

Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

Emissionen aus Holzkohlegrills und ihr Einfluss auf die Luftqualität

Christian Liesegang
Umweltbundesamt

Fachgebiet III 2.1

Übergreifende Angelegenheiten, Chemische Industrie, Feuerungsanlagen

Gliederung

- Holzkohlegrills
 - Einführung
 - gesundheitliche Relevanz von Feinstaub und PAK
 - Gesetzliche Grundlagen
 - Anlagenbestand und Beschwerdesituation
 - Emissionen
 - Immissionsmodellierung
 - Immissionsmessung
 - Fazit



Quelle alle Bilder: Aleya 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

Gesundheitswirkung von Feinstaub

Gesundheitliche Wirkung u.a. abhängig von:

- Partikelgröße, Partikelform, chemischer Zusammensetzung

Gesundheitliche Wirkung

- Kein Schwellenwert bekannt, unter dem es nicht zu negativen gesundheitlichen Auswirkungen kommen kann
- Schleimhautreizungen
- Entzündungen im Rachen, der Luftröhre und den Bronchien
- Zunahme von asthmatischen Anfällen
- erhöhte Thromboseneigung
- Veränderungen der Regulierungsfunktion des vegetativen Nervensystems
- Krebserregend
- Steht im Verdacht, Diabetes mellitus Typ 2 zu fördern

Allgemeines zu Feinstaub

Feinstaub (PM10) - Durchmesser $\leq 10 \mu\text{m}$

Eindringtiefe bis in die Nasenhöhle und in die tieferen Bereiche der Bronchien

Feinstaub (PM2.5) - Durchmesser $\leq 2,5 \mu\text{m}$

Eindringtiefe bis zu den Bronchiolen und Lungenbläschen

Ultrafeinstaub (PM0.1) - Durchmesser $\leq 0,1 \mu\text{m}$ (100nm)

Eindringtiefe bis in das Lungengewebe und den Blutkreislauf.

➤ PM0.1, kaum Masse, dafür eine sehr große Oberfläche

Gesundheitswirkung von PAK

PAK: Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe

Allgemeines:

- Gruppe aus mehreren Hundert organischen Einzelsubstanzen
- gemeinsames Merkmal: mindestens zwei verbundene aromatische Ringsysteme
- entstehen bei unvollständiger Verbrennung von organischem Material (Kohle, Erdöl, Holz, Tabak, Grillgut...)
- ubiquitär in Umwelt verbreitet, z.T. persistent und bioakkumulierend
- liegen fast immer als Mischungen vor
- besonders viele Informationen zu Benz(a)pyren (BaP) → Indikatorsubstanz für PAK

Gesundheitliche Wirkung:

- Aufnahme durch Nahrung, Trinkwasser, über die Luft bei der Atmung und über die Haut
- z.T. krebserregend (karzinogenes Potential der einzelnen PAK stark abhängig von chemischer Struktur)
- indirekte Karzinogene → krebserregendes Potential erst nach metabolischer Umwandlung
- *IARC (International Agency for Research on Cancer), 2010:* 16 PAK erwiesenermaßen, wahrscheinlich oder möglicherweise krebserregend beim Menschen
- darüber hinaus z.T. erbgutverändernd und/oder reproduktionstoxisch

Naphthalin

- gehört zu leichten PAK, Summenformel: $C_{10}H_8$
- typischer Geruch nach Mottenkugeln, bzw. Teer
- als Verbrennungsprodukt organischer Materialien
in geringer Konzentration nahezu ubiquitär in Umwelt verbreitet

Gesundheitliche Wirkung:

- IARC: Gruppe 2B (wahrscheinlich krebserregend beim Menschen)
- Berichte von Arbeitern über Augen- und Hautreizungen und –entzündungen nach dermalen Aufnahme
- keine belastbaren Arbeitsplatzstudien oder bevölkerungsbezogene Untersuchungen zur Wirkung von eingeatmetem Naphthalin beim Menschen verfügbar
 - zur Bewertung der inhalativen Exposition Nutzung von Studien an Ratten
 - an Ratten zytotoxisch entzündliche Wirkung
- keine Hinweise auf primär genotoxische Wirkung beim Menschen
- nicht mutagen in Standardtests
- keine Hinweise auf reproduktionstoxische Wirkungen

Quellen: Bundesgesundheitsbl 2013 · 56:1448–1459, DOI 10.1007/s00103-013-1836-9, Online publiziert: 25. September 2013; BAUA, Begründung zu Naphthalin in TRGS 900, Ausgabe: März 2018.

Benzol

Benzol ist eine organische, chemische Verbindung mit einem aromatischen Geruch.

Emittenten:

- Tankstellen
- Auspuffabgase Fahrzeuge

Gesundheitliche Wirkung:

- Bei langfristiger Aufnahme führt Benzol zu Schädigungen der inneren Organe und des Knochenmarkes.
- Benzol ist Kanzerogen

Grenzwert:

- 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel

Gesetzliche Grundlagen bei Kleinf Feuerungsanlagen

1. Bundesimmissionsschutzverordnung (Kleinf Feuerungsanlagen bis 1000 kW)



Feuerungsanlagen die dazu dienen [...] Speisen zuzubereiten



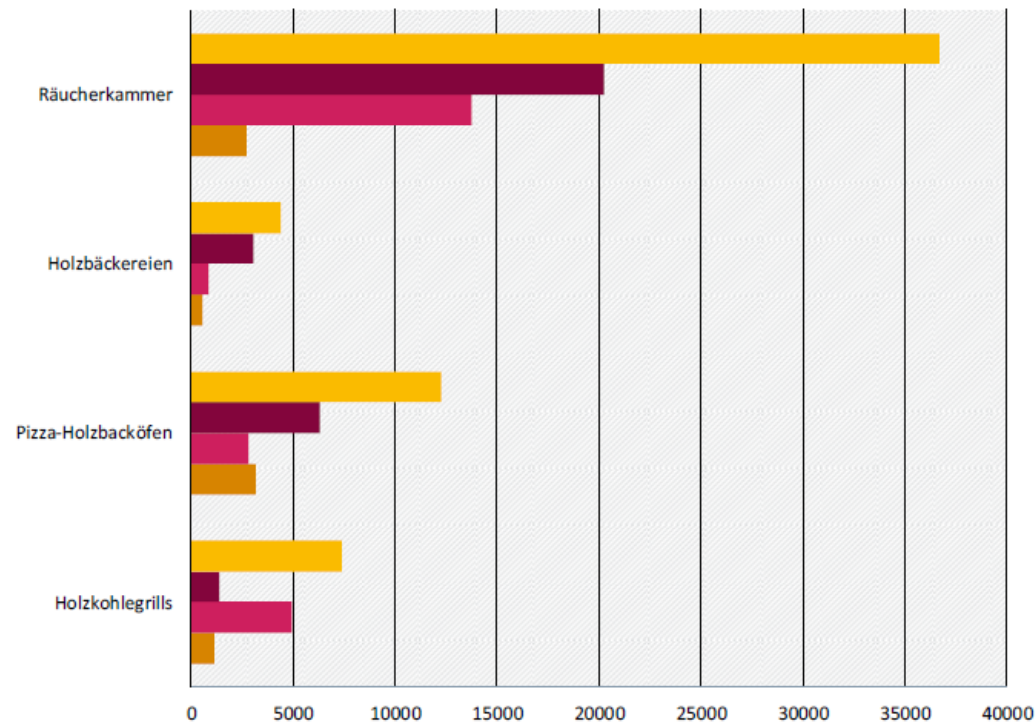
Weitgehende Ausnahmen für Speisenzubereitungsanlagen
(z.B. Holzkohlegrills, Räucheranlagen, Holzbäckerei und Holzofen - Pizzerien)



- Weitgehend ausgenommen von der
- Überwachung, sowie den
 - Ableitbedingungen (Schornsteinhöhen)
 - Emissionsbegrenzungen

Anlagenbestand Speisezubereitungsanlagen

Abbildung 36: Hochrechnung für die Verteilung von Anlagen zur Zubereitung von Speisen in städtischen und ländlichen Gebieten in Deutschland.



	Holzkohlegrills	Pizza-Holzbacköfen	Holzbäckereien	Räucherammer
Summe	7.397	12.246	4.376	36.668
Land	1.380	6.310	3.023	20.211
Kleinstadt	4.917	2.779	836	13.741
City und Stadtrand	1.100	3.157	517	2.717

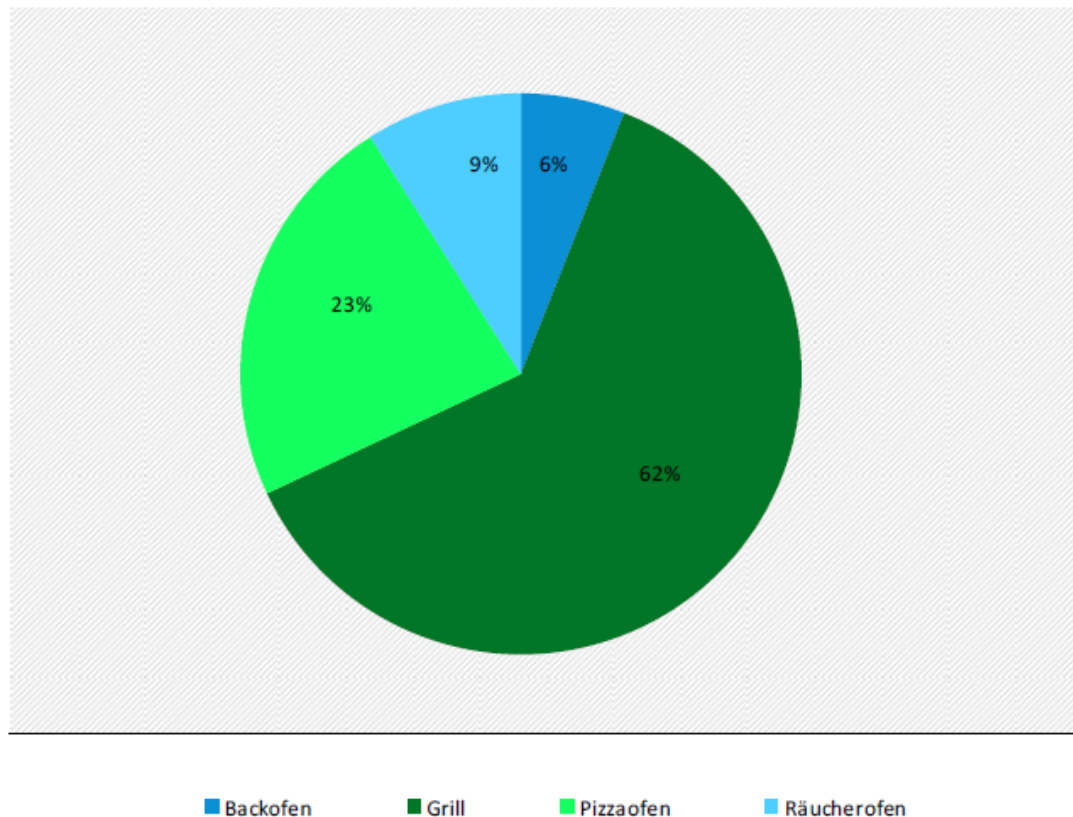
Quelle: Fraunhofer Institut für Bauphysik

- 7.400 Holzkohlegrills von ca. 60.000 Speisezubereitungsanlagen

Quelle: Aleya M, Leistner P (2021): Emissionssituation und Emissionsminderung von Holzkohlegrills und anderen Feuerungsanlagen die dazu bestimmt sind Speisen mit heißen Abgasen zuzubereiten. Unveröffentlichter Zwischenbericht

Beschwerdesituation

Abbildung 37: Prozentuale Verteilung der Beschwerden auf die jeweiligen Speisenzubereitungsanlagen.



*Anzahl der Nennungen: 125

Quelle: Ergebnisse einer Onlinebefragung

- Ein Großteil der Beschwerden (62 %) lässt sich auf Grillanlagen zurückführen, obwohl diese nur einen kleinen Teil der Speisenzubereitungsanlagen ausmachen (12 %).

Quelle: Aleya M, Leistner P (2021): Emissionssituation und Emissionsminderung von Holzkohlegrills und anderen Feuerungsanlagen die dazu bestimmt sind Speisen mit heißen Abgasen zuzubereiten. Unveröffentlichter Zwischenbericht

Ablauf der Grillversuche

- Grillen ohne Grillgut (verschiedene Grillkohlen (ca. 15 bis 25 kg) und Holz)
- Grillen von Grillgut (Hackfleisch, Fisch, Fleisch, Gemüse)
- Pro Grillvorgang wurden etwa 2,5 bis 3 kg Fleisch gegrillt, was etwa 10 bis 15 Adana-Spießen entspricht.
- Grillen von 171 kg Fett (Belastung für die Abgasminderungstechnik soll ungefähr Emissionen nach dem simulierten Grillen von 900 kg Grillgut darstellen)
- 1 kg Aktivkohle pro 10 kg Grillgut (Lammspieße mit einem Fettgehalt zwischen 38 % und 45 %)



Quelle: Aleya M, Leistner P (2021):
Emissionssituation und Emissionsminderung von
Holzkohlegrills und anderen Feuerungsanlagen die
dazu bestimmt sind Speisen mit heißen Abgasen
zubereiten. Unveröffentlichter Zwischenbericht

Grillversuchsanlage am Fraunhofer IBP



Quelle: Aleya M, Leistner P (2021):
Emissionssituation und Emissionsminderung von
Holzkohlegrills und anderen Feuerungsanlagen die
dazu bestimmt sind Speisen mit heißen Abgasen
zubereiten. Unveröffentlichter Zwischenbericht

Aufbau der Grillversuchsanlage

Dunstabzugshaube: Abscheidung von Stäuben und Aerosolen.

Ozongenerator: Beaufschlagung des Abgases mit Ozon. Oxidierung unverbrannter Komponenten;

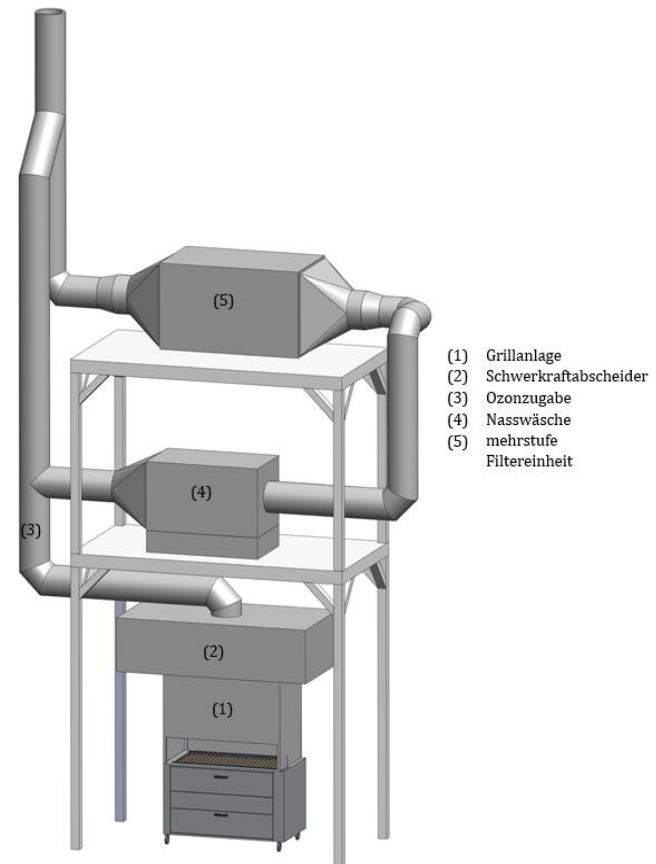
Rauchgaswäscher: Abscheidung von Fettpartikeln und der Vorkonditionierung des Abgases

Drahtgestrickfilter: Abscheidung von Fetten und Wassertröpfchen.

Schwammfilter: Abscheidung von Aerosolen, Fetten und Wassertröpfchen mit einem Durchmesser von mehr als $2,2 \mu\text{m}$.

Elektroabscheider: Abscheidung von Stäuben.

Aktivkohlefilter: Abscheidung von organischen Stoffen und Gerüchen.



Quelle: Aleya M, Leistner P (2021): Emissionssituation und Emissionsminderung von Holzkohlegrills und anderen Feuerungsanlagen die dazu bestimmt sind Speisen mit heißen Abgasen zuzubereiten. Unveröffentlichter Zwischenbericht

Grillgut für Grillversuche



Quelle: Aleya M, Leistner P (2021):
Emissionssituation und Emissionsminderung von
Holzkohlegrills und anderen Feuerungsanlagen die
dazu bestimmt sind Speisen mit heißen Abgasen
zubereiten. Unveröffentlichter Zwischenbericht

Ergebnisse der Emissionsmessung (Rohgasemissionen)

Emissionsfaktor (kg/TJ)	Lammspieße	Schweinesteak	Hähnchen schenkel	Hähnchen mischung*	Fisch	Holzkohe (Glutbett- vorbereitung)
Kohlenstoffmonoxid (CO)	3.038	4.670	4.640	2.757	3.706	1.867
Kohlenwasserstoffe (CnHm) (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 Naphtalin	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 ³]	36.000 – 120.000					

- Hohe Emissionen an Gerüchen, Feinstaub, PAK (Naphtalin) und Benzol
- PAK Zusammensetzung bei Holzkohlegrills zu 95 % aus Naphtalin
- BTEX Zusammensetzung aus Holzkohlegrills zu 40 - 50 % aus Benzol

Ergebnisse der Emissionsminderung der Abgasreinigungsanlage (Reingas)

Stoff/ Stoffgruppe	Einheit	Grillen von Hackfleisch (vor Belastung)		Grillen von Hackfleisch (nach Belastung)	
		Rohgas	Reingas	Rohgas	Reingas
Sauerstoffgehalt O ₂	[Vol.-%]	20 < O ₂ < 21	20 < O ₂ < 21	20 < O ₂ < 21	20 < O ₂ < 21
Kohlenstoffmonoxid CO (FTIR)	[mg/Nm ³]	113 – 203	217 – 292	38 – 87	107 – 139
	[g/h]	90 – 162	254 – 342	50 – 115	139 – 181
Kohlenwasserstoffe C _n H _m (FTIR)	[mg/Nm ³]	227 – 510	44 – 114	166 – 278	115 – 173
	[g/h]	182 – 408	51 – 133	219 – 367	150 – 225
OGC (FID)	[mg/Nm ³]	47 – 134	12 – 55	21 – 68	10 – 71
	[g/h]	38 – 107	14 – 64	28 – 90	13 – 92
PAK	[µg/Nm ³]	280	nicht nachweisbar	433	271
	[g/h]	0,224	nicht nachweisbar	0,346	0,352
BTEX	[µg/Nm ³]	5.830	2.310	3.420	6.220
	[g/h]	4,7	3,0	2,7	8,1
Gerüche (Olfaktometer)	[GE/m ³]	36.000 – 120.000	300-500	36.000 – 120.000	4.200 - 5.000
Feinstaub PM ₁₀ , PM _{2,5} (gravimetrisch)*	[mg/Nm ³]	90 – 171	< 10	90 – 171	< 5
	[g/h]	108 – 205	< 12	108 – 205	< 6
Ultrafeinstaub (5 nm bis 350 nm, gezählt, SMPS)	[Partikel/ Ncm ³]	6,6x10 ⁶	2,7x10 ⁴	6,6x10 ⁶	2,7x10 ⁴

- Reduzierung von Gerüchen Feinstaub und Kohlenwasserstoffen durch Abgasreinigungsanlage
- Keine bzw. kaum Reduzierung von PAK (vor allem Naphthalin) und BTEX (vor allen Benzol)

Vor Belastung: Emissionen im Neuzustand der Anlage

Nach Belastung: Emissionen nach dem simulierten Grillen von 900 kg Grillgut („Grillen“ von 171 kg Fett)

Rohas: Emissionen der Anlage ohne Abgasreinigung

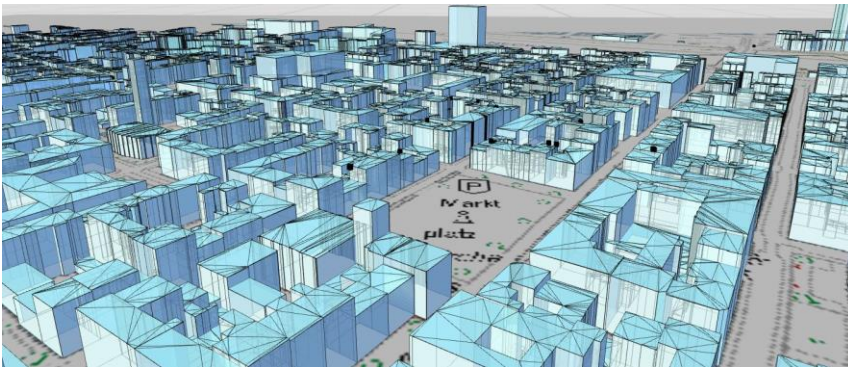
Reingas: Emissionen der Anlage nach Abgasreinigung

Immissionsmodellierung – Untersuchungsgebiet Mannheim

Das Modellierungsgebiet Mannheim

Marktplatz umfasst:

- 12 Holzkohlegrills
- 3 Pizzaöfen

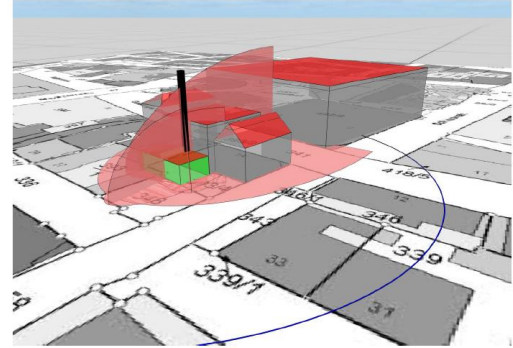


Quelle: Aleya M, Leistner P (2021):
Emissionssituation und Emissionsminderung von
Holzkohlegrills und anderen Feuerungsanlagen die
dazu bestimmt sind Speisen mit heißen Abgasen
zubereiten. Unveröffentlichter Zwischenbericht

Immissionsmodellierung

Szenarien

1. worst case: Rohgas mit realen Ableitbedingungen,
2. Reingas mit Abgasreinigungsanlage nach Dauerbelastung,
3. Ableitbedingungen nach VDI 3781, Blatt 4 (ungestörter Abtransport mit freier Luftströmung),
4. best case: Kombination der Szenarien 2. und 3.



Tagesbetrieb

- Glutvorbereitung (Entzünden des Brennstoffs und Einbrennphase); 10 bis 11 Uhr
 - Grillvorgang (Zubereitung von Speisen), 11 bis 14 Uhr und 17 bis 1 Uhr
 - Gluthaltestufe (Standby-Betrieb zwischen den Phasen mit Speisenzubereitung). 14 bis 17 Uhr
- Tagesbetrieb an 365 Tagen im Jahr angenommen

Schadstoffe

- PM_{10} , $PM_{2,5}$, CO, PAK (vor allem Naphthalin), BTEX (vor allem Benzol)

Quelle: Aleya M, Leistner P (2021): Emissionssituation und Emissionsminderung von Holzkohlegrills und anderen Feuerungsanlagen die dazu bestimmt sind Speisen mit heißen Abgasen zuzubereiten. Unveröffentlichter Zwischenbericht

Ergebnisse der Immissionsmodellierung - Mannheim

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 _{2,5}	µg/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 ₁₀	µg/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	µg/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	µg/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	ng/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

- Sehr hohe Feinstaub-, CO-, BTEX-, PAK- und Geruchskonzentrationen in ungünstigen Innenhofsituationen vorhanden
- Lokale Grenzwertüberschreitung von Feinstaub (PM_{2,5}/PM₁₀) und Gerüchen möglich
- Durch den flächendeckenden Einsatz von Abgasreinigungsanlagen sowie eine Erhöhung der Schornsteine (ungestörte Ableitung in die Abluft) besteht „nur noch“ das Risiko lokaler Überschreitung der Geruchsimmissionsgrenzwerte

$C_{max,i}$... Maximum der berechneten zusätzlichen Konzentration in Innenhofsituation (besonders ungünstig und Luftaustauscharm)

$C_{max,a}$... Maximum der berechneten zusätzlichen Konzentration in der bodennahen Schicht in 1,5 m Höhe

C_{avg} ... Durchschnittswert der berechneten zusätzlichen Konzentration auf 1,5 m Höhe im gesamten Rechengebiet

Ergebnis der Immissionsmodellierung – Mannheim (PM_{2,5})

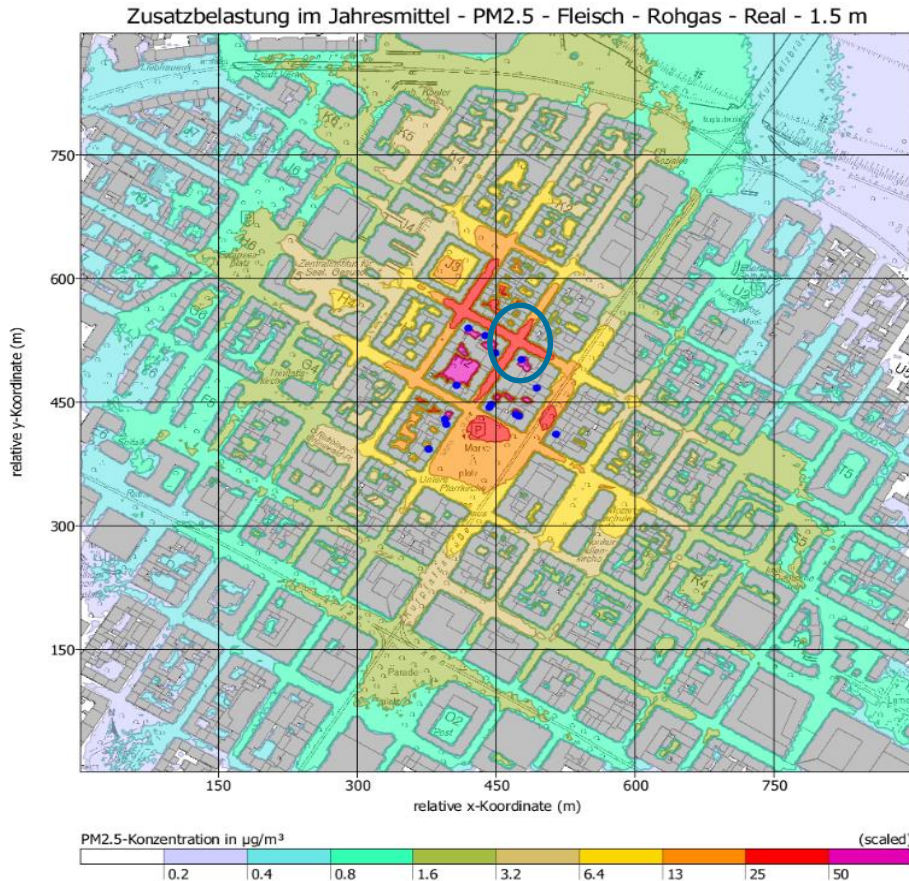
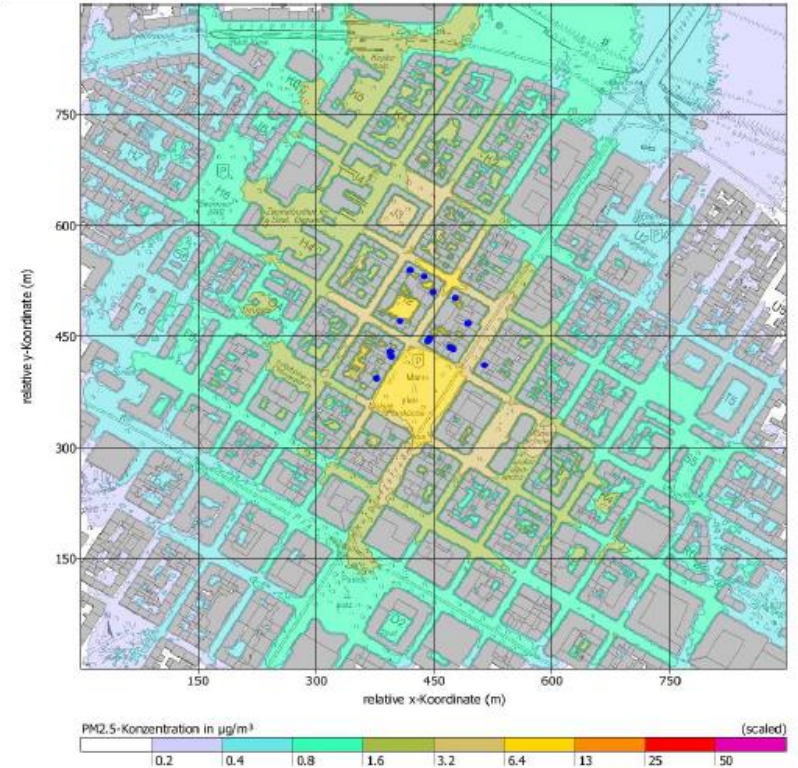


Abbildung 140: Zusatzbelastung der PM_{2,5}-Immissionskonzentration bei Berücksichtigung optimierter Ableitbedingungen nach VDI 3781, Blatt 4 im Umfeld des Marktplatzes Mannheim auf einer Höhe von 1,5 m über Geländeoberkante.



→ Lokale Überschreitung der PM_{2,5}- Feinstaubgrenzwerte von 25 µg/m³ durch hohe Zusatzbelastung sehr wahrscheinlich

Blaue Punkte stellen die Holzkohlegills dar; blauer Kreis die Station des Messcontainers

Ergebnis der Immissionsmodellierung – Mannheim (Geruch)

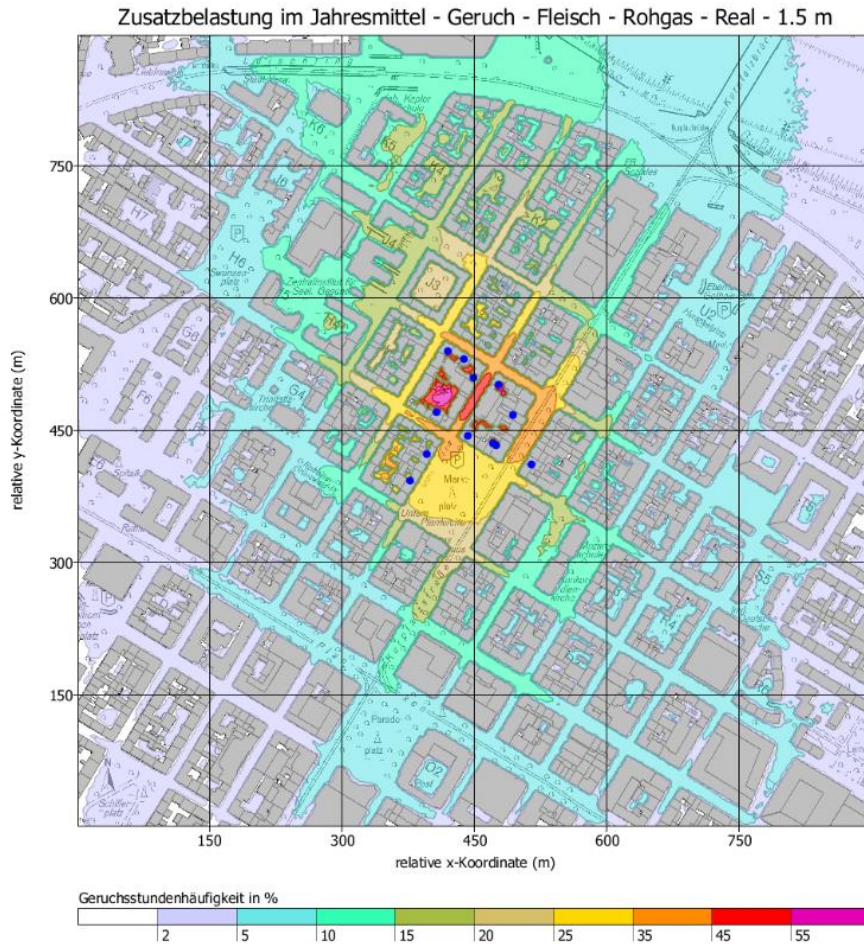
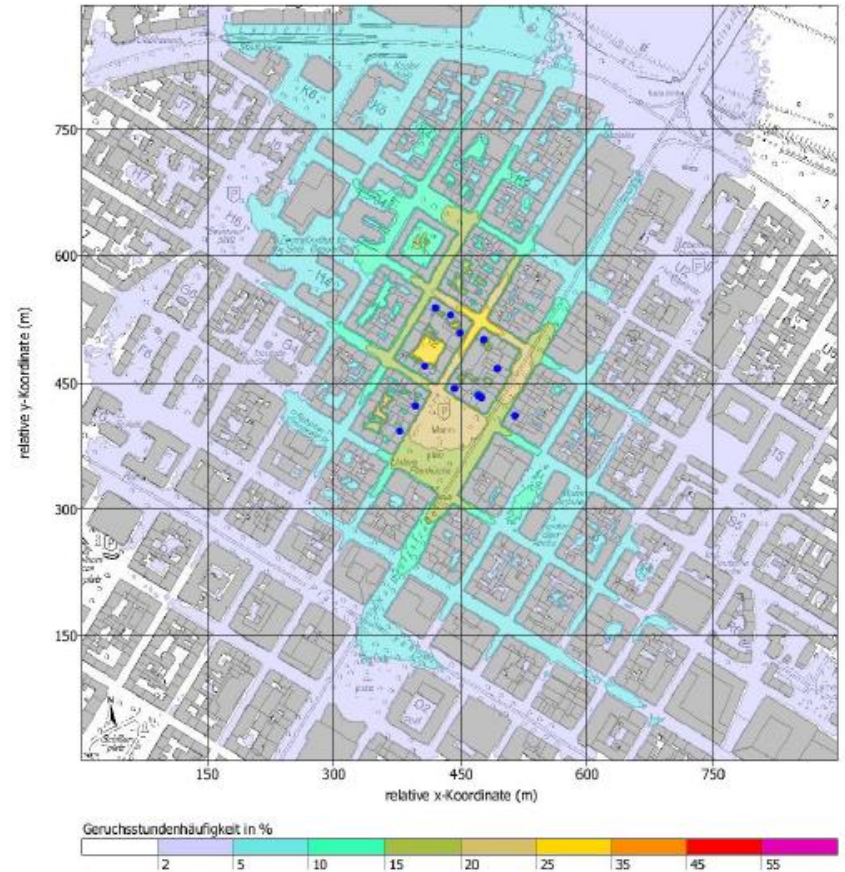


Abbildung 142: Zusatzbelastung der relativen Geruchsstundenhäufigkeit für das best-case-Szenario im Umfeld des Markplatzes Mannheim auf einer Höhe von 1,5 m über Geländeoberkante.



→ Weiträumige Überschreitung der Geruchsgrenzwerte von 10 % durch hohe Zusatzbelastung sehr wahrscheinlich

Ergebnis der Immissionsmodellierung – Mannheim (BTEX)

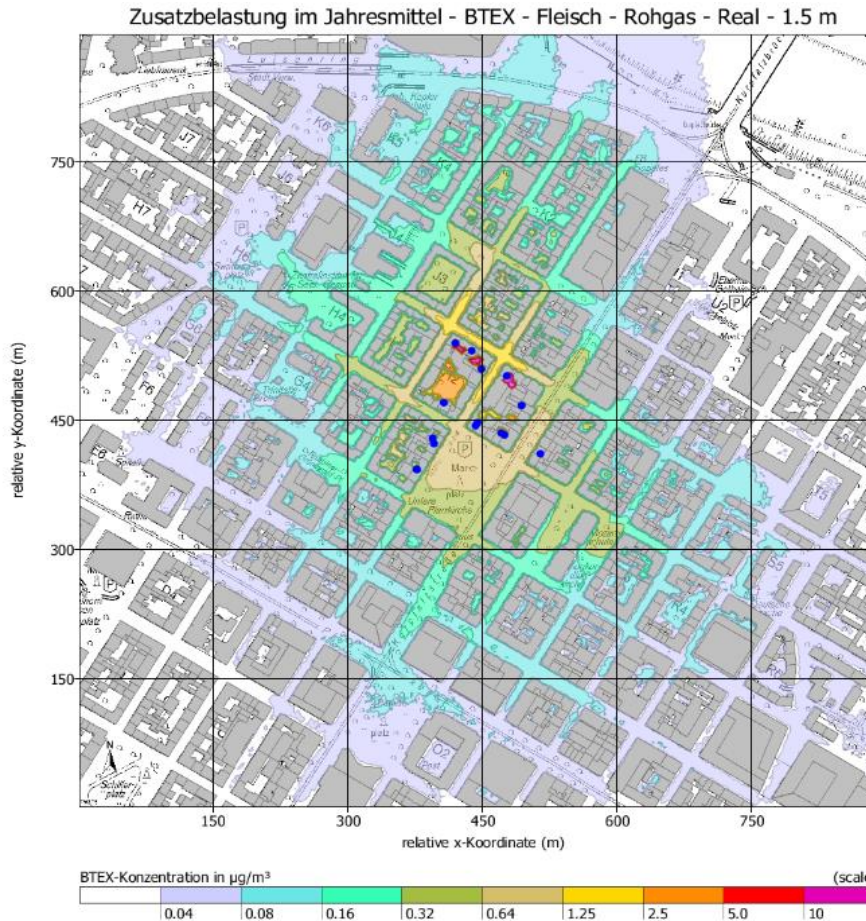
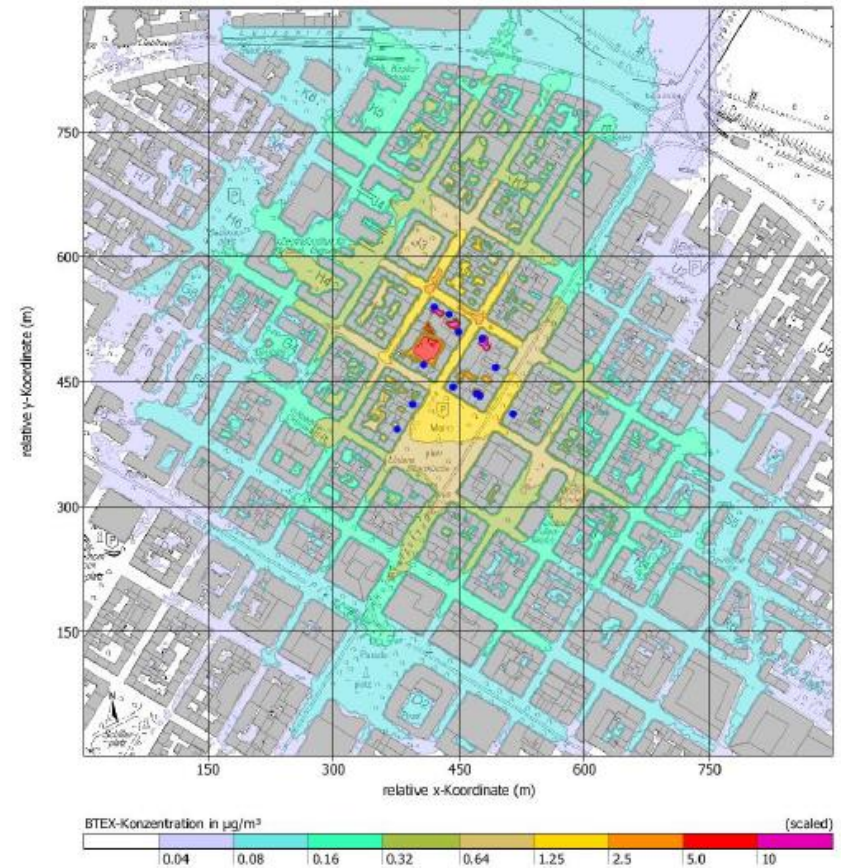


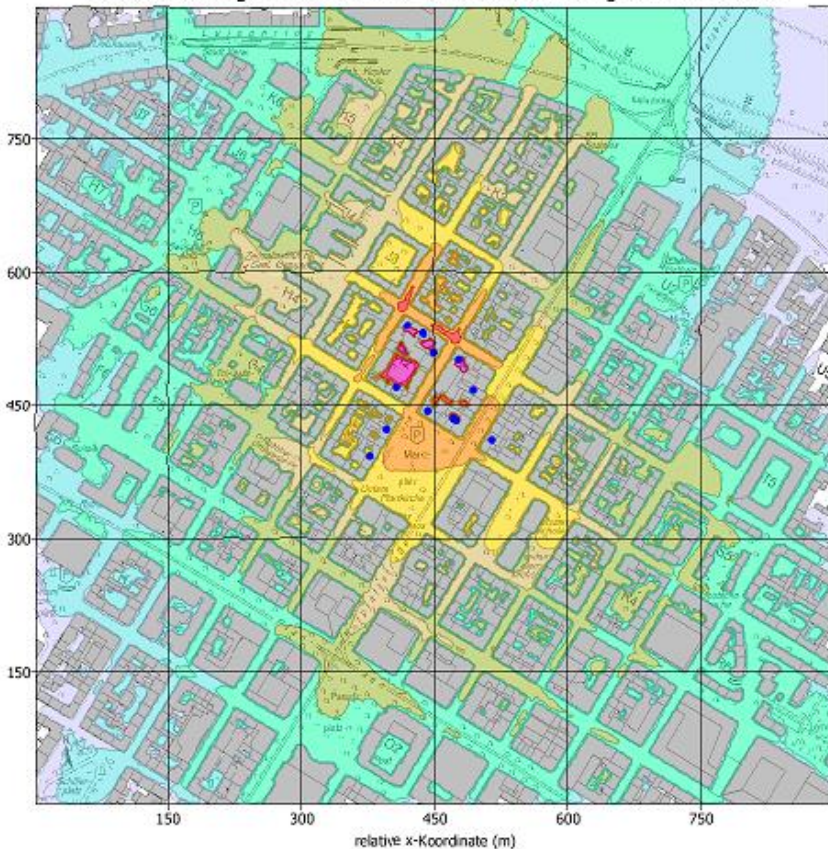
Abbildung 139: Zusatzbelastung der BTEX-Immissionskonzentration bei Berücksichtigung von quelseitiger Emissionsminderungstechnik im Umfeld des Markplatzes Mannheim auf einer Höhe von 1,5 m über Geländeoberkante.



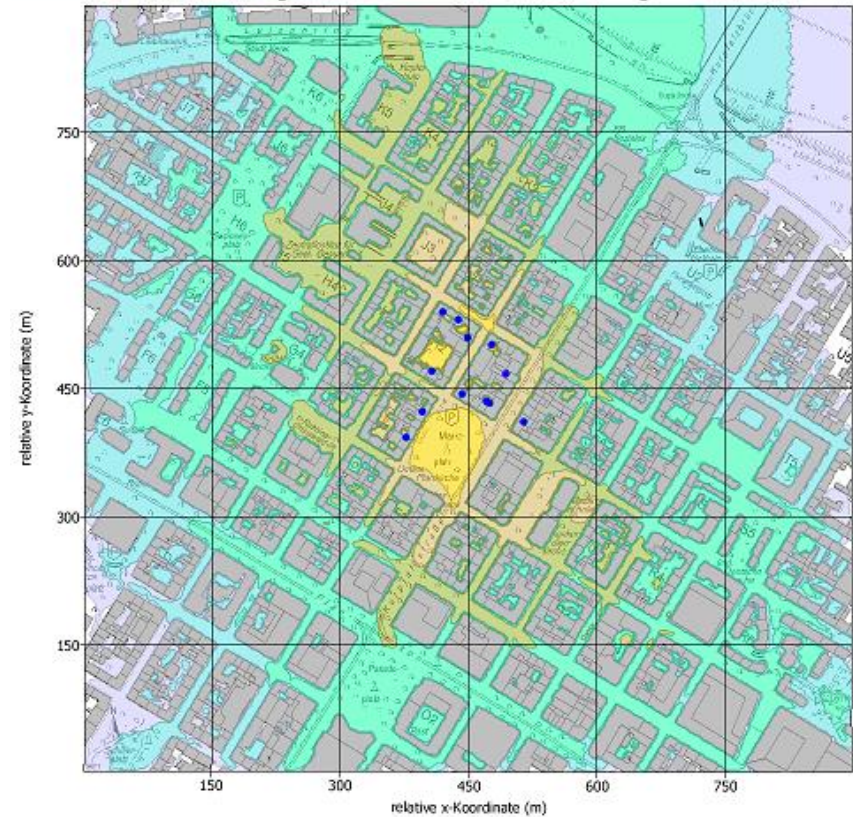
→ lokale Überschreitung des Benzolgrenzwertes von $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ durch hohe Zusatzbelastung sehr wahrscheinlich

Ergebnis der Immissionsmodellierung – Mannheim (PAK)

Zusatzbelastung im Jahresmittel - PAK - Fleisch - Rohgas - Real - 1.5 m



Zusatzbelastung im Jahresmittel - PAK - Fleisch - Reingas - VDI - 1.5 m



→ PAK Konzentration im Jahresmittel bei 107 ng/m³. B(a)P Grenzwert nach 39. BImSchV von 1 ng/m³ festgelegt ist, wird nicht überschritten, da B(a)P nicht nachweisbar war.

Fazit

- hohes Emissionspotenzial für Staub, organische Kohlenwasserstoffe (PAK und BTEX) und Gerüche.
- häufig ungenügende Ableitbedingungen und keine Emissionsminderungstechnik
- hohe Emissionsfrachten ergeben sich aus hohen Emissionsfaktoren, hohen Volumenströmen (bis zu 40-fach höher als bei Einzelraumfeuerungsanlagen) und der langen Betriebsdauer (ca. 10 Stunden pro Tag).
- Emissionen von 19 bis 650 kg Feinstaub (PM_{10}), 15 kg BTEX (davon ca. 9 kg Benzol) und 475 bis 1.163 kg an Kohlenwasserstoffen pro Jahr und Anlage.
- 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 auffälligste Problem dar. Bei einer Häufung mehrerer Holzkohlegrills im innerstädtischen Bereich kommt 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.

Ausblick

Neuerrichtung

- Bei der Neuerrichtung von Holzkohlegrills sollte geprüft werden, ob die Errichtung dieser Anlagen ohne Beeinträchtigung des näheren Umfelds möglich ist.
- Einsatz von Gas und Strom zur Speisenzubereitung prüfen und in Betracht ziehen.
- Bei der Errichtung von Holzkohlegrills ist der Einsatz einer dauerhaft funktionsfähigen und wirksamen Abgasreinigungsanlage notwendig.
- Schornsteine von Holzkohlegrills sollten 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.

Bestandsanlagen

- 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.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Christian Liesegang
christian.Liesegang@uba.de

www.uba.de