

# Charakterisierung von Emissionen aus Holzkohlegrills und ihr Einfluss auf die Luftqualität

## Characterization of emissions from charcoal grills and their influence on ambient air quality

### ZUSAMMENFASSUNG

In Grill-Restaurants, -Gaststätten und -Imbissen werden Speisen auf Holzkohlegrills zubereitet. Aufgrund der dichten Bebauung im innerstädtischen Bereich und einer teilweise unzureichenden Ableitung der Emissionen (geringe Mündungshöhe des Schornsteins), verbunden mit fehlender oder nicht ausreichend wirksamer Emissionsminderungstechnik, kann es zu einer hohen Belastung der Außenluft mit Feinstaub, Gerüchen und anderen Schadstoffen in der Nachbarschaft kommen. Die Geruchs- und die Staubbelastung durch Holzkohlegrillanlagen werden häufig als größte Probleme wahrgenommen. Schon einzelne Holzkohlegrills können zur Überschreitung der Geruchsimmissionswerte in der Umgebung beitragen. Bei einer Häufung mehrerer Holzkohlegrills im innerstädtischen Bereich kann es neben einer weiträumigen Überschreitung der Geruchsimmissionswerte auch zur Überschreitung der Immissionsgrenzwerte für Feinstaub ( $PM_{10}$  und  $PM_{2.5}$ ) und in ungünstigen Lagen in Innenhöfen auch von Benzol kommen.

CHRISTIAN  
LIESEGANG<sup>1</sup>,  
MOHAMMAD  
ALEYSA<sup>2</sup>, MATHIAS  
BARTHEL<sup>3</sup>, THOMAS  
PILLHOFER<sup>3</sup>, ALFRED  
TRUKENMÜLLER<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Umweltbundesamt

<sup>2</sup> Fraunhofer-Institut  
für Bauphysik

<sup>3</sup> Wölfel Engineering

### ABSTRACT

*In charcoal grill restaurants, food is prepared on charcoal grills. Often these are built in inner-city areas. Due to the dense development and sometimes poor discharge of emissions (outlet of chimney), combined with missing or non-existent emission control technology, a high concentration of fine dust, odours and other pollutants can occur for the neighbourhood. Odour emissions from charcoal grills are the biggest problem from an air hygiene perspective. Here, even single charcoal grills cause limit values for statutory nuisance smell to be exceeded. If there is an accumulation of several charcoal grills in the inner-city area, the limit values for particulate matter ( $PM_{10}$  and  $PM_{2.5}$ ) in ambient air and, in unfavorable inner-courtyard areas with low air exchange, also for benzene are exceeded.*

### EINLEITUNG

Holzkohlegrills stellen eine nicht genehmigungsbedürftige Anlage im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) (§ 3 Abs. 5 Nr. 2 BImSchG) dar, die den §§ 22 bis 25 BImSchG unterliegt. Somit ist für die Errichtung und den Betrieb von Holzkohlegrills kein immissionsschutzrechtliches Genehmigungsverfahren nach § 4 BImSchG

durchzuführen. Holzkohle ist gemäß der ersten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über kleine und mittlere Feuerungsanlagen – 1. BImSchV) als Brennstoff in nicht genehmigungsbedürftigen Feuerungsanlagen zugelassen. Holzkohlegrills, die dazu bestimmt sind, Speisen durch unmittelbare Berührung mit heißen Abgasen zu backen oder in ähnlicher Weise zuzubereiten, waren jedoch von einem



Holzkohlegrills in Restaurants können zu einer hohen Schadstoffbelastung der Außenluft beitragen. Quelle: Aleya, Leistner 2021.

Großteil der Anforderungen der 1. BImSchV ausgenommen. Hierzu gehören die Anforderungen an die Überwachung, die Ableitbedingungen und Emissionsbegrenzungen. Für Holzkohlegrills und ähnliche Anlagen, die seit dem 20. Juni 2019 neu errichtet oder wesentlich geändert wurden beziehungsweise werden, sind die Anforderungen an die Überwachung und die Ableitbedingungen anwendbar.

Holzkohlegrills werden als nicht genehmigungsbedürftige Anlagen vielfach ohne Berücksichtigung des Einflusses auf die Luftqualität der Außenluft errichtet und wie typische Kücheneinheiten in der Gastronomie bewertet. Eine klassische Abgasführung (z. B. Schornsteinmündung mindestens ein Meter über First; Fenster, Türen und Lüftungsöff-

nungen im Umkreis müssen überragt werden) oder Abgasreinigung ist häufig nicht vorhanden.

Ein hohes Emissionspotenzial für Luftsabstoffe stellen die schwankenden Bedingungen während des Grillvorgangs dar. Dies umfasst die ungeregelte Luftzufluss, die unterschiedliche Beschickung des Grills mit Kohle und Grillgut und insbesondere die unkontrollierte beziehungsweise unbeabsichtigte Verbrennung von herabtropfendem Fett.

Holzkohlegrillrestaurants werden hauptsächlich im innerstädtischen Bereich errichtet und betrieben. Aufgrund der dichten Bebauung und einer teilweise unzureichenden Ableitung der Abgase (z. B. durch zu geringe Mündungshöhe des Schornsteins, keine Ableitung in die freie Luftströmung), verbunden

mit nicht vorhandener oder nicht ausreichend wirksamer Emissionsminderungstechnik, kann es zu einer hohen Belastung der Außenluft mit Feinstaub, Gerüchen und anderen Schadstoffen kommen. Die Folge sind schädliche Wirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Umwelt sowie Beschwerden von betroffenen Anwohnerinnen und Anwohnern bei Behörden, Fachdienststellen oder beim Schornsteinfegerhandwerk.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Emissionssituation und Emissionsminderung von Holzkohlegrills und anderen Feuerungsanlagen, die dazu bestimmt sind Speisen mit heißen Abgasen zuzubereiten“ (FKZ: 3718 533024) wurden der Anlagenbestand von Holzkohlegrills, die Beschwerdesituation, die Emissionen mit und ohne nachgeschalteter Emissionsminderungstechnik untersucht und basierend auf den Ergebnissen Ausbreitungsmodellierungen durchgeführt.

Im Rahmen dieses Forschungsvorhabens hat der Zentralinnungsverband des Schornsteinfegerhandwerks (ZIV) eine Umfrage bei Schornsteinfegerbetrieben durchgeführt. Es sollte ermittelt werden, ob und wie viele Anlagen zur Zubereitung von Speisen betrieben werden und welche Brennstoffe eingesetzt werden. Die Anzahl der Holzkohlegrills ergibt sich aus der Hochrechnung mit 7.397 Anlagen in Deutschland. Nur ein sehr geringer Anteil der Anlagen verfügt über ein nachgeschaltetes Abgasreinigungssystem (Aleysa, Leistner 2021).

## GRILLVERSUCHSANLAGE

Für die Ermittlung der Emissionen von Holzkohlegrills wurde im Technikum des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP (Fraunhofer IBP) eine technische Versuchseinrichtung aufgebaut, mit welcher der Praxisbetrieb von im Gastronomiebereich eingesetzten Grillanlagen mit und ohne handelsübliche Abgasreinigungseinrichtung simuliert und die relevanten Emissionen gemessen werden konnten.

Als Grillanlage wurde ein handelsüblicher Gastronomie-Grill mit einer Grillfläche von circa 0,5 m<sup>2</sup> verwendet. Die Speisen werden auf einem über der Glut befestigten Grillrost zubereitet. Der Rost besteht aus dreieck-prisma-förmigen Fettauffangrinnen, über die ein Teil der abtropfenden Fette und Flüssigkeiten in einen Fettauffangbehälter abgeleitet wird.

Bei der verwendeten Abgasreinigung handelt es sich um ein mehrstufiges Abgasreinigungssystem, das über folgende hintereinander geschaltete Reinigungsstufen verfügt:

- Dunstabzugshaube: Die Dunstabzugshabe dient der Abscheidung von Stäuben und Aerosolen.
- Ozongenerator: Der Ozongenerator dient der Beaufschlagung des Abgases mit Ozon. Hierdurch sollen unverbrannte Komponenten bei niedrigen Temperaturen oxidiert und unter anderem die Geruchsemissionen gemindert werden.
- Zweistufiger Rauchgaswäscher: Der zweistufige Rauchgaswäscher dient der Abscheidung von Fettpartikeln und der Vorkonditionierung des Abgases für die nachgeschalteten Reinigungsstufen. In der ersten Stufe wird das Abgas mittels spezieller Sprüheinheiten mit Frischwasser und in der zweiten Stufe mit einer Tensidflüssigkeit besprührt. Hierdurch kommt es zu einer Entfernung von Ruß und Fettpartikeln. Gleichzeitig wird das Abgas von 50°C auf etwa 25°C abgekühlt.
- Drahtgestrickfilter: Der Drahtgestrickfilter dient der Abscheidung von Fetten und Wassertröpfchen.
- Schwammfilter: Der Schwammfilter dient der Abscheidung von Aerosolen, Fetten und Wassertröpfchen mit einem Durchmesser von mehr als 2,2 µm.
- Elektroabscheider: Der Elektroabscheider dient der Abscheidung von Stäuben.
- Aktivkohlefilter: Der Aktivkohlefilter dient der Abscheidung von organischen Stoffen und Gerüchen. Stäube werden auch in einem Aktivkohlefilter abgeschieden, sollten aber in einem vorgeschalteten Elektroabscheider weitestgehend reduziert

werden, da sich der Aktivkohlefilter sonst mit Staub zusetzen kann.

## ERGEBNISSE DER EMISSIONSMESSUNG

Für die Grillversuche wurden circa 15 bis 25 kg Grillkohle eingesetzt. Als Grillgut wurden unter anderem Lammsspieße – sogenannte Adana-Spieße – mit einem Fettanteil von etwa 30 bis 40 Prozent verwendet. Hierbei wurde an zwei Versuchstagen etwa 2,5 bis 3,5 Stunden gegrillt. An beiden Versuchstagen wurden circa 50 Adana-Spieße zubereitet. Pro Grillvorgang wurden etwa 2,5 bis 3 kg Fleisch gegrillt, was etwa 10 bis 15 Adana-Spießen entspricht.

Neben Lammsspießen, Hähnchenfleisch und Gemüse wurden auch Versuche mit anderen Grillgütern (Schweinefleisch, Rindfleisch, Fisch) an einem handelsüblichen Grill durchgeführt. Die Ergebnisse lassen sich auf die Ergebnisse der Emissionsmessungen an einer Gastronomieanlage übertragen.

In **TABELLE I** werden die spezifischen Emissionsfaktoren aus der Speisenzubereitung durch einen Holzkohlegrill dargestellt. Hierbei werden die Emissionen auf den Energiegehalt des Brennstoffs bezogen. Es wird sichtbar, dass im Vergleich zu anderen Grillgütern wie Fisch oder Fleisch, die höchsten Emissionen bei der Zubereitung von Lammsspießen entstehen. Hier sind die Emissionen an Feinstaub ( $PM_{10}$ ), Kohlenwasserstoffen und Organic Gaseous Carbon (OGC) ungefähr dreimal höher als bei der Zubereitung anderer Grillgüter.

## ERGEBNISSE DER EMISSIONSMINDERUNG DER ABGASREINIGUNGSANLAGE

Für die Betrachtung der Dauerfunktionalität der Abgasreinigungstechnik und Abschätzung von Zeitintervallen für die notwendige Reinigung und Wartung wurde das Glutbett über einen Zeitraum von drei Wochen mit 130 kg Fett beaufschlagt. Das entspricht einer Masse von etwa 500 kg Hackfleisch

**TABELLE I**  
 Emissionsfaktoren bei der Speisenzubereitung auf einem Holzkohlegrill.  
 Quelle: Aleysa, Leistner 2021.

EMISSIONSFATOR (kg/TJ)	LAMMSPIESSE	SCHWEINESTEAK	HÄHNCHEN-SCHENKEL	HÄHNCHEN-MISCHUNG*	FISCH	HOLZKOHLE (Glutbett-vorbereitung)
Kohlenstoffmonoxid (CO)	3.038	4.670	4.640	2.757	3.706	1.867
Kohlenwasserstoffe (C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> ) (FTIR)	3.671	1.112	1.063	391	669	539
Organic Gaseous Carbon (FID)	1.885	622	191	47	248	199
Nicht Methan Kohlenwasserstoffe	3.440	830	861	230	494	411
Feinstaub PM 10	1.241	304	282	84	244	16–428
PAK	3,7–5,7					0,3–0,4
davon Naphthalin	3,5–5,5					–
BTEX	45,1–76,9					6,4–17,9
davon Benzol	20,9–34,3					5,5–10
Gerüche [GE/m <sup>3</sup> ]	36.000–120.000					

\* Mischung aus Hähnchenschenkel, -brust und -flügel.

beziehungsweise Lammspießen. In **TABELLE 2** sind die Emissionen (Frachten und Konzentrationen) im Neuzustand, das heißt vor der Beaufschlagung mit Fett, sowie nach der Beaufschlagung mit Fett dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Abscheideleistung der Abgasreinigungsanlage nach der Beaufschlagung der Grillanlage mit Fett insbesondere bei den Kohlenwasserstoffen ( $C_nH_m$ ) sowie leichtflüchtigen aromatischen Kohlenwasserstoffen Benzol, Toluol, Ethylbenzol und Xylol (BTEX) und bei den polzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) stark nachgelassen hat.

Bei den BTEX sind die Konzentrationen im Reingas nach der Dauerbelastung höher als im Rohgas. Das lässt sich mit der Beladung des Aktivkohlefilters begründen. Nach der

Dauerbelastung war der Aktivkohlefilter so stark beladen, dass einerseits keine Adsorption von BTEX mehr stattfinden konnte und andererseits bereits adsorbierte Komponenten desorbiert wurden.

Eine Minderung der Feinstaubkonzentration ( $PM_{10}$ ) von über 90 Prozent und eine Minderung der Geruchskonzentration um 87 Prozent war auch noch nach der Belastung der Abgasminderungseinrichtung möglich.

Die Geruchsemissionen (gemessen in Geruchseinheiten – GE) lagen im Rohgas im Durchschnitt zwischen 38.000 GE/m<sup>3</sup> und 42.000 GE/m<sup>3</sup>. Bei starker Rauchentwicklung, hervorgerufen durch die Schürung des Brennstoffs sowie kurz nach dem Auflegen des Grillguts, wurden Geruchsemissionsspitzen von bis zu 120.000 GE/m<sup>3</sup> gemessen.

**TABELLE 2**  
 Vergleich der Emissionen vor und nach der Belastung des Abgasreinigungssystems mit 130 kg Fett über 3 Wochen. Quelle: Aleysa, Leistner 2021.

STOFF/ STOFFGRUPPE	EINHEIT	GRILLEN VON HACKFLEISCH (VOR BELASTUNG)		GRILLEN VON HACKFLEISCH (NACH BELASTUNG)	
		ROHGas	REINGAS	ROHGas	REINGAS
<b>Sauerstoffgehalt O<sub>2</sub></b>	[Vol.-%]	<b>20 &lt; O<sub>2</sub> &lt; 21</b>	<b>20 &lt; O<sub>2</sub> &lt; 21</b>	<b>20 &lt; O<sub>2</sub> &lt; 21</b>	<b>20 &lt; O<sub>2</sub> &lt; 21</b>
Kohlenstoffmonoxid CO (FTIR)	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	113–203	217–292	38–87	107–139
	[g/h]	90–162	254–342	50–115	139–181
Kohlenwasserstoffe C <sub>n</sub> H <sub>m</sub> (FTIR)	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	227–510	44–114	166–278	115–173
	[g/h]	182–408	51–133	219–367	150–225
OGC (FID)	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	47–134	12–55	21–68	10–71
	[g/h]	38–107	14–64	28–90	13–92
PAK	[μg/Nm <sup>3</sup> ]	280	nicht nachweisbar	433	271
	[g/h]	0,224	nicht nachweisbar	0,346	0,352
BTEX	[μg/Nm <sup>3</sup> ]	5.830	2.310	3.420	6.220
	[g/h]	4,7	3,0	2,7	8,1
Gerüche (Olfaktometer)	[GE/m <sup>3</sup> ]	36.000 – 120.000	300–500	36.000–120.000	4.200–5.000
Feinstaub PM <sub>10</sub> , PM <sub>2,5</sub> (gravimetrisch)*	[mg/Nm <sup>3</sup> ]	90–171	< 10	90–171	< 5
	[g/h]	108–205	< 12	108–205	< 6
Ultrafeinstaub (5 nm bis 350 nm, gezählt, SMPS)	[Partikel/ Ncm <sup>3</sup> ]	$6,6 \times 10^6$	$2,7 \times 10^4$	$6,6 \times 10^6$	$2,7 \times 10^4$

\* Ein Großteil der Stäube ist kleiner als PM<sub>2,5</sub>.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass durch eine Abgasreinigung im Neuzustand eine Minderung an toxikologisch und geruchsrelevanten Stäuben und Aerosolen sowie gasförmigen Emissionen erreicht werden kann. Die wichtigste Abscheidestufe zur Minderung von Gerüchen und Kohlenwasserstoffen ist der Aktivkohlefilter.

Um eine hohe Effektivität bei der Reinigung des Abgases beizubehalten, ist eine regelmäßige Wartung der Abgasreinigungseinrichtung erforderlich.

Vor allem der Aktivkohlefilter muss regelmäßig ausgetauscht beziehungsweise gewartet werden, da die notwendige Schadstoffminderung sonst nicht eintritt und es zu einer Desorption von Schadstoffen nach vollständiger Beladung des Aktivkohlefilters kommt. Auch wenn nur geringe Geruchsemissionen wahrgenommen werden, ist ein Austausch des Aktivkohlefilters und gegebenenfalls eine Wartung der Anlage notwendig, da es sonst zu hohen Emissionen an gasförmigen Kohlenwasserstoffen und zu einer Desorption von Aromaten am Aktivkohlefilter kommen kann.

Bei den durchgeführten Untersuchungen wurde festgestellt, dass ein spezifischer Verbrauch von 1 kg Aktivkohle pro 10 kg Grillgut (Lammspieße mit einem Fettgehalt zwischen 38 % und 45 %) erforderlich ist, um eine ausreichende Adsorption von Schadstoffen zu gewährleisten.

## IMMISSIONSMODELLIERUNG

### VORGEHENSWEISE

Im Rahmen der Immissionsmodellierung wird die Ausbreitung der in den Emissionsmessungen ermittelten Geruchs- und Luftschadstoffemissionen für drei reale Anlagenstandorte durch Ausbreitungsrechnungen in verschiedenen Szenarien simuliert:

- worst case: Rohgas mit realen Ableitbedingungen,

- Reingas mit Abgasreinigungsanlage nach Dauerbelastung,
- Ableitbedingungen nach VDI 3781, Blatt 4,
- best case: Kombination der Szenarien 2. und 3.

Ergebnisse dieser Simulationen sind berechnete Felder der Immissionen (Geruchsstundenhäufigkeiten und Schadstoffkonzentrationen) in der Außenluft. Im Folgenden werden beispielhaft die Ergebnisse für das Modellgebiet Mannheim Marktplatz mit 12 Holzkohlegrills und 3 Pizzaöfen vorgestellt.

Zusätzlich zu den Geruchsimmissionen werden die Luftschadstoffe Staub, Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ), CO und als besonders gesundheitsschädliche organische Verbindungen die Stoffgruppen BTEX und PAK untersucht.

Die Emissionszeitreihen, das heißt die zeitliche Variation der Emissionen, werden in Anlehnung an reale Betriebszeiten ermittelt.

Für die Simulation der Schadstoffausbreitung werden Windfelder benötigt, die zuvor speziell für das Modellgebiet berechnet wurden. Die Windfeldberechnung erfolgte mit dem mikroskaligen, prognostischen Windfeldmodell MISKAM, um die Strömungs- und Turbulenzfelder in der Umgebung der innerstädtischen Bebauungsstrukturen berücksichtigen zu können.

Die Ausbreitungsrechnungen für Geruch, Staub und Gase wurden mit einem Lagrange'schen Partikelmodell entsprechend den Anforderungen des Anhangs 2 der Neufassung der TA Luft in Verbindung mit der Richtlinie VDI 3945 Blatt 3 berechnet.

### ÜBERSICHT DER EMISSIONSFAKTOREN

Für die Ableitung der Emissionsquellstärken werden die Ergebnisse der Versuchsanlage auf dem Prüfstand des Fraunhofer IBP verwendet. Die Immissionsmodellierung wird für die Schadstoffe Feinstaub ( $\text{PM}_{10}$  und  $\text{PM}_{2,5}$ ), CO, PAK, BTEX, sowie Gerüche durchgeführt.

Die quantitativen Analysen der Abgase aus den Grillversuchen von Hackfleischspießen aus dem Holzkohlegrill haben ergeben, dass

die emittierten PAK zu mehr als 95 Prozent als Naphthalin auftreten. Die Konzentrationen von Benzo(a)pyren, für welches die 39. BImSchV als Leitsubstanz der PAK einen Immissionszielwert von  $1 \text{ ng}/\text{m}^3$  vorsieht, liegen in den Analysen unterhalb der Nachweisgrenze. Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wird im Sinne einer konservativen Vorgehensweise der Summenparameter PAK in den Ausbreitungsrechnungen berücksichtigt und die so ermittelten Immissionskonzentrationen werden informativ dem Beurteilungswert für Benzo(a)pyren gegenübergestellt.

Des Weiteren zeigen die quantitativen Analysen, dass die im Abgas nachgewiesenen Benzol-Konzentrationen je nach Grillversuch zwischen 39 und 46 Prozent Anteil an den BTEX-Aromaten haben (TABELLE 1). Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung werden die im Abgas nachgewiesenen BTEX-Konzentrationen in den Ausbreitungsrechnungen modelliert und die ermittelten Immissionskonzentrationen werden informativ dem Grenzwert von  $5 \text{ µg}/\text{m}^3$  (Jahresmittelwert für Benzol) nach der 39. BImSchV gegenübergestellt.

Um die zeitliche Variabilität der Emissionen im typischen Tagesbetrieb abzubilden, werden jeweils die folgenden Phasen unterschieden:

- Glutvorbereitung (Entzünden des Brennstoffs und Einbrennphase),
- Grillvorgang (Zubereitung von Speisen),
- Gluthaltephase (Standby-Betrieb zwischen den Phasen mit Speisenzubereitung).

Die angesetzten Emissionsquellstärken für die Modellierung sind in TABELLE 3 zusammengefasst und können von den Werten der Dauerbelastung (TABELLE 2) aufgrund der Vielzahl der Messwerte sowie des zeitlichen Ablaufs des Projekts abweichen.

Im Rahmen der Ausbreitungsrechnungen werden die Minderungsgrade für ein bereits mit Schadstoffen belastetes System berücksichtigt, um ein realitätsnahe Szenario zu berücksichtigen.

SCHAD-STOFF	ABGAS-ZUSTAND	PHASE	LAMMSPIESSEN HOLZKOHLEGRILL	EINHEIT
CO	Rohgas	Vorbereiten	702	g/h
		Grillen	495	
		Gluterhaltung	260	
	Reingas	Vorbereiten	528	
		Grillen	452	
		Gluterhaltung	260	
PM <sub>10</sub>	Rohgas	Vorbereiten	7	g/h
		Grillen	125	
		Gluterhaltung	7	
	Reingas	Vorbereiten	n.n.	
		Grillen	5	
		Gluterhaltung	n.n.	
PM <sub>2,5</sub>	Rohgas	Vorbereiten	7	g/h
		Grillen	121	
		Gluterhaltung	7	
	Reingas	Vorbereiten	–	
		Grillen	5	
		Gluterhaltung	–	
Geruch	Rohgas	Vorbereiten	23,7	MGE/h
		Grillen	156,0	
		Gluterhaltung	–	
	Reingas	Vorbereiten	0,1	
		Grillen	6,5	
		Gluterhaltung	–	
PAK	Rohgas	Vorbereiten	–	mg/h
		Grillen	346	
		Gluterhaltung	–	
	Reingas	Vorbereiten	–	
		Grillen	352	
		Gluterhaltung	–	
BTEX	Rohgas	Vorbereiten	–	mg/h
		Grillen	4.664	
		Gluterhaltung	–	
	Reingas	Vorbereiten	–	
		Grillen	8.086	
		Gluterhaltung	–	

– : Emissionswert nicht gemessen

n. n.: nicht nachweisbar – Konzentration unterhalb der Nachweisgrenze

TABELLE 3

Emissionsquellstärken (Emissionsfrachten) für Lammspieße in Abhängigkeit von der Betriebsphase (Werte nach der Dauerbelastung). Quelle: Aleysa, Leistner 2021.

Um der Zeitabhängigkeit der Emissionen im Tagesverlauf entsprechend einem typischen Betriebsszenario Rechnung zu tragen, werden für den Betrieb der Holzkohlegrills folgende Betriebsphasen in Ansatz gebracht:

- 10:00 – 11:00 Uhr Glutvorbereitung
- 11:00 – 14:00 Uhr Grillbetrieb
- 14:00 – 17:00 Uhr Gluthaltephase
- 17:00 – 01:00 Uhr Grillbetrieb

Die Emissionen werden an 365 Tagen des Jahres modelliert, unter der Annahme, dass alle Anlagen zur gleichen Zeit dieselbe Betriebssituation aufweisen.

## ERGEBNISSE DER IMMISSIONSMODELLIERUNG

Im Folgenden werden die Ergebnisse für die anlagenbedingte Zusatzbelastung der Ausbreitungsrechnungen differenziert nach Szenario aufgezeigt und diskutiert. Zusätzlich wurde für die Speise „Hackfleischspieße“ der Einfluss von Emissionsminderungstechnik (Reingas) untersucht. Es werden Ergebnisse von vier Szenarien vorgestellt: Im Szenario „worst case“ wurden die Emissionsfaktoren ohne Einsatz von Emissionsminderungstechnik (sogenannte Rohgasemissionen) ([TABELLE 1](#)) unter Annahme der in der Praxis vorgefundenen, teils ungünstigen, Ableitbedingungen verwendet.

Das Szenario „Reingas“ berücksichtigte den Einsatz von Emissionsminderungstechnik nach der Dauerbelastung ([TABELLE 2](#)). Das Szenario „VDI 3781-4“ verwendete ebenfalls Rohgasemissionen, setzte jedoch voraus, dass diese über verbesserte Schornsteine, die außerhalb der Rezirkulationszone enden, abgeleitet wurden, sodass der ungestörte Abtransport der Abgase mit der freien Luftströmung nach den Anforderungen der Richtlinie VDI 3781, Blatt 4, gewährleistet ist.

Im „best case“-Szenario wurden sowohl der Einsatz von Emissionsminderungstechnik als

auch optimierte Ableitbedingungen nach VDI 3781, Blatt 4, angenommen.

Aus den berechneten räumlichen Konzentrationsverteilungen wurde jeweils das Maximum in der bodennahen Schicht in 1,5 Meter Höhe  $c_{max}$  sowie der Durchschnittswert der Konzentration auf 1,5 Meter Höhe im gesamten Rechengebiet  $c_{avg}$  ermittelt. Im Untersuchungsgebiet Mannheim kam es an einzelnen Anlagenstandorten aufgrund der Kombination von niedriger Kaminhöhe mit Ableitung in einen Innenhofbereich zu lokal sehr hoher Belastung mit Luftschadstoffen. Die Werte wurden separat als Wert  $c_{max,I}$  ausgewiesen und von den ermittelten Konzentrationen in Bereichen außerhalb solcher ungünstiger Konstellationen  $c_{max,A}$  unterschieden.

## ERGEBNISSE DER IMMISSIONSMODELLIERUNG IN MANNHEIM

[TABELLE 4](#) zeigt die anlagenbedingte Zusatzbelastung mit Schadstoffen für  $PM_{2,5}$ ,  $PM_{10}$ , CO, PAK und BTEX sowie die Geruchsstundenhäufigkeit in einer Höhe von 1,5 Meter über Geländeoberkante. Im Folgenden werden ausgewählte Ergebnisse des worst-case-Szenarios grafisch dargestellt und diskutiert. Das Modell simulierte die Zusatzbelastungen von 12 Holzkohlegrills und 3 Pizzaöfen, deren Schornsteine in den Abbildungen durch blaue Punkte markiert sind.

Die Ergebnisse weisen für die prognostizierte Zusatzbelastung für  $PM_{2,5}$  Maximalwerte von über  $1.400 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in einem Innenhof aus ([TABELLE 4](#)). Außerhalb von Innenhofsituationen mit niedrigen Quellen liegt die Maximalkonzentration bei  $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Am Beispiel der  $PM_{2,5}$ -Immissionen in [ABBILDUNG 1](#) lässt sich nachvollziehen, wie sich die Summe aus der Vorbelastung und den von allen betrachteten Anlagen verursachten Zusatzbelastungen zu einer Gesamtbelastung addiert, der die Öffentlichkeit ausgesetzt ist. Die Zusatzbelastung, welche angesichts der anzunehmenden Vorbelastung von  $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$  geeignet ist, den Grenzwert von  $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  zu überschreiten, erstreckt sich bis zu einer Ent-

UNTERSUCHUNGSGEBIET MANNHEIM													
		ZUBEREITUNG VON HACKFLEISCHSPIESSEN											
		WORST-CASE			REINGAS			VDI 3781-4			BEST-CASE		
		$C_{MAX,I}$	$C_{MAX,A}$	$C_{AVG}$	$C_{MAX,I}$	$C_{MAX,A}$	$C_{AVG}$	$C_{MAX,I}$	$C_{MAX,A}$	$C_{AVG}$	$C_{MAX,I}$	$C_{MAX,A}$	$C_{AVG}$
PM <sub>2,5</sub>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,471	39,0	3,36	60,6	1,61	0,14	10,3	9,41	1,35	0,40	0,39	0,05
PM <sub>10</sub>	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	1,512	40,0	3,44	60,6	1,61	0,14	10,5	9,71	1,38	0,40	0,39	0,05
CO	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	7.208	194	17,2	6.545	170	14,8	64,9	49,6	7,04	54,8	42,4	6,04
BTEX	$\mu\text{g}/\text{m}^3$	58,6	1,60	0,14	102	2,70	0,24	0,40	0,38	0,05	0,69	0,65	0,09
PAK	$\text{ng}/\text{m}^3$	4.169	107	9,33	4.241	109	9,49	28,2	25,6	3,73	28,7	26,0	3,79
Geruch	%	59	49	9	58	43	6	42	35	8	34	28	5

TABELLE 4

Übersicht der Berechnungsergebnisse in der Berechnungshöhe 1,5 Meter für das Untersuchungsgebiet Mannheim (anlagenbedingte Zusatzbelastung).  
 Quelle: Aleysa, Leistner 2021.

fernung von circa 200 Metern vom Schwerpunkt der modellierten Quellen.

Im Weiteren ist die Zusatzbelastung von Gerüchen farbgrafisch für das Modellgebiet Mannheim Marktplatz dargestellt. Die (modellierte) Geruchsstundenhäufigkeit lag in einzelnen Innenhofsituationen bei Werten von bis zu 59 Prozent der Jahresstunden (ABBILDUNG 2). Außerhalb von luftaustauscharmen Lagen in Innenhöfen wurden noch 49 Prozent Geruchsstundenhäufigkeit erreicht. Da für die Anlagen im Rahmen der Ausbreitungsrechnungen ein Betrieb in 62,5 Prozent der Jahresstunden angenommen wurde, kann dieser Wert rechnerisch auch als Geruchsstundenhäufigkeit nicht überschritten werden.

Im vorliegenden Fall erstreckt sich der Bereich, in dem eine Überschreitung der relativen Geruchsstundenhäufigkeit von 10 Prozent zu erwarten ist, nach Norden über die nördliche Begrenzung des Rechengebietes hinaus und nach Süden bis zum circa 200 Meter südlich des Marktplatzes gelegenen Paradeplatz.

Es zeigt sich, dass die BTEX-Maximalwerte für dieses Szenario in einzelnen Innenhöfen

mit bis zu 59  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  prognostiziert wurden (TABELLE 4) und lokale Grenzwertüberschreitungen somit sicher angenommen werden können, auch unter der Annahme, dass es sich nur bei circa 40 Prozent der BTEX um Benzol handelt.

Außerhalb von Innenhofsituationen, die durch niedrige Quellen überdurchschnittlich belastet wurden, lag die Maximalkonzentration im Jahresmittel bei circa 1,6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , so dass hier keine Grenzwertüberschreitungen zu erwarten sind.

Für die modellierten PAK-Immissionen sind außerhalb von ungünstigen Innenhofsituationen Maximalwerte von bis zu 107  $\text{ng}/\text{m}^3$  zu erwarten, was den als Anhaltswert dienenden Zielwert für Benzo(a)pyren nach 39. BImSchV von 1  $\text{ng}/\text{m}^3$  um den Faktor 100 überschreitet. Allerdings handelt es sich hierbei zu 95 Prozent um Naphthalin, wie oben beschrieben. Eine Überschreitung des Benzo(a)pyrengrenzwerts scheint somit nicht gegeben.

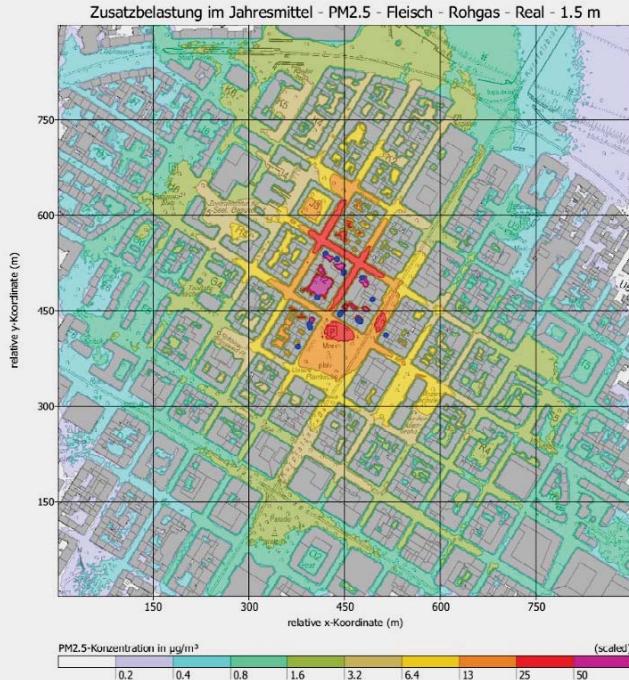


ABBILDUNG 1  
 Zusatzbelastung der PM<sub>2,5</sub>-Immissionskonzentration im  
 Umfeld des Marktplatzes Mannheim. Szenario worst-case.  
 Quelle: Aleysa, Leistner 2021.

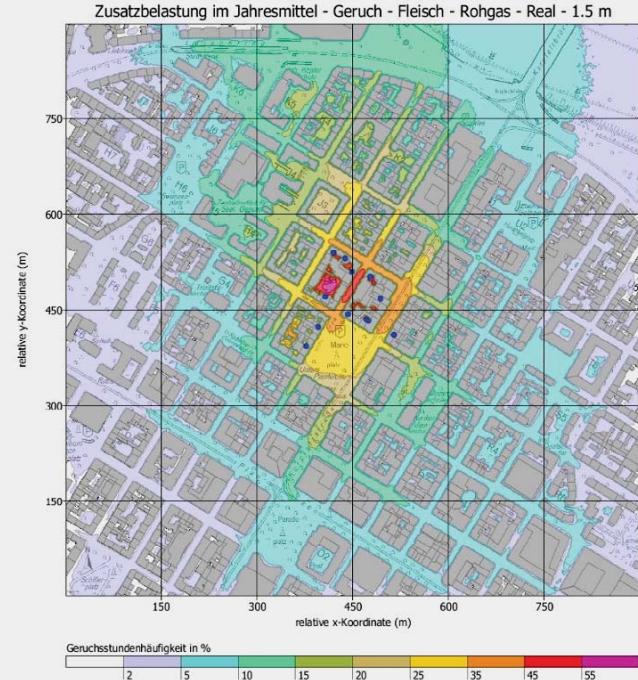


ABBILDUNG 2  
 Zusatzbelastung der relativen Geruchsstundenhäufigkeit im  
 Umfeld des Marktplatzes Mannheim. Szenario worst-case.  
 Quelle: Aleysa, Leistner 2021.

## FAZIT

Holzkohlegrills haben ein sehr hohes Emissionspotenzial für Staub, organische Kohlenwasserstoffe und Gerüche. Diese ergeben sich zum einen durch die ungeregelte Luftzufuhr, die unterschiedliche Beschickung des Grills mit Kohle und Grillgut und vor allem durch die unkontrollierte beziehungsweise unbeabsichtigte Verbrennung von herabtropfendem Fett. Viele Anlagen verfügen nur über ungenügende Ableitbedingungen und werden häufig ohne Emissionsminderungstechniken betrieben.

Hohe Emissionsfrachten ergeben sich aus den vergleichsweise hohen Emissionsfaktoren, den hohen Volumenströmen (bis zu 40-fach höher als bei Einzelraumfeuerungsanlagen) und der langen Betriebsdauer (ca.

10 Stunden pro Tag). Daraus können sich für eine typische Grillanlage, bei einer angenommenen Betriebsdauer von 10 Stunden täglich und sechs Tagen pro Woche in Summe Frachten von 19 bis 650 kg Feinstaub (PM<sub>10</sub>), 15 kg BTEX (davon ca. 9 kg Benzol) und 475 bis 1.163 kg an Kohlenwasserstoffen im Jahr ergeben. Damit können Holzkohlegrills wesentlich zur Immissionsbelastung in der Nachbarschaft, insbesondere einer erheblichen Belästigung durch Gerüche und Feinstaub beitragen.

Die Geruchsemissionen aus Holzkohlegrills stellen aus lufthygienischer Sicht das größte Problem solcher Holzkohlegrills dar. Hier kann es schon durch einzelne Holzkohlegrills zur Überschreitung der Geruchsimmissionswerte kommen. Bei einer Häufung mehrerer Holzkohlegrills im innerstädti-

schnen Bereich kann es neben einer weiträumigen Überschreitung der Geruchsimmissionswerte auch zu einer Überschreitung der Immissionsgrenzwerte für Feinstaub ( $PM_{10}$  und  $PM_{2,5}$ ) und in ungünstigen luftaustauscharmen Innenhöfen auch von Benzol kommen.

Bei der Neuerrichtung von Holzkohlegrills sollte geprüft werden, ob die Errichtung dieser Anlagen ohne Beeinträchtigung des näheren Umfelds möglich ist. Hierbei sollte der Einsatz von Brennstoffen wie Gas und Strom zur Speisenzubereitung geprüft und als Alternative betrachtet werden. Sollten Holzkohlegrills errichtet werden, so ist der Einsatz einer dauerhaft funktionsfähigen und wirksamen Abgasreinigungsanlage notwendig. Hier ist es wichtig, die Wartung (z. B. Austausch des Aktivkohlefilters) in den dafür vorgesehenen Intervallen durchzuführen. Darüber hinaus sollten die Schornsteine von Holzkohlegrills die Ableitbedingungen nach VDI 3781, Blatt 4, einhalten. Nur so lässt sich eine wirksame Verdünnung der Abgase und dadurch eine zusätzliche Verminderung der Immissionsbelastung in der direkten Nachbarschaft erreichen.

Bei bestehenden Holzkohlegrills sollte der Einsatz einer nachgeschalteten, dauerhaft funktionsfähigen und wirksamen Abgasreinigungsanlagentechnik geprüft werden. Darüber hinaus sollte die Möglichkeit der Verbesserung der Ableitbedingungen nach VDI 3781, Blatt 4, in Betracht gezogen werden. Alternativ sollte der Einsatz anderer Brennstoffe wie Gas oder Strom zur Speisenzubereitung in Erwägung gezogen werden. ●

## KONTAKT

Christian Liesegang  
Umweltbundesamt  
Fachgebiet III 2.1 „Übergreifende Angelegenheiten, Chemische Industrie, Feuerungsanlagen“  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau  
E-Mail: christian.liesegang[at]uba.de

[UBA]

## LITERATUR

Aleysa M, Leistner P (2021): Emissionssituation und Emissionsminderung von Holzkohlegrills und anderen Feuerungsanlagen die dazu bestimmt sind Speisen mit heißen Abgasen zuzubereiten. FKZ: 3718 533024. Im Auftrag des Umweltbundesamtes. Unveröffentlichter Zwischenbericht.