioxine und Furane wurden die höchsten von der LIS an dem oben beschriebenen offenen Kamin für die jeweiligen Brennstoffe gemessenen Einzelwerte zugrunde gelegt.

Für die Berechnung des Abgasvolumenstromes wurde eine Anlage mit einer Nennwärmeleistung von ca. 17 kW angenommen; für die betrachteten Brennstoffe ergaben Verbrennungsrechnungen Volumenströme zwischen 44 und 48 m<sup>3</sup>/h trockenes Abgas bei 11% O<sub>2</sub>.

### Mittlere Emissionen

Die mittleren Emissionskonzentrationen und -massenströme sind in den Tabellen 15 - 19 im Tabellenanhang dargestellt. Ausgangsdaten sind die von der GH Essen gemessenen Konzentrationen; es wurde für jeden Brennstoff und Schadstoff der Mittelwert aller während der Heizphasen des Kaminofens ermittelten Werte eingesetzt. Der offene Kamin wurde nicht berücksichtigt, da offene Kamine nach den Bestimmungen der 1. BImSchV nur gelegentlich betrieben werden dürfen. Für Dioxine und Furane wurde der Mittelwert aller Einzelmessungen für den jeweiligen Brennstoff am oben beschriebenen Heizkessel berechnet.

Der Berechnung des Abgasvolumenstromes liegen folgende Annahmen zugrunde:

Der Kaminofen dient zur Beheizung einer 80 m<sup>2</sup> Wohnung in einem Altbau mit einem spezifischen jährlichen Wärmebedarf von ca. 250 kWh/m<sup>2</sup>a. Die Heizperiode reicht von Oktober bis März (4380 h/a). Für den Ofen ergibt sich demzufolge eine mittlere, während der Heizperiode abzugebende Wärmeleistung von ca. 4,5 kW. Verbrennungsrechnungen liefern daraus die mittleren Abgasvolumenströme während der Heizperiode, die zwischen 11,7 und 12,8 m<sup>3</sup>/h trockenes Abgas bei 11% O<sub>2</sub> für die einzelnen Brennstoffe liegen.

Der emittierte Staub wird für die Ausbreitungsberechnung im Nahbereich vereinfachend als Schwebstaub angenommen.

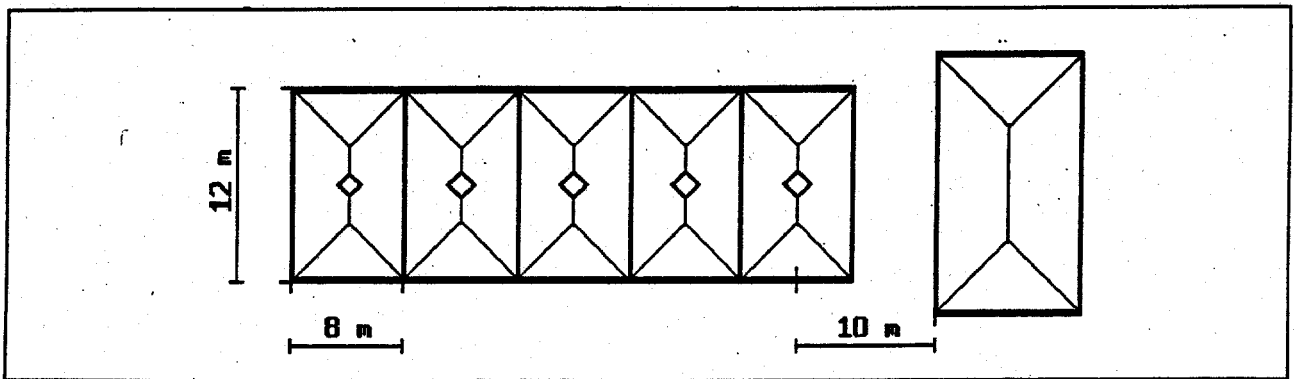


Bild 4: Anordnung der Häuser für die Ausbreitungsrechnung

#### 4.2. Durchführung der Ausbreitungsrechnungen

Im folgenden werden die im Lee eines einzelnen offenen Kamins oder Kaminofens bzw. fünf eng benachbarter offener Kamine oder Kaminöfen zu erwartenden maximalen Immissionen auf der Basis der in Abschnitt 4.1 angegebenen Emissionen abgeschätzt. Wie bei den Emissionen wird auch bei den Immissionen zwischen maximalen und mittleren Immissionen unterschieden. Bei den fünf benachbarten Kaminen wird angenommen, daß sie alle gleichzeitig in Betrieb sind.

Für die Berechnung wird eine eingeschossige Wohnbebauung von 5 m Höhe in Reihenbauweise angenommen. Die Breite der einzelnen Reihenhäuser wird mit 8 m, die Länge mit 12 m angesetzt. Der Kamin soll sich jeweils in der Mitte des Hauses befinden. In 6 m Entfernung von dem Eck-Reihenhaus bzw. in 10 m Entfernung vom letzten Kamin soll ein Haus stehen, das die emittierenden Kamine überragt. Die Anordnung der Häuser geht aus Bild 4 hervor.

##### Abschätzung der maximalen Immissionen

Bei einem oder mehreren offenen Kaminen oder Kaminöfen treten die höchsten Immissionen auf, wenn

- die Abgasfahne entweder auf ein Nachbargebäude trifft, welches den Kamin überragt (Fall 1) oder
- die Abgasfahne bei Übereckanströmung in den Lee-wirbel hinter dem(n) Wohngebäude(n) hineingezogen wird, wie das bei höheren Windgeschwindigkeiten als der Austrittsgeschwindigkeit der Abgase geschehen kann (Fall 2).

Im Fall 1 lassen sich die Immissionen mit Hilfe der in der LIS entwickelten Nahbereichsgleichung berechnen [13]:

$$c = Q / (2 \cdot x^{1,6} \cdot u) \quad (1)$$

mit c: Immissionskonzentration in  $\text{mg}/\text{m}^3$ ,  
(Halbstundenmittelwert),

Q: Emission in  $\text{mg}/\text{s}$ ,  
x: Quellentfernung in m,  
u: Windgeschwindigkeit in  $\text{m}/\text{s}$ .

Im Fall 2 können die Immissionen mit Hilfe folgender Gleichung (nach [14]) abgeschätzt werden:

$$c = Q / (0,2 \cdot A \cdot u) \quad (2)$$

mit A: angeströmte Gebäudefläche in  $\text{m}^2$  (senkrecht zur Windrichtung)

und den Parametern c, Q und u wie in Gleichung 1.

Die Immissionen treten bis zu einer Entfernung von etwa der dreifachen Gebäudehöhe, also etwa 15 m, auf. Die Fläche A senkrecht zur Windrichtung in Gleichung 2 ergibt sich den Annahmen entsprechend bei Übereckanströmung an einem Einzelgebäude zu  $72 \text{ m}^2$  und bei fünf benachbarten Reihenhäusern zu  $209 \text{ m}^2$ . Im Fall 1 wird mit einer Windgeschwindigkeit von  $1,5 \text{ m}/\text{s}$  und im Fall 2 mit einer Windgeschwindigkeit von  $3 \text{ m}/\text{s}$  gerechnet. Die Immissionen sollen sich im Fall 1 in Windrichtung überlagern.

##### Abschätzung der mittleren Immissionen

Der Abschätzung der während der Heizperiode zu erwartenden mittleren Immissionen wurden die mittleren Emissionen zugrunde gelegt. Die mittleren Immissionen liegen für den Fall 2 um etwa Faktor 5 niedriger als mit Gleichung 2 berechnet (vergl. [14]). Der Faktor 5 läßt sich näherungsweise auch auf den Fall 1 übertragen.

#### 4.3 Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen

Die mit Hilfe der beiden Gleichungen auf die angegebene Weise berechneten Immissionen gehen aus den Tabellen 20 - 24 im Tabellenanhang hervor. Die Werte stellen die maximale bzw. mittlere Zusatzbelastung am den/die Emittenten überragenden Nachbargebäude (Fall 1) bzw. im Lee-wirbel hinter dem/den Emittenten (Fall 2) dar. Für jeden betrachteten Brennstoff sind die maximalen und die

mittleren Immissionen aufgeführt. Die Berechnungen ergeben, daß bei Anströmung des Hauses bzw. der Häuser über Eck (Fall 2) höhere Immissionen auftreten als bei Auftreffen der Abgasfahne auf ein Haus (Fall 1). Die höchsten Immissionen entstehen demzufolge bei Über-  
eckanströmung von fünf emittierenden Häusern.

#### 4.4 Berücksichtigung der Vorbelastung

Neben der Zusatzbelastung durch die offenen Kamine oder Kaminöfen ist für eine Bewertung der Immissionen auch die Immissionsvorbelastung bzw. die Gesamtbelastung als Summe aus Vorbelastung und Zusatzbelastung von Bedeutung. Um eine pessimale Abschätzung der Gesamtbelastung zu erhalten, wurden Immissionsvorbelastungen in industriell geprägten Gebieten in Tab. 25 zusammengestellt, wobei die Werte möglichst gebietsübergreifend abgeschätzt wurden. Es handelt sich dabei um Jahresmittel- und 98-Perzentilwerte, die größtenteils aus Messungen resultieren; lediglich die Werte für Phenol, Formaldehyd und Chloride wurden durch Ausbreitungsrechnungen simuliert. Bei den nachfolgenden Betrachtungen wurden als erste Näherung bei den mittleren Immissionen die Jahresmittelwerte und bei den maximalen Immissionen die 98-Perzentilwerte der Immissionsvorbelastung für die Ermittlung der Gesamtbelastung herangezogen.

### 5. Bewertung der Immissionen

In diesem Kapitel werden die in Kapitel 4 abgeschätzten Immissionskonzentrationen im Hinblick auf ihre Wirkung auf Menschen, die sich in der Nachbarschaft von Holzfeuerungen aufhalten, beurteilt.

Dazu werden zunächst für jeden der untersuchten Stoffe kurz die Wirkungen, die im Konzentrationsbereich von Luftverunreinigungen von Bedeutung sind, dargestellt. Anschließend werden die in dieser Untersuchung ermittelten Immissionskonzentrationen anhand der jeweiligen Bewertungsmaßstäbe beurteilt und die gesundheitlichen Auswirkungen insgesamt in einer Abschlußbeurteilung zusammengefaßt.

Die Bewertung bezieht sich dabei auf die Gesamtbelastung, die sich aus den abgeschätzten Immissionen von Holzfeuerungen im Hausbrandbereich (Zusatzbelastungen) und der Vorbelastung zusammensetzt.

#### 5.1 Kohlenmonoxid (CO)

##### Allgemeiner Wirkungscharakter

Kohlenmonoxid ist ein farb-, geruch- und geschmackloses Gas. Seine Toxizität beruht auf seiner hohen Affinität

zum roten Blutfarbstoff Hämoglobin. Diese ist etwa 250mal größer als die des Sauerstoffs, so daß Kohlenmonoxid Sauerstoff aus seiner Bindung an Hämoglobin verdrängen und so einen Sauerstoffmangel in Organen und Geweben herbeiführen kann.

Die Bildung dieses Carboxylhämoglobins (COHb) ist abgesehen von der CO-Außenluftkonzentration auch von der körperlichen Belastung (resultierend in einem höheren Atemminutenvolumen) während der Exposition abhängig.

Bei geringeren COHb-Gehalten (unter 10%), wie sie durch Außenluftverunreinigungen zu erwarten sind, werden hauptsächlich erste Wirkungen auf die Herzkranzgefäße und neurologische Wirkungen bzw. Beeinträchtigungen der Reaktionsleistung und des Aufmerksamkeitsgrades beobachtet. Als Wirkungsschwelle für die gesunde Bevölkerung wird ein COHb-Gehalt von 5% angesehen, oberhalb derer physische Leistungseinschränkungen auftreten können [15].

##### Bewertung der Belastung durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich

Im Rahmen der Genehmigung von Anlagen nach dem Bundesimmissionsschutzgesetz (BImSchG) werden in der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) Immissionswerte zum Schutz vor Gesundheitsgefahren festgelegt (2.5.1 TA Luft). Für Kohlenmonoxid beträgt dieser Grenzwert auf kurzzeitige Exposition bezogen (98-Perzentilwert, IW2)  $30 \text{ mg/m}^3$  und auf langfristige Exposition (Jahresmittelwert, IW1)  $10 \text{ mg/m}^3$ . Auch wenn Holzfeuerungen im Hausbrandbereich keine nach BImSchG zu genehmigenden Anlagen sind und der Zeitbezug des Wertes, der sich auf die langfristige Exposition bezieht, im vorliegenden Fall nicht einem Jahr, sondern der Heizperiode (Oktober bis März) entspricht, sind die immissionsbegrenzenden Werte der TA Luft für die Beurteilung von möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der ermittelten Immissionskonzentration geeignet.

Der Vergleich der abgeschätzten Gesamtbelastung für Kohlenmonoxid mit dem Jahresmittelwert der TA Luft zeigt, daß dieser Wert bei allen angegebenen Betriebsformen eingehalten wird.

Der 98-Perzentilwert der TA Luft wird bei der Verfeuerung der meisten Brennstoffe eingehalten. Bei der Verbrennung von trockenem Holz liegt jedoch beim Betrieb von fünf offenen Kaminen bzw. Kaminöfen im Fall 2 (Über-  
eckanströmung) die Immissionskonzentration im Bereich des Grenzwertes. Bei der Verbrennung von Holz und Abfall wird der immissionsbegrenzende Wert sogar in allen Fällen erreicht oder überschritten, beim Betrieb



von fünf offenen Kaminen oder Kaminöfen im Fall 2 bis zum Faktor fünf.

Bei Langzeitexpositionen gegenüber den auf den Betrieb von Kaminen zurückzuführenden Immissionskonzentrationen ist nicht von einer Gesundheitsgefahr auszugehen, da der entsprechende TA Luft-Wert eingehalten wird. Für die kurzzeitige Exposition wird in der vorliegenden Untersuchung im ungünstigsten Fall ein Wert von  $159 \text{ mg/m}^3$  (inklusive Vorbelastung) ermittelt. In der Literatur wird entsprechend bei einer Exposition gegenüber ca.  $170 \text{ mg/m}^3$  über 1 h (bei mäßiger körperlicher Belastung) ein CO-Hämoglobin-Wert von 5 % angegeben, bei dem Effekte auf die Konzentrationsleistung und auf die physische Leistungsfähigkeit festgestellt werden konnten [16]. Hier ist besonders die gegenüber CO-Belastung empfindlichste Bevölkerungsgruppe, Menschen mit chronisch anginösen Herzbeschwerden, betroffen. Für diese Gruppe wird ein COHb-Spiegel im Blut von 2,9 bis 4,5 % angegeben, der zur verstärkten Auslösung und zur Verlängerung von akuten Angina-pectoris-Anfällen führen kann [15].

## 5.2 Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ), Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ )

### Allgemeiner Wirkungscharakter

Stickstoffoxide ( $\text{NO}_x$ ) stellen ein Gemisch verschiedener Stickstoffoxide dar und wirken stark toxisch auf die Atemwege, wobei die meisten Effekte auf die Komponente Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) zurückzuführen sind.

$\text{NO}_2$  ist ein rotbraunes, stechend riechendes Gas und wirkt stark oxidierend. Primärer Angriffsort sind die Schleimhäute des Atemtraktes, an denen es abhängig von der Konzentration und der Expositionsdauer zu Reizungen kommen kann.

In Laboruntersuchungen zur  $\text{NO}_2$ -Wirkung auf die Lungenfunktion des Menschen, in die auch sensible Gruppen wie Bronchitiker und Asthmatiker einbezogen waren, wurden hauptsächlich atemmechanische Parameter wie Veränderungen der Lungendehnbarkeit, des Atemwegwiderstandes oder der forcierten Vitalkapazität und die Empfindlichkeitssteigerung gegenüber bronchokonstriktiven Substanzen untersucht. Dabei wurden nachteilige Wirkungen auf den Atemwegwiderstand oder andere Veränderungen, die auf eine gestörte Lungenfunktion hinweisen, erst bei Konzentrationen oberhalb von  $1800 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  beobachtet [17]. Die niedrigste Konzentration, bei der bei Asthmatikern (reversible) Veränderungen der Lungenfunktion beobachtet wurden, liegt bei  $560 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  [15].

### Bewertung der Belastung durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich

Für  $\text{NO}_2$  sind in der TA Luft (siehe 5.1) ebenfalls immissionsbegrenzende Werte festgelegt worden. Auf langfristige Exposition bezogen beträgt der Wert  $80 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (Jahresmittelwert), als Kurzzeitwert (98-Perzentilwert) werden  $200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  festgelegt.

Bei einem Vergleich der in dieser Untersuchung ermittelten mittleren Immissionskonzentrationen mit dem Jahresmittelwert zeigt sich, daß dieser bei der Verfeuerung aller angegebenen Brennstoffe auch unter Einbeziehung der Vorbelastung eingehalten wird.

Bezogen auf die Werte zur langzeitigen Exposition ist daher nicht von einer Gesundheitsgefahr durch Stickstoffoxide auszugehen.

Der 98-Perzentil-Wert der TA Luft wird unter Einbeziehung der Vorbelastung beim Betrieb eines einzelnen offenen Kamins oder Kaminofens im Fall 2 (Übereckanströmung) bei der Verfeuerung von allen Materialien überschritten (bis zum Faktor 1,8). Bei fünf gleichzeitig betriebenen offenen Kaminen oder Kaminöfen werden die Werte im Fall 1 (Nachbargebäude im Leewirbel hinter Emittenten) erreicht oder knapp überschritten (Überschreitungsfaktor bis zu 1,4) und im Fall 2 bei der Verfeuerung von allen Materialien außer feuchtem Holz überschritten (bis ca. zum Faktor 3).

Die Feststellung, daß bei den abgeschätzten kurzzeitigen Expositions-Konzentrationen der Grenzwert der TA Luft in vielen Fällen der vorliegenden Untersuchung überschritten wird, bedeutet nicht zwangsläufig eine Gesundheitsgefahr. Die niedrigste beobachtete Wirkungsschwelle für die besonders empfindliche Personengruppe der Asthmatiker wird mit  $560 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  (bezogen auf 30 min.) [15] angegeben. Diese Wirkungsschwelle wird hier nur im ungünstigsten Fall (5 Kamine, Fall 2, Holz-Müll-Verfeuerung) in etwa erreicht. Es ist daher nur in Ausnahmefällen mit gesundheitlichen Auswirkungen zu rechnen. Allerdings sollte vor dem Hintergrund der Regenerationsfähigkeit des bronchopulmonalen Systems auf zellulärer Ebene der Kurzzeitwert in Höhe von  $200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  nicht häufiger als einmal pro Monat und dann höchstens bis auf das Dreifache überschritten werden [17].

## 5.3 Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ )

### Allgemeiner Wirkungscharakter

$\text{SO}_2$  ist ein farbloses, stechend riechendes Gas und leicht in Wasser löslich. Es wirkt vor allem auf die Schleimhäute der oberen Atemwege, bei höheren Konzentrationen

nen können allerdings auch die tieferen Atemwege beeinträchtigt werden.

Bei akuter Exposition können bei niedrigen Schwefeldioxid-Konzentrationen Atemwegsreizungen und ein (reversibler) Anstieg des Atemwegswiderstandes auftreten.

Bei wiederholter und längerdauernder Einwirkung von  $\text{SO}_2$  kann eine begrenzte Gewöhnung eintreten, d.h. zunächst festgestellte Reizerscheinungen sind nicht mehr zu beobachten.

#### **Bewertung der Belastung durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich**

Als immissionsbegrenzende Werte der TA Luft (siehe 5.1) wurde ein Langzeitwert (Jahresmittelwert) von  $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$  und ein Kurzzeitwert (98-Perzentilwert) von  $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  festgelegt.

Ein Vergleich der ermittelten Immissionskonzentrationen mit den TA Luft-Grenzwerten zeigt, daß der Jahresmittelwert und der 98-Perzentilwert auch unter Einbeziehung der Vorbelastung in allen angegebenen Fällen eingehalten werden.

Für die Komponente  $\text{SO}_2$  kann daher in der vorliegenden Untersuchung eine Gesundheitsgefahr ausgeschlossen werden.

### **5.4 Schwebstaub**

#### **Allgemeiner Wirkungscharakter**

Unter Schwebstaub werden in der allgemeinen Umwelt vorkommende unspezifizierte, aerosolförmige Luftinhaltsstoffe verstanden.

Die Zusammensetzung des Schwebstaubes hängt von den jeweiligen Quellen ab, so daß große zeit- und ortsabhängige Unterschiede in der Toxizität des Gemisches auftreten können. Da mögliche Kombinationswirkungen von Schwebstaub und anderen Luftschadstoffen wie  $\text{SO}_2$  in Betracht gezogen werden müssen, ist es besonders schwierig, Ursache-Wirkungs-Beziehungen für Kurzzeit- bzw. Langzeitwirkungen von Schwebstaub allein aufzustellen.

Allgemein ist der nachteilige Einfluß von Schwebstaub/ $\text{SO}_2$ -Luftverunreinigungen auf die Lungenfunktion (z.B. Verminderung ventilatorischer Größen) beschrieben sowie die Zunahme bzw. Verstärkung von Atemwegserkrankungen.

#### **Bewertung der Belastung durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich**

Als Grundlage der Bewertung dienen die in der TA Luft (siehe 5.1) festgelegten Grenzwerte in Höhe von  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Jahresmittelwert) und  $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (98-Perzentilwert).

Ein Vergleich der abgeschätzten mittleren Immissionskonzentrationen für Schwebstaub beim Betrieb von einem einzelnen bzw. fünf Kaminöfen mit dem Jahresmittelwert zeigt, daß dieser für jeden verwendeten Brennstoff eingehalten wird.

Der 98-Perzentil-Wert der TA Luft wird in einigen Fällen der vorliegenden Untersuchung nicht eingehalten. So liegen bei der Verfeuerung von Holzbriketts beim Betrieb eines offenen Kamins oder Kaminofens (Fall 1, d.h. Nachbargebäude im Leewirbel hinter Emittenten) die abgeschätzten Immissionskonzentrationen im Bereich des Grenzwertes. Bei der Verfeuerung von feuchtem Holz und Holzbriketts (Fall 2, d.h. Übereckanströmung) wird der Grenzwert überschritten (Faktor ca. 1,2 bzw. 2). Beim Betrieb von fünf offenen Kaminen bzw. Kaminöfen wird bei der Verfeuerung von feuchtem Holz und Braunkohle der Grenzwert ebenfalls überschritten (Faktor 1,7). Bei der Verfeuerung von trockenem Holz wird der Grenzwert in allen Fällen außer beim Betrieb eines offenen Kamins bzw. Kaminofens im Fall 1 überschritten, bis hin zum Faktor 4.

Über die gesundheitliche Auswirkung der Überschreitung des TA Luft-Wertes, der sich auf die kurzzeitige Exposition bezieht, kann keine konkrete Aussage gemacht werden, da zu Schwebstaub keine Kenntnisse über Dosis-/Wirkungsbeziehungen vorliegen. Es sind aber in der Nachbarschaft von fünf gleichzeitig betriebenen Kaminen bei der Verfeuerung von trockenem Holz ggf. Einflüsse auf die Lungenfunktion und auf Atemwegserkrankungen nicht auszuschließen.

### **5.5 Chloride, Chlorwasserstoff (HCl)**

#### **Allgemeiner Wirkungscharakter**

Chlorwasserstoff ist ein farbloses, stechend riechendes, hygroskopisches Gas, das in Verbindung mit der Luftfeuchtigkeit Aerosole bildet. Aufgrund seiner sehr starken Säurewirkung ist es als Gas und als Aerosol ein starker Reizstoff besonders für die Schleimhäute der oberen Atemwege und die Augen.

Eine kurzzeitige Chlorwasserstoff-Inhalation beeinflusst schon in Konzentrationen von  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  den Atemrhythmus und die Atemtiefe beim Menschen. Es ist jedoch davon auszugehen, daß bei Chlorwasserstoffkon-

zentrationen unter  $7 \text{ mg/m}^3$  nur Veränderungen von physiologischen Parametern ohne erwiesenen Krankheitswert bzw. rasch abklingende Schleimhautreizungen zu beobachten sind [18].

#### **Bewertung der Belastung durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich**

Für Chlorwasserstoff sind in der TA Luft (siehe 5.1) ein Kurzzeit- und ein Langzeitwert festgelegt. Diese betragen für den Jahresmittelwert  $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ , für den 98-Perzentilwert  $300 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ .

Ein Vergleich der in dieser Untersuchung ermittelten Immissionskonzentrationen mit dem Jahresmittelwert und dem 98-Perzentilwert der TA Luft für Chlorwasserstoff zeigt, daß die Grenzwerte bei allen Betriebsformen eingehalten werden. Ebenso wird der Wert von  $100 \text{ } \mu\text{g/m}^3$ , ab dem ein Einfluß auf den Atemrhythmus möglich ist, weit unterschritten.

Für die Komponente Chloride/Chlorwasserstoff ist daher nicht von einer Gesundheitsgefahr bei den beschriebenen Betriebsformen von offenen Kaminen und Kaminöfen auszugehen.

### **5.6 Kohlenwasserstoffe ( $\text{C}_m\text{H}_n$ )**

Zu dieser Gruppe gehört die Gesamtheit organischer Gase und Dämpfe mit einer Vielzahl von Verbindungen, deren Wirkung differenziert für jede einzelne Komponente beurteilt werden muß. Da jedoch nur für Phenol, Benzol, Formaldehyd, Benzo[a]pyren und Dioxine/Furane konkrete Werte vorliegen, wird nur auf diese näher eingegangen.

#### **5.6.1 Phenol ( $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$ )**

##### **Allgemeiner Wirkungscharakter**

Bei der Einatmung von Phenoldämpfen stehen Schleimhautreizungen im Vordergrund akuter inhalativer Exposition.

##### **Bewertung der Belastung durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich**

Für die Beurteilung der ermittelten Immissionskonzentrationen liegt als Beurteilungsgröße lediglich ein MAK-Wert (Maximale Arbeitsplatz-Konzentration) vor. Die MAK-Werte beziehen sich auf Arbeitsplatzkonzentrationen während einer Arbeitszeit von 8 Stunden täglich an fünf Wochentagen, bei deren Einhaltung im allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt wird. Um Expositionsspitzen zu begrenzen, berücksichti-

gen zusätzliche Spitzenbegrenzungswerte die Dauer, die Höhe und die maximale Häufigkeit des Auftretens der festgelegten Konzentration.

Der MAK-Wert für Phenol beträgt  $19 \text{ mg/m}^3$  und der Spitzenbegrenzungswert liegt doppelt so hoch bezogen auf eine fünfminütige Exposition (8x pro Schicht) [19].

Vergleicht man die angegebenen Immissionskonzentrationen mit dem MAK-Wert, so zeigt sich, daß der MAK-Wert für Phenol im ungünstigsten Fall (fünf Kaminöfen, Fall 2) noch mindestens um den Faktor 6000 unterschritten wird. Beim Vergleich des Begrenzungswertes von Expositionsspitzen mit den entsprechend abgeschätzten Immissionskonzentrationen (die allerdings stundenweise auftreten können) wird der Spitzenbegrenzungswert im gleichen Fall mindestens um den Faktor 570 unterschritten.

Die MAK-Werte beziehen sich auf die Gesundheit von Beschäftigten; Risikogruppen und Kinder werden nicht berücksichtigt. Da jedoch der MAK-Wert bzw. Spitzenbegrenzungswert unter Einbeziehung der Vorbelastung weit unterschritten wird, ist von einer Gesundheitsgefahr für die Allgemeinbevölkerung nicht auszugehen.

#### **5.6.2 Benzol ( $\text{C}_6\text{H}_6$ )**

##### **Allgemeiner Wirkungscharakter**

Benzol ist eine farblose, klare Flüssigkeit mit charakteristischem aromatenartigem Geruch. Benzol wird nach inhalativer Exposition gut resorbiert und kumuliert in fetthaltigem Gewebe.

Die in der Umwelt vorkommenden Benzol-Immissionskonzentrationen reichen in der Regel nicht aus, die klassischen Symptome wie Wirkungen auf das Zentralnervensystem hervorzurufen.

Das im Vordergrund der Benzolwirkung stehende Risiko einer Schädigung des Knochenmarks, durch die die Bildung und Reifung der roten und weißen Blutkörperchen sowie der Blutplättchen erheblich gestört werden und sich schließlich sogar bösartige Neubildungen (Leukämien) entwickeln können, ist abhängig von der Expositionshöhe und -dauer [20].

Benzol ist entsprechend der zuvor genannten Darstellung als eindeutig krebserzeugend für den Menschen eingestuft.

##### **Bewertung der Belastung durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich**

Die in dieser Untersuchung ermittelten Immissionskonzentrationen liegen wesentlich niedriger als Konzentra-

tionen, bei denen akute Wirkungen von Benzol auftreten, d.h. die kurzzeitige Exposition kann hier vernachlässigt werden. Für die Beurteilung der Langzeitexposition wurde vom Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI) Beurteilungsmaßstäbe für krebserzeugende Luftverunreinigungen [20] erarbeitet. Die LAI-Beurteilungsmaßstäbe geben Immissionskonzentrationen krebserzeugender Luftverunreinigungen auf der Basis des "unit risk"-Modells an. Für sieben als besonders relevant erachtete Stoffe wurden Konzentrationswerte festgelegt, die bei einer lebenslang exponierten Bevölkerung bei kumuliertem Auftreten dieser sieben Stoffe in der Atemluft zu einem Gesamtrisiko, durch Luftverunreinigungen an Krebs zu erkranken, von 1:2500 führen. Der LAI-Wert für Benzol liegt bei 2,5 µg/m<sup>3</sup>.

Vergleicht man die geschätzten mittleren Immissionskonzentrationen dieser Untersuchung (ohne Vorbelastung) mit dem LAI-Beurteilungswert, so zeigt sich, daß dieser bei allen Betriebsformen eingehalten wird. Es ist daher, bezogen auf die Zusatzbelastung durch den Betrieb von Kaminen, für die Komponente Benzol nicht von einem auf das Gesamtrisiko von 1:2500 bezogenen erhöhten Risiko auszugehen.

Da aber die Vorbelastung, die für das Rhein-Ruhr-Gebiet (1991) für Benzol mit 3,64 µg/m<sup>3</sup> als Jahresmittelwert angegeben wird, den LAI-Beurteilungswert bereits übersteigt, sollte eine zusätzliche Belastung nach Möglichkeit vermieden werden.

### 5.6.3 Formaldehyd (HCOH)

#### Allgemeiner Wirkungscharakter

Formaldehyd ist bei Raumtemperatur ein stechend riechendes farbloses Gas. Es ist brennbar, chemisch sehr reaktiv und vollständig in Wasser löslich.

Unter den akuten Wirkungen von Formaldehyd stehen Reizungen der Schleimhäute im Vordergrund. Bei Inhalation von Formaldehyd zeigen sich bei niedrigen Konzentrationen sensorische Reizungen vorwiegend im Bereich des oberen Atemtraktes und der Augen.

Für chronische Atemfunktionsstörungen durch eine langandauernde Exposition gegenüber Formaldehyd gibt es keine sicheren Hinweise.

In Bezug auf eine kanzerogene Wirkung auf den Menschen liegt ebenfalls keine ausreichende Evidenz vor.

#### Bewertung der Belastung durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich

Für die Exposition gegenüber Formaldehyd steht die akute Wirkung im Vordergrund, daher wird im folgenden nur auf die kurzzeitige Exposition eingegangen. Als

Grundlage zur Bewertung der in dieser Untersuchung ermittelten Immissionskonzentrationen dient ein in den Air Quality Guidelines der WHO festgelegter Wert. Die WHO empfiehlt hier 100 µg/m<sup>3</sup> als höchstzulässigen 30-Minuten-Durchschnittswert [15].

Vergleicht man die geschätzten Immissionskonzentrationen der kurzzeitigen Exposition (inklusive der Vorbelastung) mit dem WHO-Wert, so zeigt sich, daß diese bei allen angegebenen Betriebsformen eingehalten werden. Daher ist hier nicht mit Gesundheitsbeeinträchtigungen zu rechnen.

### 5.6.4 Benzo[a]pyren (BaP)

#### Allgemeiner Wirkungscharakter

Benzo[a]pyren (BaP) ist in Wasser schlecht löslich und stark lipophil. Es ist wie die meisten in der Luft gemessenen polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH) größtenteils an Feinstaub adsorbiert.

Benzo[a]pyren ist als krebserzeugend ausgewiesen und dient als Leitsubstanz für in der Luft vorhandene kanzerogene PAH.

Hauptzielorgan der Kanzerogenität ist beim Menschen nach inhalativer Aufnahme der Atemtrakt.

Zahlreiche epidemiologische Untersuchungen ergaben eine erhöhte Häufigkeit an bösartigen Tumoren der Atemwege bei Arbeitnehmern, die erhöhten PAH-Konzentrationen ausgesetzt waren. Es zeigte sich, daß das Krebsrisiko mit der Expositionsdauer und -höhe assoziiert ist [20].

Mit Ausnahme der Kanzerogenität wurden bislang keine toxikologisch relevanten Auswirkungen von Benzo[a]pyren festgestellt.

#### Bewertung der Belastung durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich

Da für eine Bewertung der Belastung mit Benzo[a]pyren nur dessen kanzerogene Wirkung bedeutsam ist, wird im folgenden ausschließlich die Langzeitexposition betrachtet.

Für Benzo[a]pyren wurde vom LAI ebenfalls ein Beurteilungsmaßstab festgelegt. Er beträgt 1,3 ng/m<sup>3</sup> [20].

Vergleicht man die geschätzten mittleren Immissionskonzentrationen für Benzo[a]pyren beim Betrieb von Kaminen mit dem LAI-Beurteilungswert, so zeigt sich, daß dieser bei den meisten Betriebsformen eingehalten wird. Allerdings wird dieser Wert bei der Verfeuerung von trockenem Holz im ungünstigsten Fall (5 Kaminöfen, Fall 2) knapp überschritten (um den Faktor 1,2) und bei

der Verfeuerung von feuchtem Holz in allen betrachteten Fällen außer beim Betrieb eines offenen Kamins oder Kaminofens im Fall 1 (direkte Anströmung) bis ca. zum Faktor 3 überschritten.

Da die Vorbelastung für das Rhein-Ruhr-Gebiet (1991) für Benzo[a]pyren mit  $1,82 \text{ ng/m}^3$  als Jahresmittelwert angegeben wird, wird bereits durch diese der LAI-Wert überschritten. Es sollte daher für Benzo[a]pyren nach Möglichkeit eine zusätzliche Belastung vermieden werden.

### 5.6.5 Nitro-PAH (NPAH)

#### Allgemeiner Wirkungscharakter

In der Luft liegen Nitro-PAH offenbar nicht gasförmig vor, sondern finden sich an Partikeln kleiner Korngröße adsorbiert.

Für einige der NPAH-Derivate sind im Tierversuch direkt mutagene und karzinogene Wirkungen nachweisbar, wobei sie in Bakterien-Tests eine höhere biologische Aktivität besitzen als die PAH-Derivate. Die wenigen bisher vorliegenden Daten aus Tierexperimenten sprechen für eine in der Relation zu BaP höchstens schwache Kanzerogenität [21]. Zur Bewertung fehlen jedoch noch weitere detaillierte Untersuchungen zum Metabolismus und zur Kanzerogenität, insbesondere auch, um die Relevanz der inhalativen Exposition beurteilen zu können.

Eine Beurteilung der ermittelten Immissionskonzentrationen ist daher nach dem jetzigen Wissensstand nicht möglich.

### 5.6.6 Dioxine und Furane (PCDD und PCDF)

#### Allgemeiner Wirkungscharakter

Von den 75 PCDD- und 135 PCDF-Verbindungen sind bisher nur wenige hinsichtlich ihrer Toxizität näher untersucht worden. Die 17 als humantoxikologisch relevant angesehenen Kongenere akkumulieren vor allem im Fettgewebe und in der Leber. Für den molekularen Ablauf der PCDD- und PCDF-Wirkung im Organismus wird derzeit ein Modell diskutiert, nach dem PCDD und PCDF zunächst an den Rezeptor für aromatische Kohlenwasserstoffe (AH-Rezeptor) binden und dieser Komplex dann mit bestimmten DNA-Elementen in Kontakt tritt (tumorpromovierend). Die meisten Kenntnisse liegen für die giftigste Verbindung unter den PCDD und PCDF, das 2,3,7,8-TCDD, aus tierexperimentellen Studien und aus Beobachtungen am Menschen vor.

Zur Bewertung von PCDD- und PCDF-Gemischen hinsichtlich möglicher toxischer Wirkungen wurden Toxizi-

tätsäquivalenzfaktoren eingeführt, wodurch die Toxizität dieses Gemisches bezogen auf die toxische Wirkung von 2,3,7,8-TCDD (in TEq) angegeben werden kann.

Die charakteristischen Wirkungen bei akuter Exposition gegenüber hohen PCDD- und PCDF-Konzentrationen wie z.B. Chlorakne und Leberschäden treten bei den normalerweise in der Umwelt vorkommenden Immissionskonzentrationen nicht auf.

Epidemiologische Hinweise auf immuntoxische Wirkungen im Niedrigdosisbereich konnten bisher nicht bestätigt werden.

2,3,7,8-TCDD wird als im Tierexperiment eindeutig krebserzeugend eingestuft.

#### Bewertung der Belastung durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich

Die in dieser Untersuchung ermittelten Immissionskonzentrationen für Dioxine und Furane lassen akute Wirkungen ausschließen. Daher wird im folgenden nur die Langzeitexposition betrachtet. Für die Langzeitexposition existiert ein diskutierter, derzeit in der wissenschaftlichen Beratung befindlicher Richtwert, der von der Arbeitsgruppe "Immissionswirkungen auf den Menschen" (Leitung: Prof. Dr. Schlipkötter, Düsseldorf, unveröffentlichtes Gutachten im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW) aufgestellt wurde. Wesentliche Änderungen dieses Richtwertes aufgrund der Fortentwicklung der wissenschaftlichen Erkenntnisse und der Diskussion sind nicht auszuschließen.

Vergleicht man die hier abgeschätzten mittleren Immissionskonzentrationen (TEq<sub>max</sub>) für PCDD und PCDF mit diesem Richtwert in Höhe von  $150 \text{ fg TEq/m}^3$ , so zeigt sich, daß dieser Wert bei allen Betriebsformen eingehalten wird.

Es ist daher in bezug auf die Zusatzbelastung durch von den Kaminen und Kaminöfen emittierte Dioxine und Furane nicht von einer Gesundheitsgefahr auszugehen.

Da aber die Vorbelastung für Dioxine und Furane in industriell geprägten Gebieten mit  $171 \text{ fg TEq/m}^3$  (ländliche Gebiete  $39 \text{ fg TEq/m}^3$ ) angegeben wird, überschreitet diese den empfohlenen Wert.

### 5.7 Gesamtbewertung

Die über Holzfeuerungen im Hausbrandbereich freigesetzten Luftverunreinigungen können für Personen in der Nachbarschaft komponentenspezifische Auswirkungen haben.

Bei der Verfeuerung von Holz und Abfall ist kurzfristig mit CO-Konzentrationen zu rechnen, die besonders bei Personen mit chronisch anginösen Herzbeschwerden gesundheitliche Auswirkungen bedeuten können. Entsprechende CO-Konzentrationen treten lediglich bei der Zugabe von Abfall als Brennstoff, nicht bei der alleinigen Verfeuerung von Holz auf. Da aber Abfallverbrennung nach der 1. BImSchV für Kleinfeuerungsanlagen untersagt ist - und damit auch für Kamine und Kaminöfen -, ist bei ordnungsgemäßem Betrieb der Kamine und Kaminöfen für CO nicht von gesundheitlichen Auswirkungen auszugehen.

Bei den Immissionskonzentrationen von NO<sub>2</sub> ist kurzfristig, unabhängig vom verfeuerten Material, ebenfalls von Grenzwertüberschreitungen auszugehen. Diese Konzentrationen liegen jedoch nur für die Verbrennung von Holz kombiniert mit Abfall im Bereich der Wirkungsschwelle von Asthmatikern. Es gilt daher auch für NO<sub>2</sub>, daß bei ordnungsgemäßem Betrieb nicht von Gesundheitsbeeinträchtigungen auszugehen ist.

Anders verhält es sich bei der Komponente Schwebstaub. Hier sind bei der Verfeuerung von trockenem Holz bei besonders empfindlichen Personen Wirkungen auf die Lungenfunktion und Atemwegserkrankungen nicht auszuschließen.

Bei Benzol und Benzo[a]pyren liegt die Vorbelastung über dem LAI-Beurteilungswert für die krebserzeugende Wirkung. Wesentlich an dem den Beurteilungswerten zugrundeliegenden Modell für sieben als besonders relevant erachtete Stoffe (Arsen, Asbest, Benzol, Cadmium, Dieselruß, PAH und 2,3,7,8-TCDD) ist, daß die einzelne Komponente bei Konstanthaltung des Risikos den Beurteilungswert überschreiten kann, wenn bei einer anderen Komponente dieser Wert als Substitutionseffekt unterschritten wird. Da in der vorliegenden Untersuchung lediglich zwei der sieben Komponenten betrachtet wurden, kann keine konkrete Aussage darüber gemacht werden, ob sich das Gesamtrisiko von 1:2500, durch Luftverunreinigungen an Krebs zu erkranken, durch die Überschreitung der Beurteilungsmaßstäbe für die beiden betrachteten Einzelkomponenten erhöht. In bezug auf die Zusatzbelastung (ohne Berücksichtigung der Vorbelastung) wird der LAI-Richtwert nur für Benzo[a]pyren (im ungünstigsten Fall) bei nicht ordnungsgemäßem Betrieb, d.h. bei der Verfeuerung von feuchtem Holz, überschritten.

Für Dioxine und Furane ist durch die Zusatzbelastung infolge des Betriebes von offenen Kaminen nicht von einer Gesundheitsbeeinträchtigung auszugehen. Auch hier liegt die Vorbelastung in industriell geprägten Gebieten jedoch bereits über dem empfohlenen Richtwert; gesundheitliche Auswirkungen durch Holzfeuerungen im Hausbrandbereich sind bei der geringen Bedeutung der inhalativen Belastung des Menschen mit PCDD

und PCDF im Verhältnis zur oralen Belastung nicht zu befürchten.

## 6. Literatur

- [1] 1. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 15.07.1988 (1. BImSchV). BGBl. S. 1059, Nr. 34.
- [2] Weber, E., Schmidt, D., Pape, B.: Untersuchungen zur Emissionsminderung bei nicht genehmigungspflichtigen Klein- und Haushaltsfeuerungen im Leistungsbereich unter 1 MW, Schlußbericht VA3-8819.3.6, Institut für Umweltverfahrenstechnik der Universität Essen, Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW, Forschungsberichte des Landes NRW "Luftverunreinigungen und Waldschäden" Nr. 17, Düsseldorf 1990.
- [3] Struschka, M., Starub, D., Baumbach, G.: Schadstoffemissionen von Kleinfeuerungsanlagen, Brennstoff-Wärme-Kraft. 40 (1988), Nr. 12, S. 481-484.
- [4] Marutzky, R.: Emissionsminderung bei holzbetriebenen Kleinfeuerungsanlagen. In: VDI-Berichte Nr. 623, S. 131-151, Düsseldorf 1986.
- [5] Marutzky, R., Schriever, E.: Kurzfassung eines Referats beim Fachgespräch "Holzfeuerungen - Strohfeuerungen", UBA, Berlin 1985.
- [6] Weber, E., Schmidt, D., Pape, B.: Untersuchungen zur Emission und Raumimmission von Schadstoffen beim Betrieb von offenen Kaminen und Kaminöfen. Schlußbericht VA5-8814.1/März 1992, Institut für Umweltverfahrenstechnik der Universität Essen im Auftrag des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW.
- [7] Bröker, G., Geueke, K.-J., Hiester, E., Niesenhaus, H.: Emission polychlorierter Dibenzo-p-dioxine und -furane aus Hausbrandfeuerungen, LIS-Berichte Nr. 103,

- Hrsg.: Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NRW, Essen 1992.
- [8] VDI-Richtlinie 3480, Blatt 1:  
Messen von Chlorwasserstoff (1984).
- [9] VDI-Richtlinie 2470:  
Messen gasförmiger Fluorverbindungen, Absorptionsverfahren (1979).
- [10] VDI-Richtlinie 3484, Blatt 1:  
Messen von Aldehyden, Bestimmung der Formaldehydkonzentration (1979).
- [11] VDI-Richtlinie 3485:  
Messen von Phenolen, p-Nitroanilin-Verfahren (1988).
- [12] Luftreinhalteplan Rheinschiene Süd 1992.  
Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW, Düsseldorf 1992.
- [13] Giebel, J.:  
Eine empirische Ausbreitungsgleichung zur Immissionssimulation im unmittelbaren Nahbereich von Emissionsquellen.  
Schriftenreihe der LIS, Heft 39, S. 28-35  
Essen 1976.
- [14] Niederländische Arbeitsgruppe für die Ausbreitung von Luftverunreinigungen. Der Einfluß eines Gebäudes auf die Ausbreitung von Schornsteinfahnen - Empfehlung einer Berechnungsmethode SCMO-TNO, Postbus 186, NL-2600 AD Delft, Oktober 1986 (Übersetzung aus dem Niederländischen: W. Werner, VDI-Kommission Reinhaltung der Luft, Düsseldorf).
- [15] Air Quality Guidelines for Europe, WHO Regional Publications, European Series No. 23, Hrsg.: World Health Organization (WHO), Kopenhagen 1987.
- [16] Verein Deutscher Ingenieure (VDI), Kohlenmonoxid - Entstehung, Messung und Wirkungskriterien, VDI Berichte Nr. 180, (1972).
- [17] VDI 2310, Blatt 12:  
Maximale Immissionskonzentrationen für Stickstoffdioxid (Juni 1985).
- [18] Gesundheitliche Arbeitsstoffe - Toxikologisch-arbeitsmedizinische Begründung von MAK-Werten,  
Hrsg.: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1992.
- [19] MAK- und BAT-Werte-Liste 1992,  
Hrsg.: Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG), VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1992.
- [20] Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen - Entwicklung von "Beurteilungsmaßstäben für kanzerogene Luftverunreinigungen" erarb. vom Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI), im Auftrag der Umweltministerkonferenz,  
Hrsg.: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen, Düsseldorf 1992.
- [21] Mücke, W. und H. Fiedler:  
Nitro-PAK - Bildung, Umweltverhalten und Wirkungen. UWSF-Z. Umweltchem, Ökotox, 2(1990). H3, S. 170-176, Ecomed Verlagsgesellschaft mbH, Landsberg Zürich.

---

## **7. Tabellenanhang**



**Tabelle 4a: Emissionsfaktoren des Kaminofens und des offenen Kamins (bez. auf Hu)**

| Brennstoff    | CO<br>g/MJ                | SO <sub>2</sub><br>mg/MJ | NO <sub>x</sub><br>mg/MJ   | C <sub>m</sub> H <sub>n</sub><br>mg/MJ | Chlorid<br>mg/MJ | Staub<br>mg/MJ                        | Phenol<br>mg/MJ                       |
|---------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------|--|------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Holz, trocken | 9,6 15,1                  | 4,6 21,3                 | 78 - 144                   | 347 - 813                              | 0,3 - 2,7        | 69 - 245                              | 4,3 - 24,1                            |
| Holz, feucht  | 14,1 21,1                 | 14,1 30,0                | 172 - 305                  | 504 - 2641                             | 2,9 - 6,7        | 89 - 259                              | 17,2 - 47,5                           |
| Holzbriketts  | 8,8 14,6                  | 9,0 20,7                 | 80 - 179                   | 400 - 621                              | 1,6 - 7,1        | 60 - 217                              | 5,2 - 31,2                            |
| Braunkohle    | 7,9 16,4                  | 16,1 21,7                | 98 - 228                   | 113 - 2452                             | 1,8 <sup>1</sup> | 45 - 108                              | 41,1 - 66,2                           |
| Holz + Abfall | 11,2 13,1                 | 13,1 35,2                | 140 - 279                  | 2118 - 3011                            | 0,6 <sup>1</sup> | n.b.                                  | 14,6 - 16,9                           |
| Brennstoff    | Form-<br>aldehyd<br>mg/MJ | Benzol<br>µg/MJ          | Benzo-a-<br>pyren<br>µg/MJ | Σ PAH<br>mg/MJ                         | Σ NPAH<br>µg/MJ  | PCDD/F<br>TEq <sub>min</sub><br>pg/MJ | PCDD/F<br>TEq <sub>max</sub><br>pg/MJ |
| Holz, trocken | 13,3 42,1                 | 0,2 4,3                  | 6 - 42                     | 1,3 - 4,5                              | 0,8 - 5,8        | 5 - 51                                | 46 - 82                               |
| Holz, feucht  | 22,4 30,8                 | 0,5 6,1                  | 8 - 103                    | 0,7 - 6                                | 1,8 <sup>1</sup> | n.b.                                  | n.b.                                  |
| Holzbriketts  | 16,2 34,9                 | 0,5 2,6                  | 10 - 21                    | 1,4 - 2,2                              | 7,3 <sup>1</sup> | n.b.                                  | n.b.                                  |
| Braunkohle    | 1,1 <sup>1</sup>          | 7,5 20,9                 | 25 - 27                    | 1,8 - 18,3                             | 2,2 - 17,0       | 0,3 23                                | 30 - 416                              |
| Holz + Abfall | 1,9 3,3                   | n.b.                     | n.b.                       | n.b.                                   | n.b.             | 70 - 6068                             | 147 - 6068                            |

<sup>1</sup> nur einmal bestimmt  
n.b. = nicht bestimmt

**Tabelle 4b: Emissionsfaktoren für Heizöl EL-, Gas- und Feststofffeuerungen**

| Brennstoff        | CO<br>g/MJ | SO <sub>2</sub><br>mg/MJ | NO <sub>x</sub><br>mg/MJ | C <sub>m</sub> H <sub>n</sub><br>mg/MJ | Chlorid<br>mg/MJ | Staub<br>mg/MJ | Benzo-a-pyren<br>µg/MJ |
|-------------------|------------|--------------------------|--------------------------|--|------------------|----------------|------------------------|
| Heizöl EL         | 0,05       | 87                       | 50                       | 12                                     | k.A.             | 1,5            | k.A.                   |
| Erdgas            | 0,045      | 0,5                      | 30                       | 1,5                                    | k.A.             | 0,1            | k.A.                   |
| Feste Brennstoffe | 5,5        | 110                      | 70                       | 850                                    | 5,2              | 540            | 40                     |

k.A. = keine Angaben

## Ergebnisse der GH Essen für den Kaminofen (Tabellen 5 - 8)

**Tabelle 5: Kaminofen/Basisdaten der durchgeführten Versuche**

| Brennstoffe     | Anzahl der Versuche | Feuchtegehalt % | Leistungsstufe |            |
|-----------------|---------------------|-----------------|----------------|------------|
|                 |                     |                 | kg/h           | kW         |
| Holz, trocken   | 9                   | 11 - 17,5       | 1,3 - 2,2      | 2,6 - 9,7  |
| Holz, feucht    | 4                   | 30 - 38         | 2,1 - 2,7      | 6,2 - 10,4 |
| Holzbriketts    | 3                   | 7,5             | 1,3            | 6,0        |
| Braunkohle      | 1                   | n.b.            | 5,5            | 5,5        |
| Holz und Abfall | 1                   | 12,4            | 1,6            | 7,3        |

n.b. = nicht bestimmt

**Tabelle 6: Kaminofen/CO-, SO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>-Emissionskonzentrationen im Normzustand bei 11 % O<sub>2</sub>**

| Brennstoff    | CO<br>g/m <sup>3</sup> |      |                | SO <sub>2</sub><br>mg/m <sup>3</sup> |      |                | NO <sub>x</sub><br>mg/m <sup>3</sup> |      |                | C <sub>m</sub> H <sub>n</sub><br>mg/m <sup>3</sup> |      |                |
|---------------|------------------------|------|----------------|--------------------------------------|------|----------------|--------------------------------------|------|----------------|--|------|----------------|
|               | min.                   | max. | m <sub>n</sub> | min.                                 | max. | m <sub>n</sub> | min.                                 | max. | m <sub>n</sub> | min.   | max. | m <sub>n</sub> |
| Holz, trocken | 5                      | 40   | 15             | 2                                    | 135  | 15             | 34                                   | 566  | 121            | 12   | 9026 | 536            |
| Holz, feucht  | 7                      | 46   | 19             | 5                                    | 192  | 47             | 79                                   | 570  | 235            | 133  | 2077 | 3087           |
| Holzbriketts  | 5                      | 30   | 15             | 2                                    | 92   | 13             | 38                                   | 427  | 122            | 39   | 4228 | 634            |
| Braunkohle    | 13                     | 32   | 26             | 22                                   | 125  | 56             | 138                                  | 425  | 249            | 386  | 9803 | 3669           |
| Holz + Abfall | 7                      | 312  | 18             | 12                                   | 110  | 42             | 119                                  | 664  | 223            | 537  | 1352 | 4780           |

**Tabelle 7: Kaminofen/Chlorid-, Staub-, Phenol-, Formaldehyd-Emissionskonzentrationen im Normzustand bei 11 % O<sub>2</sub>**

| Brennstoff    | Chlorid<br>mg/m <sup>3</sup> |      |                | Staub<br>mg/m <sup>3</sup> |      |                | Phenol<br>mg/m <sup>3</sup> |      |                | Formaldehyd<br>mg/m <sup>3</sup> |      |                |
|---------------|------------------------------|------|----------------|----------------------------|------|----------------|-----------------------------|------|----------------|----------------------------------|------|----------------|
|               | min.                         | max. | m <sub>n</sub> | min.                       | max. | m <sub>n</sub> | min.                        | max. | m <sub>n</sub> | min.                             | max. | m <sub>n</sub> |
| Holz, trocken | 0,3                          | 0,6  | 0,39           | 13                         | 2354 | 383            | 2,8                         | 34,8 | 15,3           | 10,0                             | 67,7 | 35,1           |
| Holz, feucht  | 0,2                          | 8,0  | 3,2            | 60                         | 723  | 325            | 34,6                        | 85,6 | 54,0           | 20,0                             | 60,8 | 34,9           |
| Holzbriketts  | 2,0                          | 14,4 | 7,4            | 1,8                        | 1774 | 365            | 1,4                         | 29,5 | 6,9            | 15,4                             | 48,2 | 24,9           |
| Braunkohle    | n.b.                         | n.b. | n.b.           | n.b.                       | n.b. | n.b.           | 48,5                        | 85,3 | 65,2           | 1,6                              | 2,0  | 1,8            |
| Holz + Abfall | n.b.                         | n.b. | n.b.           | n.b.                       | n.b. | n.b.           | 12,6                        | 29,9 | 23,2           | 1,0                              | 8,5  | 5,2            |

n.b. = nicht bestimmt

**Tabelle 8: Kaminofen/Benzol-, Benzo-a-pyren-, Σ PAH-, Σ NPAH-Emissionskonzentrationen im Normzustand bei 11 % O<sub>2</sub>**

| Brennstoff    | Benzol<br>µg/m <sup>3</sup> |      |                | Benzo-a-pyren<br>µg/m <sup>3</sup> |      |                  | Σ PAH<br>µg/m <sup>3</sup> |      |                | Σ NPAH<br>ng/m <sup>3</sup> |      |                   |
|---------------|-----------------------------|------|----------------|------------------------------------|------|------------------|----------------------------|------|----------------|-----------------------------|------|-------------------|
|               | min.                        | max. | m <sub>n</sub> | min.                               | max. | m <sub>n</sub>   | min.                       | max. | m <sub>n</sub> | min.                        | max. | m <sub>n</sub>    |
| Holz, trocken | 3,9                         | 8,6  | 6,6            | 4                                  | 122  | 63               | 3139                       | 5470 | 4304           | ----                        | ---- | 1200 <sup>1</sup> |
| Holz, feucht  | 5,9                         | 11,4 | 8,7            | ----                               | ---- | 155 <sup>1</sup> | ----                       | ---- | 8603           | ----                        | ---- | 2590 <sup>1</sup> |
| Holzbriketts  | 1,8                         | 6,0  | 4,0            | ----                               | ---- | 32 <sup>1</sup>  | ----                       | ---- | 2133           | ----                        | ---- | 20300             |
| Braunkohle    | 15,0                        | 51,0 | 33,2           | ----                               | ---- | 37 <sup>1</sup>  | ----                       | ---- | 2839           | ----                        | ---- | 3482 <sup>1</sup> |
| Holz + Abfall | n.b.                        | n.b. | n.b.           | n.b.                               | n.b. | n.b.             | n.b.                       | n.b. | n.b.           | n.b.                        | n.b. | n.b.              |

<sup>1</sup> nur einmal bestimmt

n.b. = nicht bestimmt

## Ergebnisse der GH Essen für den offenen Kamin (Tabellen 9 - 12)

**Tabelle 9: offener Kamin/Basisdaten der durchgeführten Versuche**

| Brennstoffe     | Anzahl der Versuche | Feuchtegehalt % | Leistungsstufe |             |
|-----------------|---------------------|-----------------|----------------|-------------|
|                 |                     |                 | kg/h           | kW          |
| Holz, trocken   | 8                   | 11 - 17,5       | 3,0 - 6,8      | 13,4 - 29,9 |
| Holz, feucht    | 7                   | 30 - 38         | 2,6 - 6,5      | 10,0 - 23,8 |
| Holzbriketts    | 5                   | 7               | 3,5 - 5,2      | 15,9 - 23,2 |
| Braunkohle      | 1                   | n.b.            | 2,0            | 13,7        |
| Holz und Abfall | 1                   | 12,4            | 3,3            | 14,5        |

n.b. = nicht bestimmt

**Tabelle 10: offener Kamin/CO-, SO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>-, C<sub>m</sub>H<sub>n</sub>-Emissionskonzentrationen im Normzustand bei 11 % O<sub>2</sub>**

| Brennstoff    | CO g/m <sup>3</sup> |      |                | SO <sub>2</sub> mg/m <sup>3</sup> |       |                | NO <sub>x</sub> mg/m <sup>3</sup> |      |                | C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> mg/m <sup>3</sup> |      |                |
|---------------|---------------------|------|----------------|-----------------------------------|-------|----------------|-----------------------------------|------|----------------|---|------|----------------|
|               | min.                | max. | m <sub>n</sub> | min.                              | max.  | m <sub>n</sub> | min.                              | max. | m <sub>n</sub> | min.  | max. | m <sub>n</sub> |
| Holz, trocken | 5,4                 | 52,0 | 19,0           | 0,2                               | 89,0  | 27,0           | 58                                | 691  | 193            | 12  | 1215 | 851            |
| Holz, feucht  | 7,1                 | 43,0 | 23,0           | 6,3                               | 183,0 | 46,0           | 79                                | 817  | 317            | 72  | 7170 | 1800           |
| Holzbriketts  | 8,8                 | 46,0 | 21,0           | 1,1                               | 119,0 | 31,0           | 18                                | 551  | 195            | 117   | 5218 | 707            |
| Braunkohle    | 4,7                 | 34,0 | 24,0           | 9,5                               | 132,0 | 53,0           | 213                               | 492  | 322            | 93  | 6012 | 1532           |
| Holz + Abfall | 8,9                 | 36,0 | 20,0           | 8,1                               | 75,0  | 36,0           | 150                               | 930  | 429            | 1057  | 7955 | 3259           |

**Tabelle 11: offener Kamin/Chlorid-, Staub-, Phenol-, Formaldehyd-Emissionskonzentrationen im Normzustand bei 11 % O<sub>2</sub>**

| Brennstoff    | Chlorid mg/m <sup>3</sup> |       |                  | Staub mg/m <sup>3</sup> |      |                | Phenol mg/m <sup>3</sup> |      |                | Formaldehyd mg/m <sup>3</sup> |      |                |
|---------------|---------------------------|-------|------------------|-------------------------|------|----------------|--------------------------|------|----------------|-------------------------------|------|----------------|
|               | min.                      | max.  | m <sub>n</sub>   | min.                    | max. | m <sub>n</sub> | min.                     | max. | m <sub>n</sub> | min.                          | max. | m <sub>n</sub> |
| Holz, trocken | 1,0                       | 3,6   | 1,8              | 50                      | 279  | 142            | n.b.                     | n.b. | n.b.           | 13,7                          | 69,7 | 39,7           |
| Holz, feucht  | 4,1                       | 11,0  | 6,6              | 109                     | 654  | 296            | 22,5                     | 43,2 | 30,1           | 16,6                          | 86,6 | 35,9           |
| Holzbriketts  | 2,2                       | 12,1  | 6,6              | 125                     | 353  | 197            | 17,8                     | 51,5 | 30,5           | 33,4                          | 60,6 | 55,8           |
| Braunkohle    | -----                     | ----- | 1,0 <sup>1</sup> | 71                      | 91   | 81             | 77,4                     | 86,5 | 81,9           | n.b.                          | n.b. | n.b.           |
| Holz + Abfall | n.b.                      | n.b.  | n.b.             | n.b.                    | n.b. | n.b.           | 18,6                     | 33,2 | 25,9           | 1,4                           | 4,0  | 2,9            |

<sup>1</sup> nur einmal bestimmt

n.b. = nicht bestimmt

**Tabelle 12: offener Kamin/Benzol-, Benzo-a-pyren-, Σ PAH-, Σ NPAH-Emissionskonzentrationen im Normzustand bei 11 % O<sub>2</sub>**

| Brennstoff    | Benzol µg/m <sup>3</sup> |       |                | Benzo-a-pyren µg/m <sup>3</sup> |       |                 | Σ PAH µg/m <sup>3</sup> |       |                | Σ NPAH ng/m <sup>3</sup> |       |                |
|---------------|--------------------------|-------|----------------|---------------------------------|-------|-----------------|-------------------------|-------|----------------|--------------------------|-------|----------------|
|               | min.                     | max.  | m <sub>n</sub> | min.                            | max.  | m <sub>n</sub>  | min.                    | max.  | m <sub>n</sub> | min.                     | max.  | m <sub>n</sub> |
| Holz, trocken | -----                    | ----- | n.n.           | 9                               | 48    | 23              | 852                     | 6949  | 3257           | 1860                     | 8853  | 6368           |
| Holz, feucht  | n.n.                     | 2,4   | 1,1            | 12                              | 30    | 21              | 1094                    | 7765  | 4429           | n.b.                     | n.b.  | n.b.           |
| Holzbriketts  | n.n.                     | 1,4   | 0,4            | -----                           | ----- | 15 <sup>1</sup> | -----                   | ----- | 3454           | -----                    | ----- | 11250          |
| Braunkohle    | n.b.                     | n.b.  | n.b.           | -----                           | ----- | 40 <sup>1</sup> | -----                   | ----- | 29185          | -----                    | ----- | 27042          |
| Holz + Abfall | n.b.                     | n.b.  | n.b.           | n.b.                            | n.b.  | n.b.            | n.b.                    | n.b.  | n.b.           | n.b.                     | n.b.  | n.b.           |

<sup>1</sup> nur einmal bestimmt

n.b. = nicht bestimmt

n.n. = nicht nachweisbar

**Ergebnisse aus LIS-Bericht 103 (Tabellen 13 - 14)**

**Tabelle 13: Heizkessel/PCDD/PCDF-Emissionskonzentrationen als Toxizitätsäquivalente nach NATO CCMS im Normzustand bei 11 % O<sub>2</sub>**

| Brennstoff              | TEQ <sub>min</sub><br>pg/m <sup>3</sup> |      |                | TEQ <sub>max</sub><br>pg/m <sup>3</sup> |       |                |
|-------------------------|---|------|----------------|---|-------|----------------|
|                         | min.                                    | max. | m <sub>n</sub> | min.                                    | max.  | m <sub>n</sub> |
| Holz, trocken           | 26,7                                    | 66,7 | 45,0           | 60,0                                    | 108,9 | 79,9           |
| Braunkohle              | 0,3                                     | 41,0 | 11,3           | 53,8                                    | 753,2 | 263,4          |
| trockenes Holz + Abfall | 408                                     | 7894 | 3116           | 419                                     | 7894  | 3120           |

**Tabelle 14: offener Kamin/PCDD/PCDF-Emissionskonzentrationen als Toxizitätsäquivalente nach NATO CCMS im Normzustand bei 11 % O<sub>2</sub>**

| Brennstoff              | TEQ <sub>min</sub><br>pg/m <sup>3</sup> |      |                | TEQ <sub>max</sub><br>pg/m <sup>3</sup> |       |                |
|-------------------------|---|------|----------------|---|-------|----------------|
|                         | min.                                    | max. | m <sub>n</sub> | min.                                    | max.  | m <sub>n</sub> |
| Holz, trocken           | 6,3                                     | 37,6 | 16,8           | 63                                      | 106,1 | 89,9           |
| trockenes Holz + Abfall | 91                                      | 3467 | 1279           | 191                                     | 3467  | 1316           |

## Emissionsdaten für die Ausbreitungsrechnung (Tabellen 15 - 19)

**Tabelle 15: Emissionen für trockenes Holz**

| Maximale Emissionen                        |               |                         |             |      | Mittlere Emissionen     |      |                   |      |             |      |
|--|---------------|-------------------------|-------------|------|-------------------------|------|-------------------|------|-------------|------|
| Anlage:                                    |               | Offener Kamin/Kaminofen |             |      | Anlage:                 |      | Kaminofen         |      |             |      |
| Abgasvolumen:                              |               | 44 m³/h i.N.tr.         |             |      | Abgasvolumen:           |      | 11,7 m³/h i.N.tr. |      |             |      |
| Bezugs-O <sub>2</sub> :                    |               | 11 %                    |             |      | Heizperiode:            |      | 4380 Stunden      |      |             |      |
|  |               |                         |             |      | Bezugs-O <sub>2</sub> : |      | 11 %              |      |             |      |
| Schadstoff                                 | maximale      | Ein-                    | Maximaler   | Ein- | mittlere                | Ein- | mittlerer         | Ein- | Massenstrom | Ein- |
|  | Konzentration | heit                    | Massenstrom | heit | Konzentration           | heit | Massenstrom       | heit | pro         | heit |
|  | pro m³        |                         | pro Stunde  |      | pro m³                  |      | pro Stunde        |      | Heizperiode |      |
| CO   | 60,0          | g                       | 2,64        | kg   | 15,0                    | g    | 0,18              | kg   | 768,69      | kg   |
| NO <sub>x</sub>                            | 691,0         | mg                      | 30,40       | g    | 121,0                   | mg   | 1,42              | g    | 6,20        | kg   |
| SO <sub>2</sub>                            | 135,0         | mg                      | 5,94        | g    | 15,0                    | mg   | 0,18              | g    | 0,77        | kg   |
| C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>              | 12153,0       | mg                      | 534,73      | g    | 536,0                   | mg   | 6,27              | g    | 27,47       | kg   |
| Staub                                      | 2354,0        | mg                      | 103,58      | g    | 383,0                   | mg   | 4,48              | g    | 19,63       | kg   |
| Phenol                                     | 46,4          | mg                      | 2,04        | g    | 15,3                    | mg   | 0,18              | g    | 0,78        | kg   |
| Formaldehyd                                | 80,2          | mg                      | 3,53        | g    | 35,1                    | mg   | 0,41              | g    | 1,80        | kg   |
| Chlorid                                    | 5,9           | mg                      | 0,26        | g    | 0,4                     | mg   | 0,01              | g    | 19,99       | g    |
| Benzol                                     | 8,6           | µg                      | 0,38        | mg   | 6,6                     | µg   | 0,08              | mg   | 0,34        | g    |
| Benzo-a-pyren                              | 122,0         | µg                      | 5,37        | mg   | 63,0                    | µg   | 0,74              | mg   | 3,23        | g    |
| Σ PAH                                      | 6949,0        | µg                      | 305,76      | mg   | 4304,0                  | µg   | 50,36             | mg   | 220,56      | g    |
| Σ NPAH                                     | 8853,0        | ng                      | 389,53      | µg   | 1200,0                  | ng   | 14,04             | µg   | 61,50       | mg   |
| PCDD/F (TE <sub>q,min</sub> ) <sup>1</sup> | 67,0          | pg                      | 2,95        | ng   | 45,0                    | pg   | 0,53              | ng   | 2,31        | µg   |
| PCDD/F (TE <sub>q,max</sub> ) <sup>1</sup> | 108,0         | pg                      | 4,75        | ng   | 80,0                    | pg   | 0,94              | ng   | 4,10        | µg   |

<sup>1</sup> am Heizkessel ermittelt

**Tabelle 16: Emissionen für feuchtes Holz**

| Maximale Emissionen           |               |                         |             |      | Mittlere Emissionen     |      |                   |      |             |      |
|-------------------------------|---------------|-------------------------|-------------|------|-------------------------|------|-------------------|------|-------------|------|
| Anlage:                       |               | Offener Kamin/Kaminofen |             |      | Anlage:                 |      | Kaminofen         |      |             |      |
| Abgasvolumen:                 |               | 48 m³/h i.N.tr.         |             |      | Abgasvolumen:           |      | 12,8 m³/h i.N.tr. |      |             |      |
| Bezugs-O <sub>2</sub> :       |               | 11 %                    |             |      | Heizperiode:            |      | 4380 Stunden      |      |             |      |
|                               |               |                         |             |      | Bezugs-O <sub>2</sub> : |      | 11 %              |      |             |      |
| Schadstoff                    | maximale      | Ein-                    | Maximaler   | Ein- | mittlere                | Ein- | mittlerer         | Ein- | Massenstrom | Ein- |
|                               | Konzentration | heit                    | Massenstrom | heit | Konzentration           | heit | Massenstrom       | heit | pro         | heit |
|                               | pro m³        |                         | pro Stunde  |      | pro m³                  |      | pro Stunde        |      | Heizperiode |      |
| CO                            | 46,0          | g                       | 2,21        | kg   | 19,0                    | g    | 0,24              | kg   | 1065,22     | kg   |
| NO <sub>x</sub>               | 817,0         | mg                      | 39,22       | g    | 235,0                   | mg   | 3,01              | g    | 13,18       | kg   |
| SO <sub>2</sub>               | 192,0         | mg                      | 9,22        | g    | 47,0                    | mg   | 0,60              | g    | 2,64        | kg   |
| C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | 20776,0       | mg                      | 997,25      | g    | 3087,0                  | mg   | 39,51             | g    | 173,07      | kg   |
| Staub                         | 723,0         | mg                      | 34,70       | g    | 325,0                   | mg   | 4,16              | g    | 18,22       | kg   |
| Phenol                        | 85,6          | mg                      | 4,11        | g    | 54,0                    | mg   | 0,69              | g    | 3,03        | kg   |
| Formaldehyd                   | 86,6          | mg                      | 4,16        | g    | 34,9                    | mg   | 0,45              | g    | 1,96        | kg   |
| Chlorid                       | 11,0          | mg                      | 0,53        | g    | 3,2                     | mg   | 0,04              | g    | 179,40      | g    |
| Benzol                        | 11,4          | µg                      | 0,55        | mg   | 8,7                     | µg   | 0,11              | mg   | 0,49        | g    |
| Benzo-a-pyren                 | 155,0         | µg                      | 7,44        | mg   | 155,0                   | µg   | 1,98              | mg   | 8,69        | g    |
| Σ PAH                         | 8603,0        | µg                      | 412,94      | mg   | 8603,0                  | µg   | 110,12            | mg   | 482,32      | g    |
| Σ NPAH                        | 2590,0        | ng                      | 124,32      | µg   | 2590,0                  | ng   | 33,15             | µg   | 145,21      | mg   |

**Tabelle 17: Emissionen für Holzbriketts**

| Maximale Emissionen           |   |                              |                                  |         | Mittlere Emissionen                       |         |                                  |         |                             |         |
|-------------------------------|---|------------------------------|----------------------------------|---------|---|---------|----------------------------------|---------|-----------------------------|---------|
| Anlage:                       |   | Offener Kamin/Kaminofen      |                                  |         | Anlage:                                   |         | Kaminofen                        |         |                             |         |
| Abgasvolumen:                 |   | 44 m <sup>3</sup> /h i.N.tr. |                                  |         | Abgasvolumen:                             |         | 11,7 m <sup>3</sup> /h i.N.tr.   |         |                             |         |
| Bezugs-O <sub>2</sub> :       |   | 11 %                         |                                  |         | Heizperiode:                              |         | 4380 Stunden                     |         |                             |         |
|                               |   |                              |                                  |         | Bezugs-O <sub>2</sub> :                   |         | 11 %                             |         |                             |         |
| Schadstoff                    | maximale Konzentration pro m <sup>3</sup> | Einheit                      | Maximaler Massenstrom pro Stunde | Einheit | mittlere Konzentration pro m <sup>3</sup> | Einheit | mittlerer Massenstrom pro Stunde | Einheit | Massenstrom pro Heizperiode | Einheit |
| CO                            | 46,0                                      | g                            | 2,02                             | kg      | 15,0                                      | g       | 0,18                             | kg      | 768,69                      | kg      |
| NO <sub>x</sub>               | 731,0                                     | mg                           | 32,16                            | g       | 122,0                                     | mg      | 1,43                             | g       | 6,25                        | kg      |
| SO <sub>2</sub>               | 119,0                                     | mg                           | 5,24                             | g       | 13,0                                      | mg      | 0,15                             | g       | 0,67                        | kg      |
| C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | 5218,0                                    | mg                           | 229,59                           | g       | 634,0                                     | mg      | 7,42                             | g       | 32,49                       | kg      |
| Staub                         | 1774,0                                    | mg                           | 78,06                            | g       | 365,0                                     | mg      | 4,27                             | g       | 18,70                       | kg      |
| Phenol                        | 44,6                                      | mg                           | 1,96                             | g       | 6,9                                       | mg      | 0,08                             | g       | 0,35                        | kg      |
| Formaldehyd                   | 60,6                                      | mg                           | 2,67                             | g       | 24,9                                      | mg      | 0,29                             | g       | 1,28                        | kg      |
| Chlorid                       | 14,4                                      | mg                           | 0,63                             | g       | 7,4                                       | mg      | 0,09                             | g       | 0,38                        | kg      |
| Benzol                        | 6,0                                       | µg                           | 0,26                             | mg      | 4,0                                       | µg      | 0,05                             | mg      | 0,20                        | g       |
| Benzo-a-pyren                 | 32,0                                      | µg                           | 1,41                             | mg      | 32,0                                      | µg      | 0,37                             | mg      | 1,64                        | g       |
| Σ PAH                         | 3454,0                                    | µg                           | 151,98                           | mg      | 2133,0                                    | µg      | 24,96                            | mg      | 109,31                      | g       |
| Σ NPAH                        | 20300,0                                   | ng                           | 893,20                           | µg      | 20300,0                                   | ng      | 237,51                           | µg      | 1040,29                     | mg      |

**Tabelle 18: Emissionen für Braunkohlebriketts**

| Maximale Emissionen                       |   |                              |                                  |         | Mittlere Emissionen                       |         |                                  |         |                             |         |
|---|---|------------------------------|----------------------------------|---------|---|---------|----------------------------------|---------|-----------------------------|---------|
| Anlage:                                   |   | Offener Kamin/Kaminofen      |                                  |         | Anlage:                                   |         | Kaminofen                        |         |                             |         |
| Abgasvolumen:                             |   | 46 m <sup>3</sup> /h i.N.tr. |                                  |         | Abgasvolumen:                             |         | 12,3 m <sup>3</sup> /h i.N.tr.   |         |                             |         |
| Bezugs-O <sub>2</sub> :                   |   | 11 %                         |                                  |         | Heizperiode:                              |         | 4380 Stunden                     |         |                             |         |
|   |   |                              |                                  |         | Bezugs-O <sub>2</sub> :                   |         | 11 %                             |         |                             |         |
| Schadstoff                                | maximale Konzentration pro m <sup>3</sup> | Einheit                      | Maximaler Massenstrom pro Stunde | Einheit | mittlere Konzentration pro m <sup>3</sup> | Einheit | mittlerer Massenstrom pro Stunde | Einheit | Massenstrom pro Heizperiode | Einheit |
| CO  | 34,0                                      | g                            | 1,56                             | kg      | 26,0                                      | g       | 0,32                             | kg      | 1400,72                     | kg      |
| NO <sub>x</sub>                           | 492,0                                     | mg                           | 22,63                            | g       | 249,0                                     | mg      | 3,06                             | g       | 13,41                       | kg      |
| SO <sub>2</sub>                           | 132,0                                     | mg                           | 6,07                             | g       | 56,0                                      | mg      | 0,69                             | g       | 3,02                        | kg      |
| C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>             | 9803,0                                    | mg                           | 450,94                           | g       | 3669,0                                    | mg      | 45,13                            | g       | 197,66                      | kg      |
| Staub                                     | 250,0                                     | mg                           | 11,50                            | g       | -----                                     | -----   | -----                            | -----   | -----                       | -----   |
| Phenol                                    | 124,2                                     | mg                           | 5,71                             | g       | 65,2                                      | mg      | 0,80                             | g       | 3,51                        | kg      |
| Formaldehyd                               | 2,0                                       | mg                           | 0,09                             | g       | 1,8                                       | mg      | 0,02                             | g       | 0,09                        | kg      |
| Chlorid                                   | 2,8                                       | mg                           | 0,13                             | g       | -----                                     | -----   | -----                            | -----   | -----                       | -----   |
| Benzol                                    | 51,0                                      | µg                           | 2,35                             | mg      | 33,2                                      | µg      | 0,41                             | mg      | 1,79                        | g       |
| Benzo-a-pyren                             | 40,0                                      | µg                           | 1,84                             | mg      | 37,0                                      | µg      | 0,46                             | mg      | 1,99                        | g       |
| Σ PAH                                     | 29185,0                                   | µg                           | 1342,51                          | mg      | 2839,0                                    | µg      | 34,92                            | mg      | 152,95                      | g       |
| Σ NPAH                                    | 27042,0                                   | ng                           | 1243,93                          | µg      | 3482,0                                    | ng      | 42,83                            | µg      | 187,59                      | mg      |
| PCDD/F (TEq <sub>min</sub> ) <sup>1</sup> | 41,0                                      | pg                           | 1,89                             | ng      | 11,0                                      | pg      | 0,14                             | ng      | 0,59                        | µg      |
| PCDD/F (TEq <sub>max</sub> ) <sup>1</sup> | 753,0                                     | pg                           | 34,64                            | ng      | 263,0                                     | pg      | 3,23                             | ng      | 14,17                       | µg      |

<sup>1</sup> am Heizkessel ermittelt

**Tabelle 19: Emissionen für trockenes Holz/Hausmüll**

| Maximale Emissionen                       |   |                              |                                  |         | Mittlere Emissionen                       |         |                                  |         |                             |         |
|---|---|------------------------------|----------------------------------|---------|---|---------|----------------------------------|---------|-----------------------------|---------|
| Anlage:                                   |   | Offener Kamin/Kaminofen      |                                  |         | Anlage:                                   |         | Kaminofen                        |         |                             |         |
| Abgasvolumen:                             |   | 44 m <sup>3</sup> /h i.N.tr. |                                  |         | Abgasvolumen:                             |         | 11,7 m <sup>3</sup> /h i.N.tr.   |         |                             |         |
| Bezugs-O <sub>2</sub> :                   |   | 11 %                         |                                  |         | Heizperiode:                              |         | 4380 Stunden                     |         |                             |         |
|   |   |                              |                                  |         | Bezugs-O <sub>2</sub> :                   |         | 11 %                             |         |                             |         |
| Schadstoff                                | maximale Konzentration pro m <sup>3</sup> | Einheit                      | Maximaler Massenstrom pro Stunde | Einheit | mittlere Konzentration pro m <sup>3</sup> | Einheit | mittlerer Massenstrom pro Stunde | Einheit | Massenstrom pro Heizperiode | Einheit |
| CO  | 312,0                                     | g                            | 13,73                            | kg      | 18,0                                      | g       | 0,21                             | kg      | 922,43                      | kg      |
| NO <sub>x</sub>                           | 930,0                                     | mg                           | 40,92                            | g       | 223,0                                     | mg      | 2,61                             | g       | 11,43                       | g       |
| SO <sub>2</sub>                           | 110,0                                     | mg                           | 4,84                             | g       | 42,0                                      | mg      | 0,49                             | g       | 2,15                        | g       |
| C <sub>m</sub> H <sub>n</sub>             | 13523,0                                   | mg                           | 595,01                           | g       | 4780,0                                    | mg      | 55,93                            | g       | 244,96                      | g       |
| Phenol                                    | 33,2                                      | mg                           | 1,46                             | g       | 23,2                                      | mg      | 0,27                             | g       | 1,19                        | g       |
| Formaldehyd                               | 8,5                                       | mg                           | 0,37                             | g       | 5,2                                       | mg      | 0,06                             | g       | 0,27                        | g       |
| PCDD/F (TEQ <sub>min</sub> ) <sup>1</sup> | 7894,0                                    | pg                           | 347,34                           | ng      | 3116,0                                    | pg      | 36,46                            | ng      | 159,68                      | µg      |
| PCDD/F (TEQ <sub>max</sub> ) <sup>1</sup> | 7894,0                                    | pg                           | 347,34                           | ng      | 3120,0                                    | pg      | 36,50                            | ng      | 159,89                      | µg      |

<sup>1</sup> am Heizkessel ermittelt

## Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen (Tabellen 20 - 24)

**Tabelle 20: Immissionen für trockenes Holz**

| Maximale Immissionen          |                                |                         |          |        | Mittlere Immissionen           |        |                   |        |         |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------|--------|--------------------------------|--------|-------------------|--------|---------|
| Anlage:                       |                                | Offener Kamin/Kaminofen |          |        | Anlage:                        |        | Kaminofen         |        |         |
| Abgasvolumen:                 |                                | 44 m³/h i.N.tr.         |          |        | Abgasvolumen:                  |        | 11,7 m³/h i.N.tr. |        |         |
|                               |                                |                         |          |        | Heizperiode:                   |        | 4380 Stunden      |        |         |
| Schadstoff                    | Immissionskonzentration pro m³ |                         |          |        | Immissionskonzentration pro m³ |        |                   |        | Einheit |
|                               | 1 Haus                         |                         | 5 Häuser |        | 1 Haus                         |        | 5 Häuser          |        |         |
|                               | Fall 1                         | Fall 2                  | Fall 1   | Fall 2 | Fall 1                         | Fall 2 | Fall 1            | Fall 2 |         |
| CO                            | 6,1                            | 17,0                    | 11,4     | 29,3   | 0,1                            | 0,2    | 0,2               | 0,4    | mg      |
| NO <sub>x</sub>               | 71,0                           | 196,0                   | 131,0    | 337,0  | 0,7                            | 1,8    | 1,2               | 3,1    | µg      |
| SO <sub>2</sub>               | 14,0                           | 38,0                    | 2,59     | 65,8   | 0,1                            | 0,2    | 0,2               | 0,4    | µg      |
| C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | 1200,0                         | 3400,0                  | 2300,0   | 5900,0 | 2,9                            | 8,1    | 5,4               | 13,9   | µg      |
| Staub                         | 240,0                          | 670,0                   | 450,0    | 1200,0 | 2,1                            | 5,8    | 3,9               | 9,9    | µg      |
| Phenol                        | 4,7                            | 13,0                    | 8,8      | 22,6   | 0,1                            | 0,2    | 0,2               | 0,6    | µg      |
| Formaldehyd                   | 8,2                            | 23,0                    | 15,2     | 39,1   | 0,2                            | 0,5    | 0,4               | 0,9    | µg      |
| Chlorid                       | 600,0                          | 1700,0                  | 1120,0   | 2900,0 | 2,2                            | 6,4    | 4,4               | 11,0   | ng      |
| Benzol                        | 0,9                            | 2,5                     | 1,6      | 4,2    | 0,0                            | 0,1    | 0,1               | 0,2    | ng      |
| Benzo-a-pyren                 | 12,5                           | 36,6                    | 23,1     | 59,5   | 0,3                            | 1,0    | 0,6               | 1,6    | ng      |
| Σ PAH                         | 710,0                          | 2000,0                  | 1300,0   | 3400,0 | 24,0                           | 64,0   | 44,0              | 112,0  | ng      |
| Σ NPAH                        | 900,0                          | 2500,0                  | 1700,0   | 4300,0 | 6,6                            | 18,0   | 12,0              | 31,2   | fg      |
| PCDD/F (TEQ <sub>min</sub> )  | 6,9                            | 19,0                    | 13,0     | 33,0   | 0,2                            | 0,7    | 0,5               | 1,2    | fg      |
| PCDD/F (TEQ <sub>max</sub> )  | 11,0                           | 31,0                    | 21,0     | 53,0   | 0,4                            | 1,2    | 0,8               | 2,1    | fg      |

**Tabelle 21: Immissionen für feuchtes Holz**

| Maximale Immissionen          |                                |                         |          |         | Mittlere Immissionen           |        |                   |        |         |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------|---------|--------------------------------|--------|-------------------|--------|---------|
| Anlage:                       |                                | Offener Kamin/Kaminofen |          |         | Anlage:                        |        | Kaminofen         |        |         |
| Abgasvolumen:                 |                                | 48 m³/h i.N.tr.         |          |         | Abgasvolumen:                  |        | 12,8 m³/h i.N.tr. |        |         |
|                               |                                |                         |          |         | Heizperiode:                   |        | 4380 Stunden      |        |         |
| Schadstoff                    | Immissionskonzentration pro m³ |                         |          |         | Immissionskonzentration pro m³ |        |                   |        | Einheit |
|                               | 1 Haus                         |                         | 5 Häuser |         | 1 Haus                         |        | 5 Häuser          |        |         |
|                               | Fall 1                         | Fall 2                  | Fall 1   | Fall 2  | Fall 1                         | Fall 2 | Fall 1            | Fall 2 |         |
| CO                            | 5,1                            | 14,0                    | 9,5      | 24,5    | 0,1                            | 0,3    | 0,2               | 0,5    | mg      |
| NO <sub>x</sub>               | 91,0                           | 253,0                   | 169,0    | 43,5    | 1,4                            | 3,9    | 2,6               | 6,7    | µg      |
| SO <sub>2</sub>               | 21,0                           | 59,0                    | 40,0     | 102,0   | 0,3                            | 0,8    | 0,5               | 1,3    | µg      |
| C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | 2300,0                         | 6400,0                  | 4300,0   | 11100,0 | 18,4                           | 51,0   | 34,0              | 8,8    | µg      |
| Staub                         | 81,0                           | 224,0                   | 14,9     | 385,0   | 1,9                            | 5,4    | 3,6               | 9,2    | µg      |
| Phenol                        | 9,6                            | 26,5                    | 17,7     | 45,6    | 0,3                            | 0,9    | 0,6               | 1,5    | µg      |
| Formaldehyd                   | 9,7                            | 26,8                    | 17,9     | 46,1    | 0,2                            | 0,6    | 0,4               | 1,0    | µg      |
| Chlorid                       | 1,2                            | 3,4                     | 2,3      | 5,9     | 0,0                            | 0,1    | 0,0               | 0,1    | µg      |
| Benzol                        | 1,3                            | 3,5                     | 2,4      | 6,1     | 0,1                            | 0,1    | 0,1               | 0,2    | ng      |
| Benzo-a-pyren                 | 17,3                           | 48,0                    | 32,0     | 82,5    | 0,9                            | 2,6    | 1,7               | 4,4    | ng      |
| Σ PAH                         | 1000,0                         | 2700,0                  | 1800,0   | 4600,0  | 52,0                           | 142,0  | 94,0              | 240,0  | ng      |
| Σ NPAH                        | 290,0                          | 800,0                   | 540,0    | 1400,0  | 15,4                           | 42,0   | 28,0              | 74,0   | fg      |



Tabelle 22: Immissionen für Holzbriketts

| Maximale Immissionen          |                                |                         |          |        | Mittlere Immissionen           |        |                   |        |         |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------|--------|--------------------------------|--------|-------------------|--------|---------|
| Anlage:                       |                                | Offener Kamin/Kaminofen |          |        | Anlage:                        |        | Kaminofen         |        |         |
| Abgasvolumen:                 |                                | 44 m³/h i.N.tr.         |          |        | Abgasvolumen:                  |        | 11,7 m³/h i.N.tr. |        |         |
|                               |                                |                         |          |        | Heizperiode:                   |        | 4380 Stunden      |        |         |
| Schadstoff                    | Immissionskonzentration pro m³ |                         |          |        | Immissionskonzentration pro m³ |        |                   |        | Einheit |
|                               | 1 Haus                         |                         | 5 Häuser |        | 1 Haus                         |        | 5 Häuser          |        |         |
|                               | Fall 1                         | Fall 2                  | Fall 1   | Fall 2 | Fall 1                         | Fall 2 | Fall 1            | Fall 2 |         |
| CO                            | 4,7                            | 13,0                    | 8,7      | 22,4   | 0,1                            | 0,2    | 0,2               | 0,4    | mg      |
| NO <sub>x</sub>               | 75,0                           | 207,0                   | 138,0    | 356,0  | 0,7                            | 1,8    | 1,2               | 3,2    | µg      |
| SO <sub>2</sub>               | 12,2                           | 33,8                    | 22,6     | 58,0   | 0,1                            | 0,2    | 0,1               | 0,3    | µg      |
| C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | 530,0                          | 1500,0                  | 990,0    | 2500,0 | 3,5                            | 9,6    | 6,4               | 16,4   | µg      |
| Staub                         | 181,0                          | 503,0                   | 33,6     | 86,5   | 2,0                            | 5,5    | 3,7               | 9,5    | µg      |
| Phenol                        | 4,6                            | 13,0                    | 8,4      | 21,7   | 0,0                            | 0,1    | 0,1               | 0,2    | µg      |
| Formaldehyd                   | 6,2                            | 17,2                    | 11,5     | 29,6   | 0,1                            | 0,4    | 0,3               | 0,6    | µg      |
| Chlorid                       | 1,5                            | 4,1                     | 2,7      | 7,0    | 0,0                            | 0,1    | 0,1               | 0,2    | µg      |
| Benzol                        | 0,6                            | 1,7                     | 1,1      | 2,9    | 0,0                            | 0,1    | 0,0               | 0,1    | ng      |
| Benzo-a-pyren                 | 3,3                            | 9,1                     | 6,1      | 15,6   | 0,2                            | 0,5    | 0,3               | 0,8    | ng      |
| Σ PAH                         | 350,0                          | 980,0                   | 650,0    | 1700,0 | 11,6                           | 32,2   | 21,4              | 55,4   | ng      |
| Σ NPAH                        | 2100,0                         | 5800,0                  | 3800,0   | 9900,0 | 110,0                          | 300,0  | 200,0             | 520,0  | fg      |

Tabelle 23: Immissionen für Braunkohlebriketts

| Maximale Immissionen          |                                |                         |          |         | Mittlere Immissionen           |        |                   |        |         |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------|---------|--------------------------------|--------|-------------------|--------|---------|
| Anlage:                       |                                | Offener Kamin/Kaminofen |          |         | Anlage:                        |        | Kaminofen         |        |         |
| Abgasvolumen:                 |                                | 46 m³/h i.N.tr.         |          |         | Abgasvolumen:                  |        | 12,3 m³/h i.N.tr. |        |         |
|                               |                                |                         |          |         | Heizperiode:                   |        | 4380 Stunden      |        |         |
| Schadstoff                    | Immissionskonzentration pro m³ |                         |          |         | Immissionskonzentration pro m³ |        |                   |        | Einheit |
|                               | 1 Haus                         |                         | 5 Häuser |         | 1 Haus                         |        | 5 Häuser          |        |         |
|                               | Fall 1                         | Fall 2                  | Fall 1   | Fall 2  | Fall 1                         | Fall 2 | Fall 1            | Fall 2 |         |
| CO                            | 3,6                            | 10,0                    | 6,7      | 17,0    | 0,1                            | 0,4    | 0,3               | 0,7    | mg      |
| NO <sub>x</sub>               | 53,0                           | 146,0                   | 97,0     | 251,0   | 1,4                            | 4,0    | 2,6               | 6,8    | µg      |
| SO <sub>2</sub>               | 14,0                           | 39,0                    | 26,0     | 67,0    | 0,3                            | 0,9    | 0,6               | 1,5    | µg      |
| C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | 1000,0                         | 3000,0                  | 1900,0   | 5500,0  | 21,0                           | 58,2   | 38,8              | 100,0  | µg      |
| Staub                         | 27,0                           | 74,0                    | 50,0     | 127,0   | ----                           | ----   | ----              | ----   | µg      |
| Phenol                        | 13,0                           | 37,0                    | 25,0     | 63,0    | 0,4                            | 1,0    | 0,7               | 1,8    | µg      |
| Formaldehyd                   | 210,0                          | 580,0                   | 390,0    | 1000,0  | 9,4                            | 26,0   | 17,2              | 44,0   | ng      |
| Chlorid                       | 300,0                          | 840,0                   | 560,0    | 1400,0  | ----                           | ----   | ----              | ----   | ng      |
| Benzol                        | 5,5                            | 15,0                    | 10,0     | 26,0    | 0,2                            | 0,5    | 0,4               | 0,9    | ng      |
| Benzo-a-pyren                 | 4,3                            | 12,0                    | 8,0      | 20,0    | 0,2                            | 0,6    | 0,4               | 1,0    | ng      |
| Σ PAH                         | 3100,0                         | 8700,0                  | 5800,0   | 14900,0 | 16,2                           | 45,0   | 30,0              | 77,4   | ng      |
| Σ NPAH                        | 2900,0                         | 8000,0                  | 5400,0   | 13800,0 | 25,6                           | 55,2   | 36,8              | 95,0   | fg      |
| PCDD/F (TEq <sub>min</sub> )  | 4,0                            | 12,0                    | 8,0      | 21,0    | 0,1                            | 0,2    | 0,1               | 0,3    | fg      |
| PCDD/F (TEq <sub>max</sub> )  | 81,0                           | 220,0                   | 140,0    | 380,0   | 1,6                            | 4,2    | 2,8               | 7,2    | fg      |

**Tabelle 24: Immissionen für Holz/Hausmüll**

| Maximale Immissionen          |                                |                         |          |        | Mittlere Immissionen           |        |                   |        |         |
|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------|----------|--------|--------------------------------|--------|-------------------|--------|---------|
| Anlage:                       |                                | Offener Kamin/Kaminofen |          |        | Anlage:                        |        | Kaminofen         |        |         |
| Abgasvolumen:                 |                                | 44 m³/h i.N.tr.         |          |        | Abgasvolumen:                  |        | 11,7 m³/h i.N.tr. |        |         |
|                               |                                |                         |          |        | Heizperiode:                   |        | 4380 Stunden      |        |         |
| Schadstoff                    | Immissionskonzentration pro m³ |                         |          |        | Immissionskonzentration pro m³ |        |                   |        | Einheit |
|                               | 1 Haus                         |                         | 5 Häuser |        | 1 Haus                         |        | 5 Häuser          |        |         |
|                               | Fall 1                         | Fall 2                  | Fall 1   | Fall 2 | Fall 1                         | Fall 2 | Fall 1            | Fall 2 |         |
| CO                            | 32,0                           | 89,0                    | 59,0     | 152,0  | 0,1                            | 0,3    | 0,2               | 0,5    | mg      |
| NO <sub>x</sub>               | 95,0                           | 264,0                   | 176,0    | 454,0  | 1,2                            | 3,4    | 2,2               | 5,8    | µg      |
| SO <sub>2</sub>               | 11,0                           | 31,0                    | 21,0     | 54,0   | 0,2                            | 0,6    | 0,4               | 1,1    | µg      |
| C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> | 1400,0                         | 3800,0                  | 2600,0   | 6600,0 | 26,0                           | 72,0   | 48,2              | 124,0  | µg      |
| Phenol                        | 3,4                            | 9,4                     | 6,3      | 16,0   | 0,1                            | 0,3    | 0,2               | 0,6    | µg      |
| Formaldehyd                   | 0,9                            | 2,4                     | 1,6      | 4,1    | 0,0                            | 0,1    | 0,1               | 0,1    | µg      |
| PCDD/F (TEQ <sub>min</sub> )  | 810,0                          | 2200,0                  | 1500,0   | 3800,0 | 17,0                           | 48,0   | 32,0              | 80,0   | fg      |
| PCDD/F (TEQ <sub>max</sub> )  | 810,0                          | 2200,0                  | 1500,0   | 3800,0 | 17,0                           | 48,0   | 32,0              | 80,0   | fg      |

**Tabelle 25: Größenordnung der Immissionsvorbelastung in industriell geprägten Gebieten**

| Komponente          | Jahresmittelwert | 98-Perzentilwert | Erhebungsart | Gebietsbezug     | Quelle                    |
|---------------------|------------------|------------------|--------------|------------------|---------------------------|
| CO                  | 1 mg/m³          | 2 - 7 mg/m³      | Messung      | Rhein-Ruhrgebiet | TEMES-Jahresbericht 1991  |
| NO <sub>x</sub>     | 40 µg/m³         | 98 µg/m³         | Messung      | Rhein-Ruhrgebiet | TEMES-Jahresbericht 1991  |
| SO <sub>2</sub>     | 28 µg/m³         | 115 µg/m³        | Messung      | Rhein-Ruhrgebiet | TEMES-Jahresbericht 1991  |
| Schwebstaub         | 54 µg/m³         | 123 µg/m³        | Messung      | Rhein-Ruhrgebiet | TEMES-Jahresbericht 1991  |
| Phenol              | < 1 µg/m³        | ca. 3 µg/m³      | Simulation   | Rheinschiene Süd | LRP Rheinschiene Süd 1991 |
| Formaldehyd         |                  | < 1 µg/m³        | Simulation   | Rheinschiene Süd | LRP Rheinschiene Süd 1991 |
| Chloride            | < 1 µg/m³        | < 1 µg/m³        | Simulation   | Rheinschiene Süd | LRP Rheinschiene Süd 1991 |
| Benzol              | 3,64 µg/m³       | ---              | Messung      | Rhein-Ruhrgebiet | LIMES-Jahresbericht 1991  |
| Benzo[a]pyren       | 1,82 ng/m³       | ---              | Messung      | Rhein-Ruhrgebiet | LIMES-Jahresbericht 1991  |
| <u>PCDD/PCDF</u>    |                  |                  |              | NRW              | LIS-Jahresbericht 1992    |
| Stadt (industriell) | 171 fgTEQ/m³     | ---              | Messung      |                  |                           |
| Land                | 39 fgTEQ/m³      | ---              | Messung      |                  |                           |

