



Juni 2015

Faktenblatt Emissionsfaktoren Feuerungen

1 Mittlere Emissionsfaktoren von Feuerungen (Erdgas, Heizöl Extraleicht und Holz)

1.1 Erdgas- und Heizölfeuerungen

Basierend auf einer breiten Datenbasis von über 200'000 Messungen der behördlichen Feuerungskontrolle in sechs Kantonen (BE, BS, LU, SZ, UR und ZG) und in der Stadt Zürich der Jahre 2010 und 2011 wurden für die Schweiz mittlere Emissionsfaktoren für Stickoxide (NO_x , angegeben als NO_2 -Äquivalente) und Kohlenmonoxid (CO) von mit Erdgas und Heizöl Extraleicht (HEL) betriebenen Feuerungen bestimmt (Tabelle 1). Die Berechnung der Emissionsfaktoren in $[\text{mg}/\text{MJ}]$ erfolgte aus den im Abgas gemessenen Schadstoffkonzentrationen in $[\text{mg}/\text{m}^3 \text{ Abgasvolumen}]$ unter Berücksichtigung des unteren Heizwerts H_u und des sog. trockenen Abgasvolumens V_{atr} . Gemäss Luftreinhalte-Verordnung¹ (LRV) wird für Erdgas und HEL ein Bezugssauerstoffgehalt von 3%vol O_2 verwendet. Der Emissionsfaktor für Schwefeldioxid (SO_2) von HEL beruht auf dessen mittleren Schwefelgehalt im Jahr 2013 bestimmt durch Messungen der Oberzolldirektion (OZD). Die Werte der Emissionsfaktoren von SO_2 für Erdgas sowie von Methan (CH_4), flüchtigen organischen Verbindungen (non-methane volatile organic compounds NMVOC) und Staub stammen aus dem Handbuch „Emissionsfaktoren für stationäre Quellen“ (BUWAL, 2000)². Die tabellierten Emissionsfaktoren für Kohlendioxid (CO_2) und Heizwerte entsprechen den Werten des Jahres 2013 des Schweizerischen Treibhausgasinventars (siehe Faktenblatt „ CO_2 -Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz“³) und der Schweizerischen Gesamtenergiestatistik 2013⁴. Zu beachten ist, dass der CO_2 -Emissionsfaktor von Erdgas jährlich aus Messdaten zur Gaszusammensetzung des Verbands der Schweizerischen Gasindustrie (VSG) und des Schweizerischen Vereins des Gas- und Wasserfaches (SVGW) berechnet wird.

1.2 Holzfeuerungen

Im Jahr 2014 wurden die Emissionsfaktoren der Holzfeuerungen basierend auf einer umfangreichen Literaturrecherche aktualisiert. Es wurden Daten aus mehr als 50 Publikationen, u.a. auch des „EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2013“⁵ ausgewertet und daraus mittlere, für schweizerische Verhältnisse angepasste Werte bestimmt (Tabelle 1). Die Holzfeuerungen wurden dabei nach den in der Schweizerischen Holzenergiestatistik⁶ aufgeführten Anlagenkategorien 1-19 unterteilt. Bei den automatischen Feuerungen wird unterschieden zwischen Anlagen innerhalb und ausserhalb von Holzverarbeitungsbetrieben (i. HVB bzw. a. HVB). In den Anlagenkategorien 1-18 („offene Cheminées“ bis „Holz-Wärmeleistungskopplungsanlagen“) werden Holzbrennstoffe (nach Anh. 5 Ziff. 31 Abs. 1 LRV) und in Kategorie 19 („Anlagen für erneuerbare Abfälle“) in erster Linie Altholz (Anh. 5 Ziff. 31. Abs. 2 Bst. a LRV) eingesetzt. Die spezifischen Heizwerte H_u und trockenen Abgasvolumina V_{atr} zur Umrechnung der gemessenen Schadstoffkonzentrationen von $[\text{mg}/\text{m}^3 \text{ Abgasvolumen}]$ in Emissionsfaktoren in $[\text{mg}/\text{MJ}]$ und umgekehrt beziehen sich auf das in der jeweiligen Anlagenkategorie verwendete Holz der Feuchte u. Für alle Feuerungstypen, die naturbelassenes Holz oder Restholz verbrennen, wird der gleiche SO_2 -Emissionsfaktor verwendet, da die Emissionen in erster Linie vom Schwefelgehalt des Brennstoffs abhängen. Die von Holzfeuerungen emittierten Stickoxide stammen vorwiegend aus dem Brennstoff. Ein höherer Sauerstoffgehalt in Feuerungsraum und Ausbrandzone begünstigt die Oxidation und damit die Stickoxid-Bildung. Entsprechend besteht bei Feuerungen ohne Low- NO_x -Technologie oder Entstickung (SNCR, SCR) ein gegenläufiger Trend zwischen NO_x - und CO -Emissionen. In automatischen Feuerungen von Holzverarbeitungsbetrieben wird auch Restholz z. B. in Form von Spanplatten verbrannt, das einen deutlich höheren Stickstoffgehalt als naturbelassenes Holz mit Rinde aufweist.

Kohlenmonoxid und organische Verbindungen wie CH_4 und NMVOC sind Produkte einer unvollständigen Verbrennung und können durch hohe Verbrennungstemperaturen, gute Vermischung zwischen brennbaren Gasen und Verbrennungsluft sowie einer ausreichenden Verweilzeit in der heissen Zone vermieden werden. Dies ist insbesondere bei zunehmender Anlagengrösse der Fall. Ein automatisierter Betrieb ermöglicht eine Verbrennung bei konstantem Luftüberschuss, was in der Regel eine höhere Ausbrandqualität sicherstellt. Für Feuerungen kleiner Leis-

tung bieten Holzpellets aufgrund ihrer konstanten Brennstoffqualität und ihrem tiefen Wassergehalt vorteilhafte Voraussetzungen für die Verbrennung. Bei handbeschickten Holzfeuerungen dagegen tragen die Anfahr- und die Ausbrandphase entscheidend zu den Gesamtemissionen bei, weshalb diese deutlich höhere Emissionsfaktoren für CO, CH₄, NMVOC und Staub aufweisen.

Kleinfeuerungen weisen aufgrund der schlechteren Ausbrandqualität hohe Anteile an organischem Feinstaub (kleiner 10 µm aerodynamischem Durchmesser) und Russ aus. Feinstaub aus automatischen Feuerungen hingegen besteht vor allem aus anorganischen Verbindungen, deren Mengen durch eine vollständige Verbrennung nicht vermindert werden. Die resultierenden Emissionen werden deshalb in erster Linie durch die Abgasreinigung beeinflusst. Für grössere, automatische Feuerungen wird berücksichtigt, dass sich seit der Verschärfung der Emissionsgrenzwerte in der LRV ab 2007 der Einsatz von Feinstaubabscheidern als Standard für Neuanlagen durchgesetzt hat. Durch Sanierungen kommt dieser Effekt, mit einer Zeitverzögerung, auch bei Altanlagen zum Tragen. Nebst dem Vorhandensein von Feinstaubabscheidern ist deren Verfügbarkeit im Betrieb entscheidend. Bei Heizanwendungen ist wegen der geringen Vollbetriebsstundenzahl der Feuerungen eine niedrigere Verfügbarkeit anzunehmen als bei Holz-Wärmeerkopplungsanlagen oder grossen Anlagen für erneuerbare Abfälle.

Der Wert des CO₂-Emissionsfaktors stammt aus dem Handbuch „Emissionsfaktoren für stationäre Quellen“ (BUWAL, 2000)².

Tabelle 1: Mittlere Emissionsfaktoren von Erdgas-, Heizöl Extraleicht- und Holzfeuerungen, sowie Angaben zu Heizwert H_u, Abgasvolumen V_{Atr} und Holzfeuchte u

		Heizwert H _u	Abgasvolumen V _{Atr}	Holzfeuchte u	Emissionsfaktoren bezogen auf Inputenergie						
					SO ₂	NO _x	CH ₄	NMVOC	CO	Staub	CO ₂
Erdgas	Feuerung	[MJ/m ³]	[m ³ /m ³]		[mg/MJ]						[g/MJ]
	<50 kW	36.3	10.2		0.5	18	6	2	14	0.1	56.4
	50–350 kW	36.3	10.2		0.5	19	6	2	11	0.1	
	>350 kW	36.3	10.2		0.5	19	6	2	10	0.1	
HEL	Gebälsebrenner	[MJ/kg]	[m ³ /kg]								
	<50 kW	42.9	12.4		12 ⁶⁾	37	1	6	13	0.2	73.7
	50–350 kW	42.9	12.4		12 ⁶⁾	36	1	6	7	0.2	
	>350 kW	42.9	12.4		12 ⁶⁾	33	1	2	8	0.2	
Holz	Anlagenkategorien nach Holzenergiestatistik	[MJ/kg] ¹⁾	[m ³ /kg] ²⁾	[%]	[mg/MJ]						[g/MJ]
	Offene Cheminées	14.6	9.6	25	10	80	120	180	3'000	100	92.0
	Geschlossene Cheminées und Cheminéeöfen	14.6	9.6	25	10	80	100	150	2'500	100	
	Zimmer- und Kachelöfen	13.7	9.0	33	10	80	100	150	2'500	100	
	Pelletöfen (Wohnbereich)	13.8	9.0	33	10	60	12	18	300	60	
	Holzkoch- und Zentralheizungsherde	13.7	9.0	33	10	70	160	240	4'000	200	
	Stückholzkessel	13.7	9.0	33	10	80	50	75	1'250	50	
	Doppel-/Wechselbrandkessel	13.7	9.0	33	10	70	160	240	4'000	200	
	Autom. Feuerungen < 50 kW	11.7	7.8	54	10	120	8	12	600	100	
	Pelletkessel < 50 kW	13.8	9.0	33	10	60	3	4	200	50	
	Autom. Feuerungen 50 - 500 kW a. HVB	11.6	7.8	54	10	120	7	10	500	80	
	Pelletfeuerungen 50 - 500 kW	14.1	9.0	33	10	60	2	3	150	40	
	Autom. Feuerungen 50 - 500 kW i. HVB	13.9	9.0	33	10	220	7	10	500	80	
	Autom. Feuerungen > 500 kW a. HVB	11.0	7.8/6.2	54	10	135	4	6	300	70	
	Pelletfeuerungen > 500 kW	14.1	9.0/7.2	33	10	70	2	3	150	35	
	Autom. Feuerungen > 500 kW i. HVB	12.6	9.0/7.2	33	10	220	4	6	300	70	
	Holz-Wärmeerkopplungsanlagen	10.5	7.8/6.2	54	10	120	1.3	2	100	12	
Anlagen für erneuerbare Abfälle	13.0	10.8/8.6	11	20	100	1.3	2	100	8		

¹⁾ spezifischer Heizwert H_u bezogen auf eingesetztes Holz der Holzfeuchte u gemäss Schweizerische Holzenergiestatistik, Erhebung für das Jahr 2013, BFE 2014 (Tabellen 1.3, 1.5, D und E)

²⁾ spezifisches trockenes Abgasvolumen V_{Atr} bei Bezugssauerstoffgehalt nach LRV (Feuerungswärmeleistung ≤1 MW: 13%vol O₂, >1 MW: 11%vol O₂) bezogen auf eingesetztes Holz der Holzfeuchte u

2 Emissionsfaktoren von Feuerungsanlagen mit moderner Technologie (Erdgas und HEL)

Die Daten der oben erwähnten Feuerungskontrollmessungen der Stadt Zürich umfassen auch Angaben zur Technologie der Feuerungsanlagen. Dies ermöglichte die Bestimmung von Emissionsfaktoren und Wirkungsgraden von moderneren Feuerungen für Erdgas und Heizöl Extraleicht der Qualitäten Euro und Öko schwefelarm (Tabelle 2). Für Erdgas sind dies kondensierende Anlagen mit atmosphärischen Low-NO_x-Brennern und für Heizöl sind es kondensierende Anlagen mit Low-NO_x-Gebläsebrennern. Dazu wurden Messdaten der Feuerungskontrollen der Jahre 2010/2011 bei ca. 1'200 Erdgas- und 200 Heizöl-Feuerungen mit Baujahr 2009 und 2010 ausgewertet.

Tabelle 2: Emissionsfaktoren und Wirkungsgrad von modernen Feuerungen (Erdgas und HEL, Euro und Öko schwefelarm) basierend auf Messdaten der behördlichen Feuerungskontrolle 2010/2011 der Stadt Zürich bei Feuerungen mit Baujahr 2009 und 2010.

Stand der Technik		Emissionsfaktoren bezogen auf Inputenergie			Wirkungsgrad
		SO ₂	NO _x	CO	
Erdgas	atmosphärischer Low-NO _x -Brenner, kondensierend	[mg/MJ]			[%]
	<50 kW		10	11	98
	50–350 kW		12	9	98
	>350 kW		14	4	98
HEL	Low-NO _x -Gebläsebrenner, kondensierend				
	<50 kW, Euro	15 ¹⁾	27	3	98
	<50 kW, Öko schwefelarm	1.3 ²⁾	21	3	98
	50–350 kW, Euro	15 ¹⁾	32	5	99
	50–350 kW, Öko schwefelarm	1.3 ²⁾	28	1	98

¹⁾ basierend auf mittlerem Schwefelgehalt des Heizöls Extraleicht, Euro im Jahr 2013 (Messungen OZD)

²⁾ basierend auf mittlerem Schwefelgehalt des Heizöls Extraleicht, Öko schwefelarm im Jahr 2013 (Messungen OZD)

3 Emissionsinventare

Die oben beschriebenen, mittleren Emissionsfaktoren werden auch zur Berechnung der Emissionen aus Erdgas-, HEL- und Holzfeuerungen im Luftschadstoff⁷- und Klimagasemissionsinventar⁸ verwendet. Die Inventare werden jährlich im Rahmen des UNECE-Übereinkommens über weiträumige grenzüberschreitende Luftverunreinigung (CLRTAP) und der 8 Zusatzprotokolle sowie im Rahmen der UN-Konvention und des Kyoto-Protokolls eingereicht. In beiden Inventaren werden Emissionszeitreihen ausgewiesen. Das Luftschadstoffinventar umfasst den Zeitraum von 1980 bis 2030 und das Klimagasinventar die Zeit ab 1990 bis zum aktuellen Submissionsjahr. Entsprechend werden für die Emissionsberechnung auch Zeitreihen der Emissionsfaktoren benötigt. Anders als beispielsweise beim Brennstoffverbrauch, für den jährliche (statistische) Zahlen vorliegen, stehen Emissionsfaktorwerte meist nur für spezifische Jahre zur Verfügung. Zur Bildung einer Zeitreihe werden die dazwischenliegenden Jahre linear interpoliert.

In den Inventaren werden für Erdgas- und HEL-Feuerungen die in Tabelle 1 aufgeführten, mittleren CO- und NO_x-Emissionsfaktoren als Werte für das Jahr 2010 eingesetzt und die der anderen Schadstoffe und Treibhausgase für 2013. Für Holzfeuerungen werden alle in Tabelle 1 aufgeführten, mittleren Emissionsfaktoren als Inventarwerte des Jahres 2014 verwendet.

Quellen

¹ Luftreinhalte-Verordnung (<http://www.admin.ch/opc/de/classified-compilation/19850321/index.html>).

² Handbuch „Emissionsfaktoren für stationäre Quellen“, Vollzug Umwelt, BUWAL, 2000.

³ Faktenblatt „CO₂-Emissionsfaktoren des Treibhausgasinventars der Schweiz“, BAFU, 2015 (<http://www.bafu.admin.ch/klima/09570/09572/index.html?lang=de>).

⁴ Schweizerischen Gesamtenergiestatistik 2013, BFE, 2014 (http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00542/00631/index.html?lang=de&dossier_id=00763).

⁵ EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2013 (<http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013>).

⁶ Schweizerische Holzenergiestatistik 2013, BFE, 2014

(http://www.bfe.admin.ch/themen/00526/00541/00543/index.html?lang=de&dossier_id=00771).

⁷ Luftschadstoffinventar der Schweiz, Informative Inventory Report, BAFU, 2015

(http://www.ceip.at/ms/ceip_home1/ceip_home/status_reporting/2015_submissions/).

⁸ Klimagasinventar der Schweiz, National Inventory Report, BAFU, 2015 (www.bafu.admin.ch/ghginv).