

Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie

Berichtsjahr 2018



Gerd Mausitz
Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik
und Technische Biowissenschaften
Technische Universität Wien

Wien, im Mai 2019

Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie

Berichtsjahr 2018

Gerd Mausnitz

Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften

Technische Universität Wien

Wien, im Mai 2019

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Problemstellung.....	2
2 Datenerfassung.....	3
2.1 Erfaßte Schadstoffe.....	3
2.2 Erfassungszeitraum.....	3
2.3 Erfaßte Anlagen.....	3
3 Ergebnisse, numerische und graphische Darstellungen.....	5
3.1 Produktionsstatistik.....	7
3.2 Brennstoffstatistik.....	8
3.3 Energiestatistik.....	9
3.4 Rohstoff- und Zuzahlstoffstatistik.....	15
3.5 Emissionsstatistik.....	18
4 Kurzkomentar zu den Ergebnissen.....	26
4.1 Anlage- und Produktionsdaten.....	26
4.2 Emissionen.....	27
5 Tabellenverzeichnis.....	30
6 Abbildungsverzeichnis.....	30

Einleitung

Wie jedes Jahr berichtet die österreichische Zementindustrie durch den vorliegenden Bericht über alle relevanten Schadstofffreisetzungen des Sektors und informiert damit über die Wirksamkeit der Aktivitäten die gesetzt wurden, um die Beeinträchtigung der Umwelt durch Luftschadstoffe so gering wie möglich zu halten. Diesmal steht das Beobachtungsjahr 2018 im Mittelpunkt der Ausführungen.

Die vorliegende Zusammenschau berichtet u.a. über pyrogene und prozeßspezifische Emissionen aus österreichischen Zementwerken. Es werden die damit im ursächlichen Zusammenhang stehenden Produktions- und Betriebsdaten aufgezeigt und die Einsätze an thermischer und elektrischer Energie, die Verwertung von Ersatzbrennstoffen, die Verwendung von Altstoffen in Form der sekundären Rohstoffe und der sekundären Zumahlstoffe dokumentiert. Damit weist die österreichische Zementindustrie auf den Beitrag hin, den sie als Bestandteil in regionalen Abfallentsorgungssystemen zur natürlichen Ressourcenschonung leistet.

1 Problemstellung

Der vorliegende Bericht soll alle relevanten Schadstoffe umfassen, die durch Anlagen der österreichischen Zementindustrie mit Ofenbetrieb im Jahr 2018 freigesetzt wurden.

Darüber hinaus sollen

- die Produktionsdaten,
- die Einsatzmengen an konventionellen Energieträgern,
- die Einsatzmengen an Ersatzbrennstoffen,
- der thermische und der elektrische Energieverbrauch,
- die Einsatzmengen an Primärrohstoffen,
- die Einsatzmengen an Primärzumahlstoffen,
- die Einsatzmengen an Sekundärrohstoffen,
- die Einsatzmengen an Sekundärzumahlstoffen,

zusammenfassend dargestellt werden.

Die Einzelwerksergebnisse sollen, unter Wahrung der Vertraulichkeit werksspezifischer Einzelheiten, zu einer Gesamtbilanz der Branche zusammengeführt werden.

Zu Vergleichszwecken soll die Emissionsinventur 2018 um die Bilanzjahre 2013 bis 2017 ergänzt werden. Somit können sektorale Trendanalysen und Mittelwertbildungen auf einer breiteren Datenbasis abgestützt und Aussagequalitäten von weniger systematischen Einflußgrößen unabhängiger gemacht werden.

2 Datenerfassung

2.1 Erfasste Schadstoffe

In der Emissionsinventur finden sich Angaben zu 26 Schadstoffen bzw. Schadstoffgruppen (Tabelle 2-1).

klassische Luftschadstoffe	metallische Spurenelemente*	klimarelevante Schadgase
Staubförmige Emissionen	Cadmium (Cd)	geogenes Kohlenstoffdioxid (CO ₂)
Stickstoffoxide (als NO ₂)	Thallium (Tl)	pyrogenes Kohlenstoffdioxid (CO ₂)
Schwefeldioxid (SO ₂)	Beryllium (Be)	
Chlorverbindungen (als HCl)	Arsen (As)	
Fluorverbindungen (als HF)	Cobalt (Co)	
organischer Gesamtkohlenstoff (TOC)	Nickel (Ni)	
Kohlenstoffmonoxid (CO)	Blei (Pb)	
Ammoniak (NH ₃)	Quecksilber (Hg)	
	Chrom (Cr)	
	Selen (Se)	
	Mangan (Mn)	
	Vanadium (V)	
	Zink (Zn)	
	Antimon (Sb)	
	Kupfer (Cu)	
	Zinn (Sn)	

* gasförmig und/oder partikelgebunden

Tabelle 2-1: erfasste Schadstoffe

2.2 Erfassungszeitraum

Die vorliegende Emissionsinventur wurde für das Bilanzjahr 2018 erstellt und zu Vergleichszwecken mit den entsprechenden Daten für 2013 bis 2017 ergänzt.

2.3 Erfasste Anlagen

Es wurden folgende neun Anlagen der österreichischen Zementindustrie mit betriebsbereiten Ofenanlagen in die Emissionsinventur aufgenommen:

- Zementwerk Leube GmbH (Gartenau / Salzburg),
- Zementwerk Hatschek GmbH (Gmunden),
- Kirchdorfer Zementwerk Hofmann Ges.m.b.H. (Kirchdorf / Krems),
- Lafarge Zementwerke GmbH (Betriebsstandort: Mannersdorf),
- Lafarge Zementwerke GmbH (Betriebsstandort: Retznei),
- Schretter & Cie GmbH & Co KG (Vils),
- w&p Zement GmbH (Betriebsstandort: Peggau),
- w&p Zement GmbH (Betriebsstandort: Wietersdorf),
- Baunit GmbH (Waldegg, Wopfing).

Über wichtige anlagentechnische Gegebenheiten in österreichischen Zementwerken mit Ofenbetrieb berichtet Abbildung 2-1.

		Anlagenspiegel mit 31.12.2018								
Betreiber	Standort	Ofentechnik	Klinkerkühler	Zementmühlen	Abgasentstaubung	SNCR	SCR	SO ₂ -Abgas-Wäsche	Hg-Minderung	RTO
Zementwerk Leube GmbH	Gartenau	5-stufiger WT- DO mit Brennkammer und Kalzinator	Pendelrostkühler	2 KM	DO, KÜ, RM4 und RM5 in Schlauchfiltern	✓				
Zementwerk Hatschek GmbH	Gmunden	5-stufiger WT- DO	Satellitenkühler	3 KM	DO und KÜ in 2 E- Entstaubern in Serie	✓				
Kirchdorfer Zementwerk Hofmann Ges.m.b.H.	Kirchdorf	4-stufiger WT- DO mit Kalzinator	Pendelrostkühler	2 KM	DO und 2 MTA mit Schlauchfilter, KÜ mit E- Entstauber	(✓)	✓*			✓*
Lafarge Zementwerke GmbH	Mannersdorf	5-stufiger 2- strangiger WT- DO mit Kalzinator	2- teiliger Rostkühler	2 KM	DO mit Schlauchfilter, KÜ mit E- Entstauber	(✓)	✓			
w&p Zement GmbH	Peggau	Lepolverfahren	Rostkühler	3 KM	DO und KÜ im Schlauchfilter	✓				
Lafarge Zementwerke GmbH	Retznei	4- stufiger WT- DO	Horizontalrostkühler	2 KM	E- Entstauber, Alkalibypass mit Schlauchfilter	✓		✓		
Schretter & Cie GmbH & Co KG	Vils	4- stufiger WT- DO	Rostkühler	2 KM	DO mit Schlauchfilter, KÜ mit E- Entstauber	✓				
w&p Zement GmbH	Wiiersdorf	5- stufiger WT- DO mit Kalzinator	Rostkühler	2 KM	DO und KÜ in einem Schlauchfilter	✓			✓**	✓***
Baunit GmbH	Wopfing	5- stufiger WT- DO mit Kalzinator	2- teiliger Rostkühler	KM+2 RP	DO in Schlauchfilter, Schlauchfilter für KÜ	✓				✓
Legende:		DO E- Entstauber KM KÜ MTA RM	Drehrohrofen Elektrostaubabscheider Kugelmühle Klinkerkühler Mahitrocknungsanlage Rohmühle	RP SCR SNCR RTO WT- DO	Rollenpresse Anlage zur selektiven, katalytischen Reduktion von Stickstoffoxiden Anlage zur selektiven, nichtkatalytischen Reduktion von Stickstoffoxiden regenerative, thermische Nachverbrennungsanlage Drehrohrofen mit Zyklonwärmetauscher					
		* DeCONOX- Anlage (Kopplungsverfahren einer thermischen Nachverbrennungsanlage und einer SCR- DeNOx- Anlage in Reingasschaltung); Versuchsbetrieb ohne SCR- DeNOx ab 27.08.2015; mit SCR- DeNOx ab 07.12.2015.								
		** ExMercury- Anlage zur Hg- Entfrachtung mit einem kohlenstoffhaltigen Adsorbens; Inbetriebnahme: Mitte 2015								
		*** Die RTO am w&p - Betriebsstandort Wiiersdorf hat im Oktober 2017 den Betrieb aufgenommen.								

Abbildung 2-1: Anlagenspiegel der österreichischen Zementwerke mit Ofenbetrieb (Stichtag: 31.12.2018)

3 Ergebnisse, numerische und graphische Darstellungen

Die in dieser Studie ausgewiesenen Daten sind kollektivierte Werte, welche für die Gesamtheit der österreichischen Zementindustrie gelten. Die kollektivierten Werte sind nicht geeignet auf einzelne österreichische Zementwerke und deren spezifische Daten umgelegt zu werden.

Konzentrationswerte die in den Meßberichten als unterhalb der Nachweisgrenze eines Meßgerätes bzw. eines Meßverfahrens ausgewiesen wurden, sind in der vorliegenden Emissionsinventur - einem „worst case“ Szenario folgend - als mögliche und somit auch erreichbare Emissionskonzentrationswerte angenommen worden. Mit diesen Werten wurden gegebenenfalls die Frachtberechnungen durchgeführt.

Die Tabelle 3-1 informiert zusammenfassend über die Ergebnisse der Datenerhebung.

GESAMTÜBERSICHT

I Anlagendaten	
Anlagenzahl	Österreichweit waren 2018 (2017) 2 (2) Lepolöfen mit 418.000 (418.000), 3 (3) WT-DO mit 1.385.000 (1.385.000) sowie 6 (6) WT-DO + Kalzinator mit 3.515.900 (3.495.900) t/a betriebsbereit.
Klinkerkapazität / [t/a]	Mit der 2018 (2017) installierten Gesamtanlagenkapazität von ca. 5.318.900 t/a (ca. 5.298.900 t/a) wurden die unter II angeführten Jahresmengen produziert.

II Produktionsdaten		2013			2014			2015			2016			2017			2018		
Rohmehleinsatz	[t/a]	4.858.175			4.842.710			5.033.733			5.093.970			5.057.751			5.421.197		
Klinkerproduktion	[t/a]	3.156.286			3.143.495			3.256.561			3.299.974			3.313.459			3.551.969		
Zementproduktion	[t/a]	4.384.876			4.434.531			4.611.810			4.776.936			4.879.639			5.241.524		
Ofenbetriebsstunden ⁹⁾	[h _{Op} /a]	53.857,5			54.888,0			56.412,0			56.872,0			55.290,0			57.988,5		
Rohmehlfaktor	[t _{Rm} /t _{Kl}]	1,539			1,541			1,546			1,544			1,526			1,526		
(korrigierter*) Klinkerfaktor	[t _{Kl} /t _{Ze}]	0,702*	0,720		0,698*	0,709		0,702*	0,706		0,705*	0,691		0,704*	0,679		0,696*	0,678	

III Konventionelle Energieträger (KET)		2013			2014			2015			2016			2017			2018		
		Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]															
A) Steinkohle		29,39	34.233	1.006.012	29,85	29.918	893.122	30,27	28.825	872.592	29,92	20.960	627.187	30,23	20.335	614.753	25,90	25.878	670.184
B) Braunkohle		21,87	49.615	1.085.133	21,91	47.125	1.032.699	22,15	45.989	1.018.658	22,02	48.379	1.065.175	21,96	48.625	1.067.651	22,06	57.339	1.265.143
C) Heizöl L (0,2 m% S)		41,70	226	9.415	41,70	254	10.594	41,70	233	9.712	41,70	508	21.180	41,70	394	16.445	41,70	506	21.121
D) Heizöl M (0,6 m% S)			0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0
E) Heizöl S (1,0-3,5 m% S)		40,30	1.677	67.581	40,35	973	39.252	40,03	2.405	96.275	40,14	2.813	112.927	39,06	2.061	80.489	39,05	1.408	55.000
F) Erdgas ⁹⁾ / [1000m ³ (Vn)/a]; Hu / [MJm ³ (Vn)]		36,00	2.619,287	94.294	36,00	1.872,866	67.423	36,00	1.867,632	67.235	36,22	3.021,479	109.426	36,23	2.720,298	98.554	36,23	2.948,684	106.843
J) Petrolkoks		30,76	31.465	967.791	31,14	29.543	919.938	31,08	27.946	868.661	30,48	28.037	854.711	30,93	18.507	572.489	29,79	15.590	464.376
G) sonstige (Heizöl EL, Anthrazit)		42,70	933	39.824	42,70	386	16.500	42,70	291	12.445	42,70	330	14.086	42,70	345	14.713	42,70	284	12.143
Summe KET			120.011	3.270.051		109.531	2.979.528		107.017	2.945.578		103.176	2.804.693		92.201	2.465.094		103.104	2.594.810

IV Ersatzbrennstoffe (EBS)		2013			2014			2015			2016			2017			2018		
		Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]									
H) Altreifen		28,63	40.245	1.152.389	28,84	47.903	1.381.458	29,33	54.242	1.590.979	29,66	56.143	1.665.140	29,88	58.988	1.762.265	29,75	61.735	1.836.825
I) Kunststoffabfälle		19,16	277.909	5.325.577	19,82	293.502	5.816.551	19,40	304.221	5.900.871	19,69	316.107	6.225.366	19,50	324.780	6.333.354	19,38	358.580	6.950.669
K) Altöl		34,76	5.935	206.304	29,79	7.574	225.607	32,85	10.890	357.733	33,26	16.131	536.588	33,40	13.847	462.473	37,02	15.321	567.241
L) Lösungsmittel		22,48	17.370	390.480	24,23	16.696	404.510	25,42	19.756	502.179	27,63	23.502	649.257	26,69	23.761	634.164	26,75	26.619	712.076
M) landwirtschaftliche Rückstände		16,91	3.548	59.995	16,91	1.492	25.223	16,91	325	5.492	16,91	520	8.798	16,91	1.204	20.359	16,91	1.457	24.632
N) Papierfaserreststoff		4,72	46.967	221.844	5,06	38.778	196.217	4,85	42.227	204.779	4,83	35.719	172.523	4,89	36.728	179.600	5,07	40.268	204.159
O) sonstige		13,15	91.720	1.205.806	12,66	87.664	1.109.755	13,44	61.668	828.524	14,15	60.273	852.730	17,09	50.550	863.656	18,26	51.635	942.838
Summe EBS			483.694	8.562.395		493.609	9.159.320		493.329	9.390.558		508.395	10.110.402		509.857	10.255.872		555.614	11.238.439

V Thermischer Energieeinsatz**		2013			2014			2015			2016			2017			2018		
a) Σ Energieeinsatz KET	[GJ/h _{Op}]	60,7			54,3			52,2			49,3			44,6			44,7		
b) Σ Energieeinsatz EBS	[GJ/h _{Op}]	159,0			166,9			166,5			177,8			185,5			193,8		
Summe a) u. b)	[GJ/h _{Op}]	219,7			221,2			218,7			227,1			230,1			238,6		
EBS-Anteil an (III+IV)	[%]	72,36			75,45			76,12			78,28			80,62			81,24		
spez. therm. Energieeinsatz	[GJ/t _{Klinker}]	3,749			3,862			3,788			3,914			3,839			3,895		

VI Sekundärrohstoffe (SRS)		2013			2014			2015			2016			2017			2018		
diverse Schlacken	[t/a]	30.223			35.855			47.079			36.863			34.745			35.487		
Gießereialsand	[t/a]	25.770			31.868			27.957			31.695			36.052			38.822		
Summe SRS / sonstige SRS	[t/a]	663.189	607.196		680.941	613.218		610.816	535.781		628.296	559.739		699.305	628.507		765.918	691.610	

VII Sekundärzumahlstoffe (SZS)		2013			2014			2015			2016			2017			2018		
Hochofenschlacke	[t/a]	647.120			681.832			744.590			774.461			774.505			803.581		
REA - Gips	[t/a]	51.104			52.150			45.411			48.716			48.081			47.979		
Flugasche	[t/a]	121.666			122.997			126.974			127.453			119.064			133.777		
Summe SZS / sonstige SZS	[t/a]	951.489	131.599		974.908	117.929		1.043.676	126.701		1.066.573	115.943		1.016.096	74.446		1.099.976	114.638	
VIII Abgasparameter		2013			2014			2015			2016			2017			2018		
Bez.-O ₂ / O ₂ gemessen	[Vol.-%]	10,00	11,44		10,00	11,44		10,00	11,81		10,00	11,85		10,00	11,36		10,00	11,36	
Abgasnormvolumen V _(tr,Vn,bez.)	[1000m ³ (Vn,bez.)]	7.569.484			7.521.174			7.395.121			7.682.283			7.660.014			8.255.301		
IX Emissionsrelevante Daten		2013			2014			2015			2016			2017			2018		
		E-faktor	Massenstrom	E-faktor															
		[g/t _{zse}]	[t/a]	[g/t _{ke}]	[g/t _{zse}]	[t/a]	[g/t _{ke}]	[g/t _{zse}]	[t/a]	[g/t _{ke}]	[g/t _{zse}]	[t/a]	[g/t _{ke}]	[g/t _{zse}]	[t/a]	[g/t _{ke}]	[g/t _{zse}]	[t/a]	[g/t _{ke}]
1 Staub (TSP) ^{(1) (3)}		6,18	27,087	8,58	4,88	21,643	6,88	5,12	23,592	7,24	4,97	23,747	7,20	5,57	27,172	8,20	5,71	29,904	8,42
2 Stickstoffoxide (als NO ₂)		600,68	2.633,924	834,50	550,30	2.440,341	776,31	483,78	2.231,087	685,11	451,42	2.156,426	653,47	430,82	2.102,258	634,46	441,17	2.312,415	651,02
3 Schwefeldioxid (SO ₂)		55,23	242,158	76,72	71,80	318,389	101,28	59,49	274,342	84,24	54,74	261,498	79,24	59,89	292,225	88,19	61,15	320,522	90,24
4 Cadmium (Cd)		0,001550	0,006795	0,002153	0,002184	0,009687	0,003082	0,000877	0,004043	0,001242	0,001327	0,006337	0,001920	0,001294	0,006313	0,001905	0,001978	0,010369	0,002919
5 Thallium (Tl)		0,001013	0,004442	0,001407	0,001035	0,004592	0,001461	0,000936	0,004317	0,001326	0,000908	0,004336	0,001314	0,001279	0,006241	0,001884	0,001441	0,007553	0,002127
6 Beryllium (Be)		0,002457	0,010771	0,003413	0,002342	0,010385	0,003304	0,002450	0,011298	0,003469	0,002381	0,011375	0,003447	0,002450	0,011955	0,003608	0,002416	0,012664	0,003565
Summe 4-6		0,005019	0,022008	0,006973	0,005562	0,024663	0,007846	0,004263	0,019658	0,006037	0,004616	0,022048	0,006681	0,005023	0,024510	0,007397	0,005835	0,030587	0,008611
7 Arsen (As)		0,001005	0,004409	0,001397	0,001004	0,004450	0,001416	0,000974	0,004493	0,001380	0,001085	0,005185	0,001571	0,001619	0,007901	0,002385	0,001338	0,007012	0,001974
8 Cobalt (Co)		0,000937	0,004110	0,001302	0,000971	0,004308	0,001370	0,000963	0,004440	0,001363	0,000882	0,004213	0,001277	0,001336	0,006520	0,001968	0,002036	0,010674	0,003005
9 Nickel (Ni)		0,007084	0,031062	0,009841	0,012707	0,056348	0,017925	0,013175	0,060760	0,018658	0,006465	0,030884	0,009359	0,009481	0,046265	0,013963	0,015581	0,081668	0,022992
10 Blei (Pb)		0,016440	0,072089	0,022840	0,009341	0,041423	0,013177	0,005203	0,023995	0,007368	0,006249	0,029850	0,009046	0,006666	0,032529	0,009817	0,008599	0,045072	0,012689
Summe 7-10		0,025467	0,111670	0,035380	0,024023	0,106529	0,033889	0,020315	0,093687	0,028769	0,014681	0,070132	0,021252	0,019103	0,093215	0,028132	0,027554	0,144425	0,040661
11 Quecksilber (Hg)		0,033791	0,148171	0,046945	0,035604	0,157886	0,050226	0,028466	0,131281	0,040313	0,020341	0,097165	0,029444	0,026960	0,131555	0,039703	0,030826	0,161576	0,045489
12 Chrom (Cr)		0,009736	0,042693	0,013526	0,021059	0,093387	0,029708	0,016760	0,077295	0,023735	0,012586	0,060122	0,018219	0,018013	0,087896	0,026527	0,019740	0,103468	0,029130
13 Selen (Se)		0,000206	0,000902	0,000286	0,000201	0,000890	0,000283	0,000201	0,000927	0,000285	0,000293	0,001399	0,000424	0,000296	0,001447	0,000437	0,000505	0,002649	0,000746
14 Mangan (Mn)		0,006785	0,029749	0,009425	0,018615	0,082548	0,026260	0,011867	0,054728	0,016805	0,011665	0,055723	0,016886	0,011791	0,057538	0,017365	0,017267	0,090506	0,025480
15 Vanadium (V)		0,001529	0,006703	0,002124	0,001152	0,005107	0,001625	0,001040	0,004798	0,001473	0,001275	0,006088	0,001845	0,001513	0,007382	0,002228	0,001427	0,007478	0,002105
16 Zink (Zn)		0,021156	0,092769	0,029392	0,021130	0,093704	0,029809	0,021294	0,098205	0,030156	0,020615	0,098476	0,029841	0,023195	0,113181	0,034158	0,025432	0,133303	0,037529
Summe 11-16		0,073203	0,320987	0,101698	0,097760	0,433520	0,137910	0,079629	0,367233	0,112767	0,066774	0,318974	0,096660	0,081768	0,398998	0,120417	0,095197	0,498979	0,140480
17 Antimon (Sb)		0,000937	0,004110	0,001302	0,000971	0,004308	0,001370	0,000887	0,004089	0,001256	0,000900	0,004300	0,001303	0,001235	0,006027	0,001819	0,002267	0,011885	0,003346
18 Kupfer (Cu)		0,010182	0,044645	0,014145	0,005988	0,026556	0,008448	0,007365	0,033967	0,010430	0,005439	0,025982	0,007873	0,008762	0,042756	0,012904	0,011632	0,060970	0,017165
19 Zinn (Sn)		0,001321	0,005792	0,001835	0,001302	0,005772	0,001836	0,001010	0,004656	0,001430	0,000890	0,004250	0,001288	0,001283	0,006262	0,001890	0,002011	0,010540	0,002967
Summe 17-19		0,012440	0,054547	0,017282	0,008261	0,036635	0,011654	0,009262	0,042712	0,013116	0,007229	0,034532	0,010464	0,011281	0,055045	0,016613	0,015910	0,083394	0,023478
Summe Spurenelemente (4-16)		0,103689	0,454665	0,144051	0,127344	0,564713	0,179645	0,104206	0,480579	0,147572	0,086071	0,411155	0,124593	0,105894	0,516723	0,155947	0,128587	0,673991	0,189751
Summe Spurenelemente (4-16 und 17-19)		0,116129	0,509212	0,161333	0,135606	0,601348	0,191299	0,113468	0,523291	0,160688	0,093300	0,445687	0,135058	0,117174	0,571768	0,172559	0,144497	0,757386	0,213230
20 chlorhaltige Verbindungen (als HCl)		2,928	12,841	4,068	4,049	17,955	5,712	2,985	13,765	4,227	4,205	20,088	6,087	4,491	21,914	6,614	3,258	17,075	4,807
21 fluorhaltige Verbindungen (als HF)		0,180	0,791	0,250	0,179	0,792	0,252	0,205	0,944	0,290	0,192	0,918	0,278	0,192	0,938	0,283	0,129	0,678	0,191
22 organischer Gesamtkohlenstoff (TOC)		61,318	268,870	85,185	50,738	225,001	71,577	50,733	233,973	71,847	42,038	200,814	60,853	42,179	205,817	62,115	39,622	207,678	58,469
23 Kohlenstoffmonoxid (CO)		3.734,3	16.374,28	5.187,8	3.727,3	16.528,78	5.258,1	2.971,5	13.704,21	4.208,2	2.362,9	11.287,48	3.420,5	1.577,0	7.695,02	2.322,4	1.020,1	5.346,89	1.505,3
24 Ammoniak (NH ₃)		14,458	63,399	20,086	20,916	92,754	29,507	24,822	114,474	35,152	13,494	64,462	19,534	17,198	83,919	25,327	22,702	118,991	33,500
25 Kohlenstoffdioxid (CO ₂) ⁽²⁾		615.678	2.699.674	855.333	609.335	2.702.117	859.590	602.868	2.780.312	853.757	591.122	2.823.753	855.689	572.952	2.795.801	843.771	572.066	2.998.496	844.179

⁽¹⁾ ohne Staubemissionen aus "sonstigen definierten Quellen" (Zementverordnung §5 Z.3) * = Klinkerverbrauch/Zementproduktion ** alle Einsatzbereiche

^{a)} alle Betriebszustände

^{b)} ρ_(EG)=0,7112kg/m³

⁽²⁾ nach EZG verifizierte CO₂-Gesamtemission (inkl. "klimaneutrales" CO₂); ⁽³⁾ Total Suspended Particulates (TSP) aus den Ofenlinien

Tabelle 3-1: Gesamtübersichtstabelle - Emissionen und Produktionsmittel der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 2013 bis 2018

3.1 Produktionsstatistik

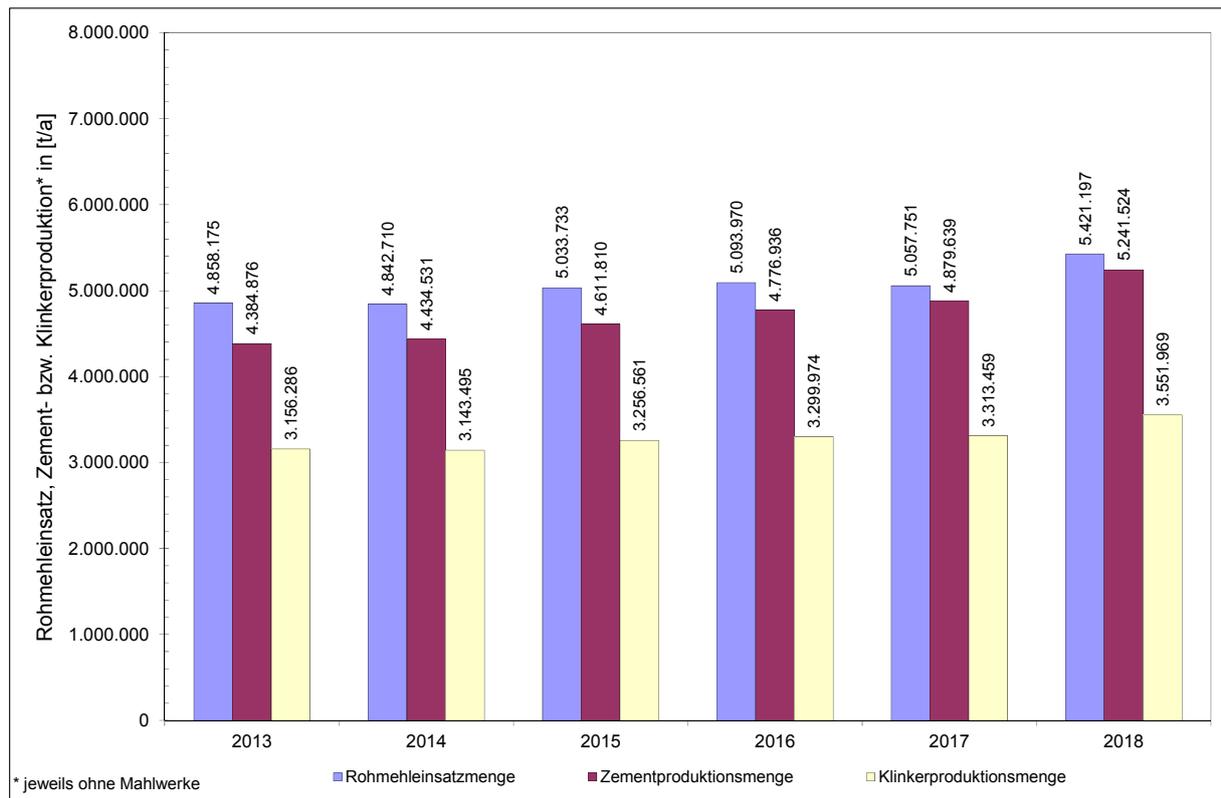


Abbildung 3-1: Rohmehleinsatzmenge, Klinkerproduktionsmenge und Zementproduktionsmenge der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018 (ohne Mahlwerke)

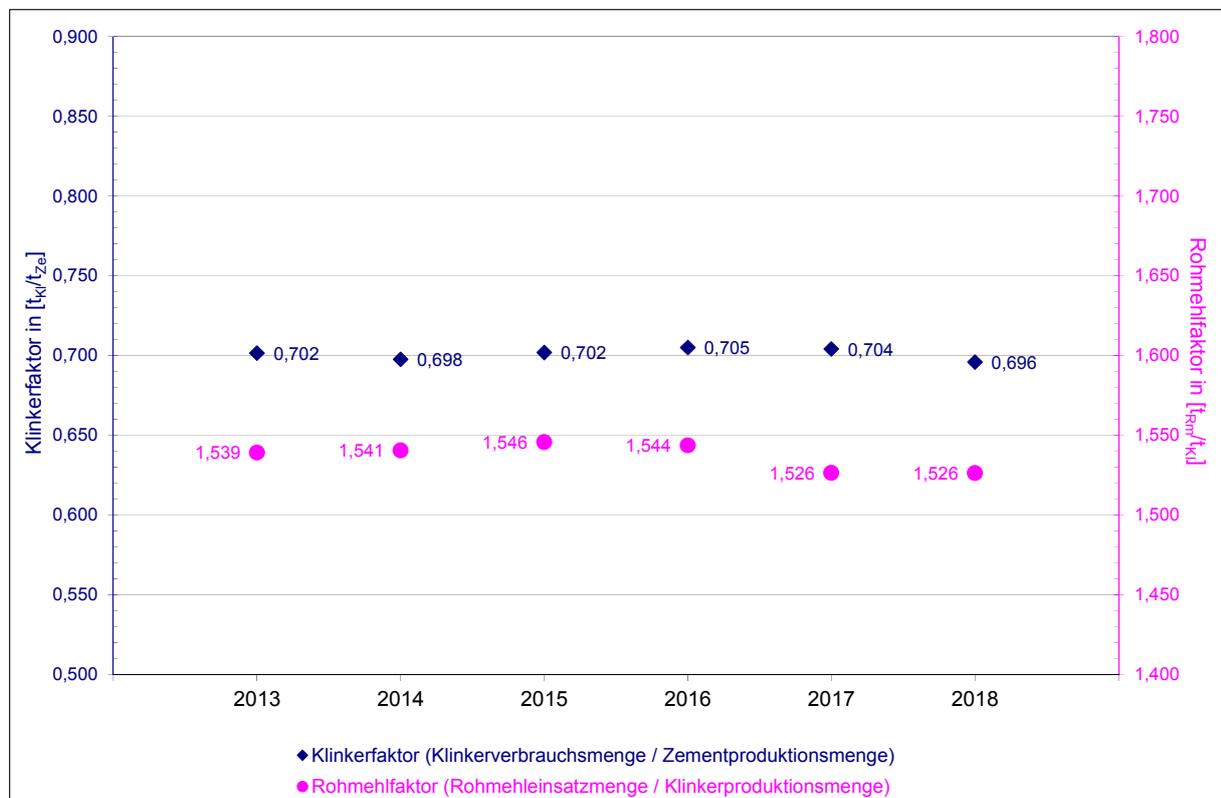


Abbildung 3-2: Klinkerfaktor und Rohmehlfaktor im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018

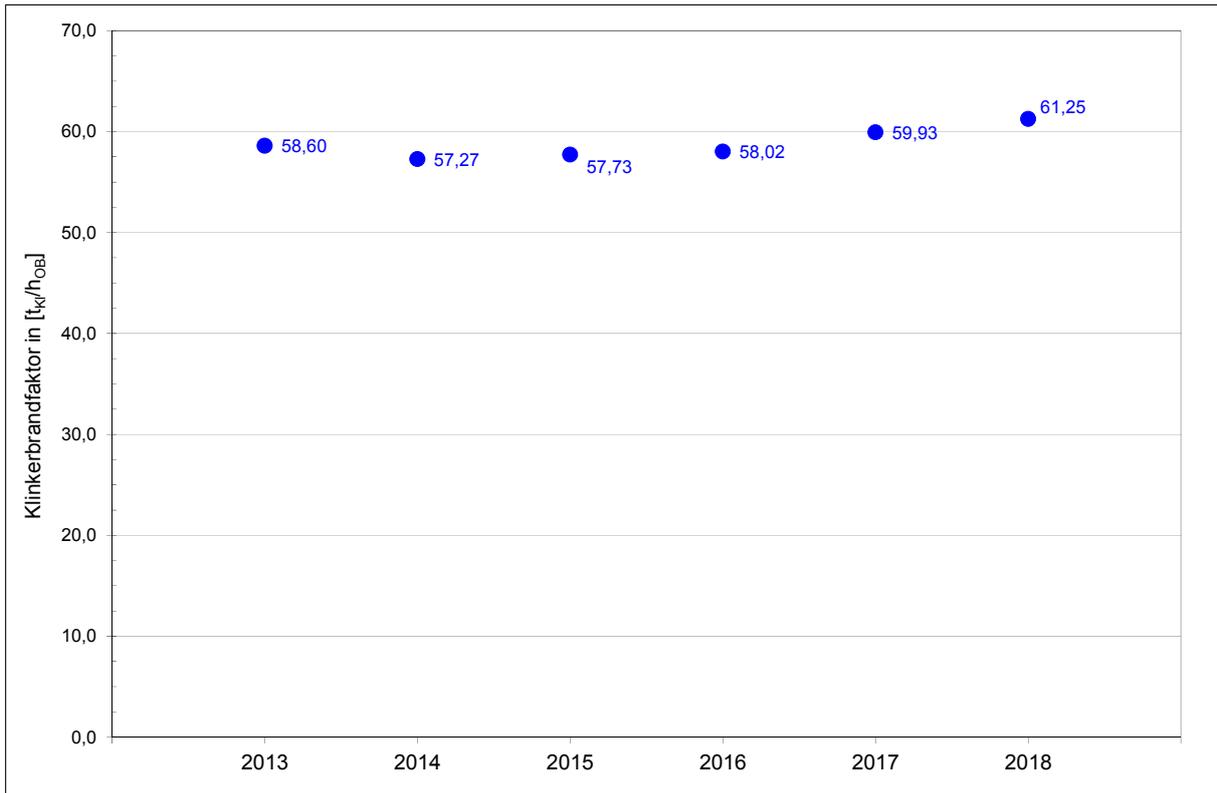


Abbildung 3-3: Entwicklung des Klinkerbrandfaktors / [t_{kl}/h_{OB}] in den Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018

3.2 Brennstoffstatistik

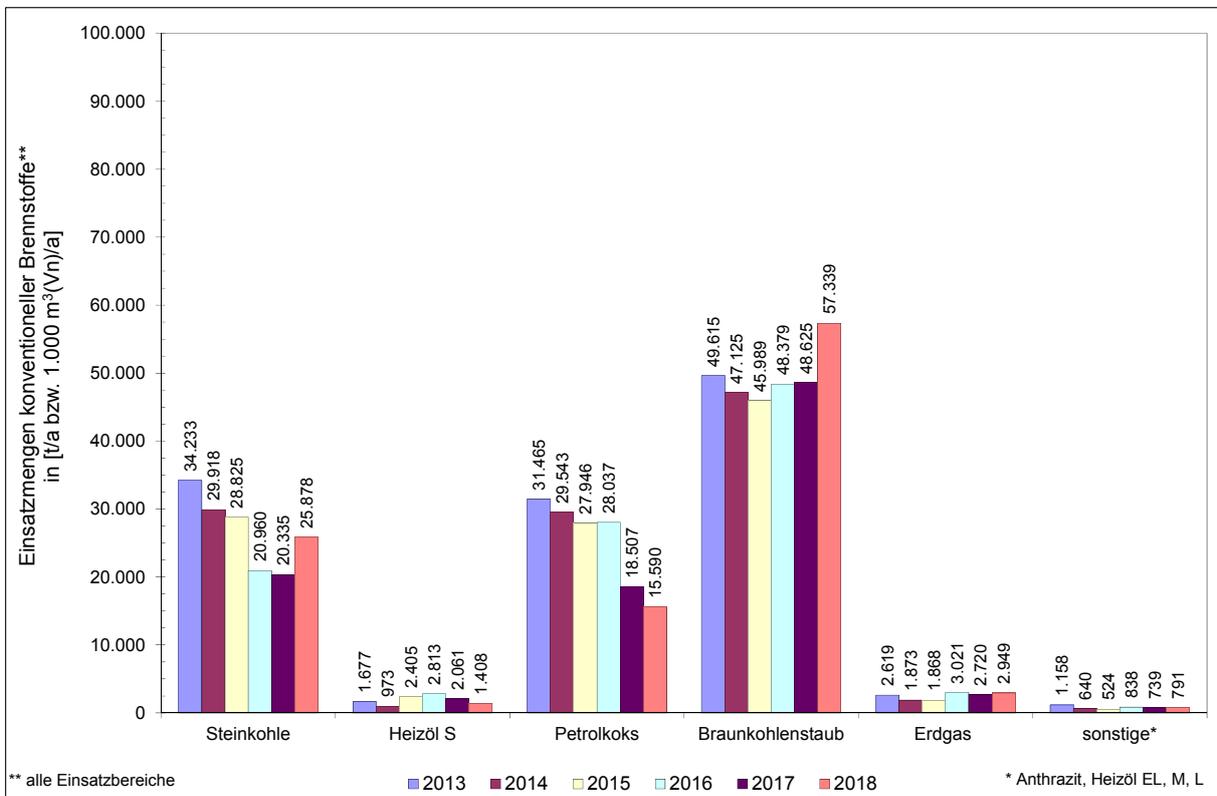


Abbildung 3-4: Einsatzmengen konventioneller Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018

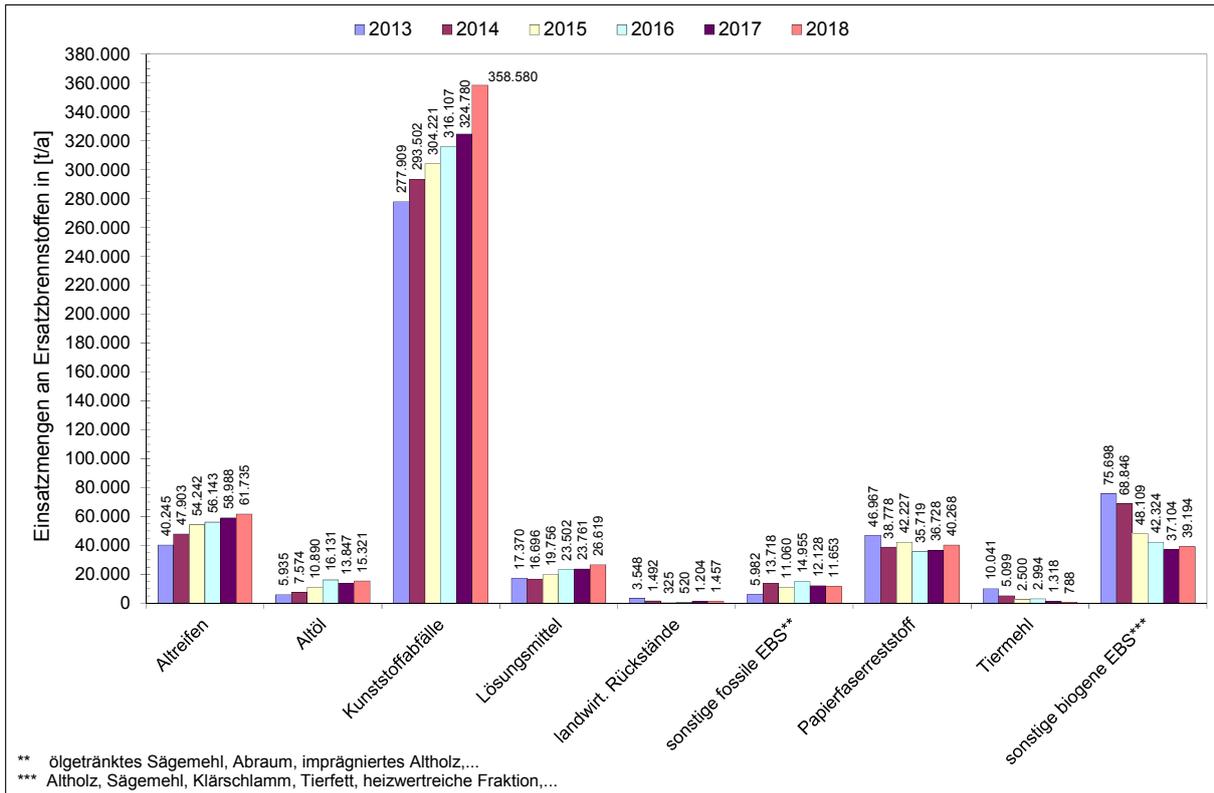


Abbildung 3-5: Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018

3.3 Energiestatistik

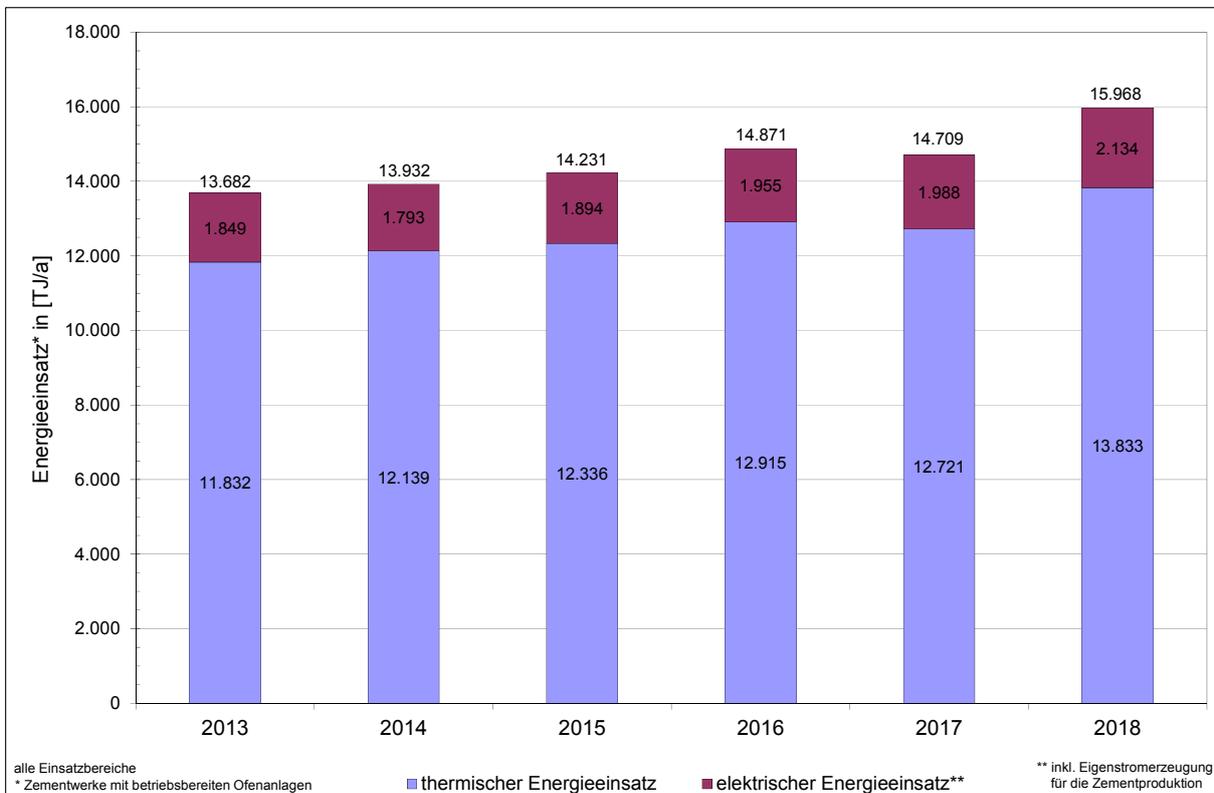


Abbildung 3-6: Entwicklung des thermischen und elektrischen Energieeinsatzes in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018

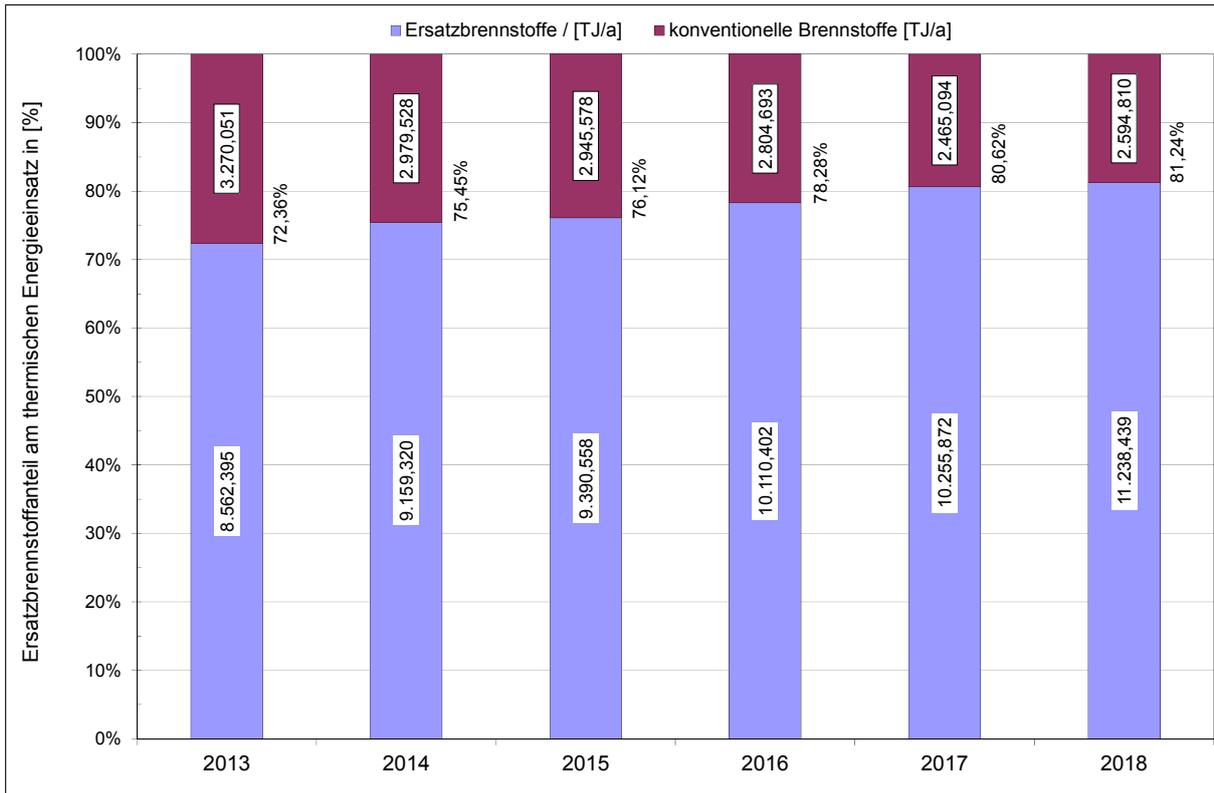


Abbildung 3-7: Ersatzbrennstoffenergieanteil am thermischen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018

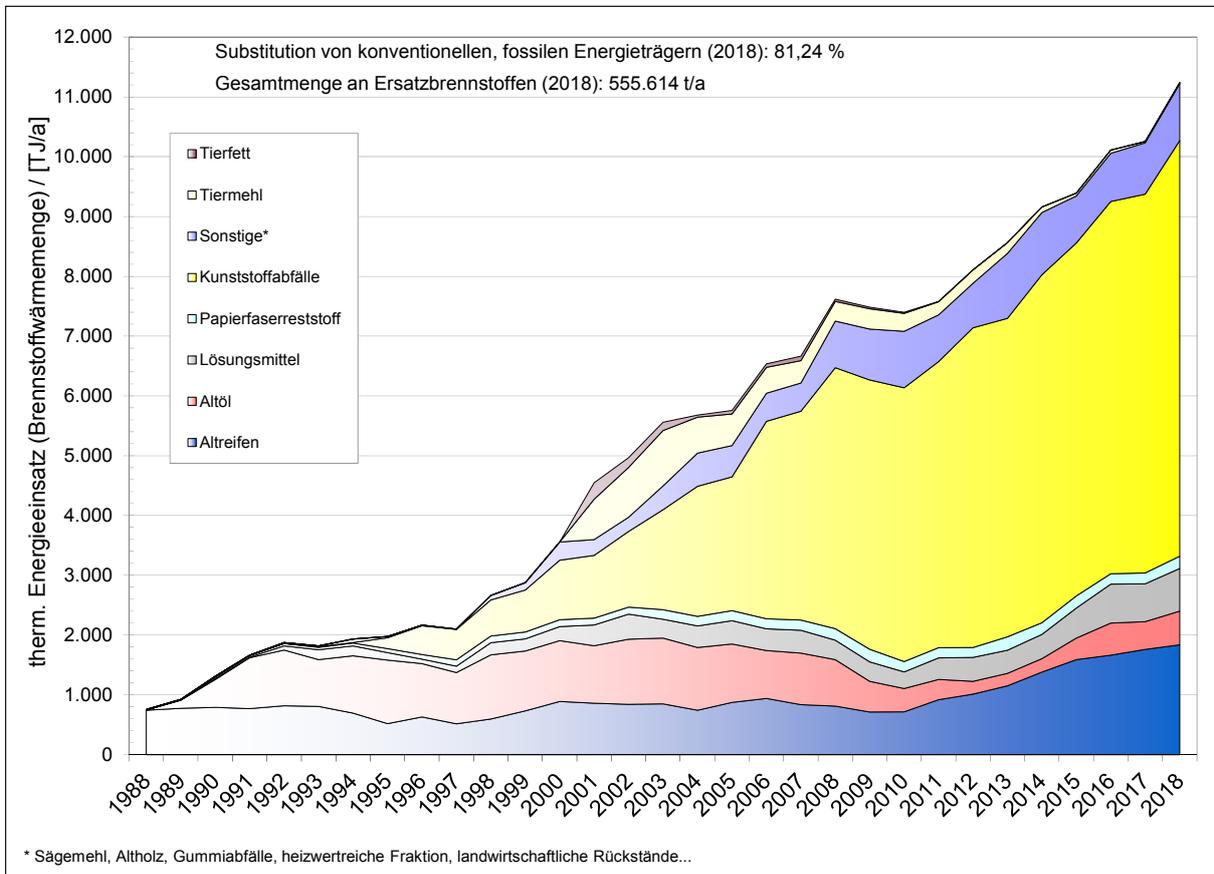


Abbildung 3-8: Brennstoffwärmemengen aus der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 1988 bis 2018

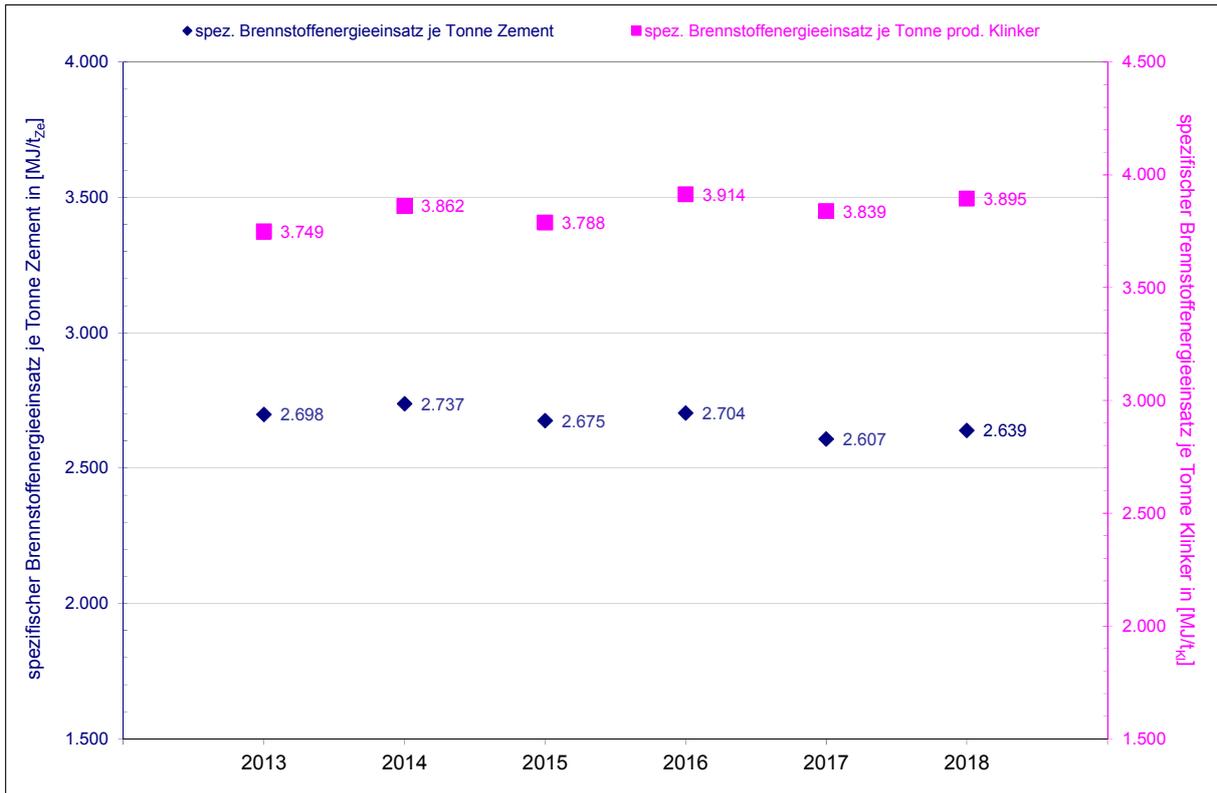


Abbildung 3-9: auf die Tonne Zement bzw. auf die Tonne Klinker bezogener spezifischer Brennstoffenergieeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018

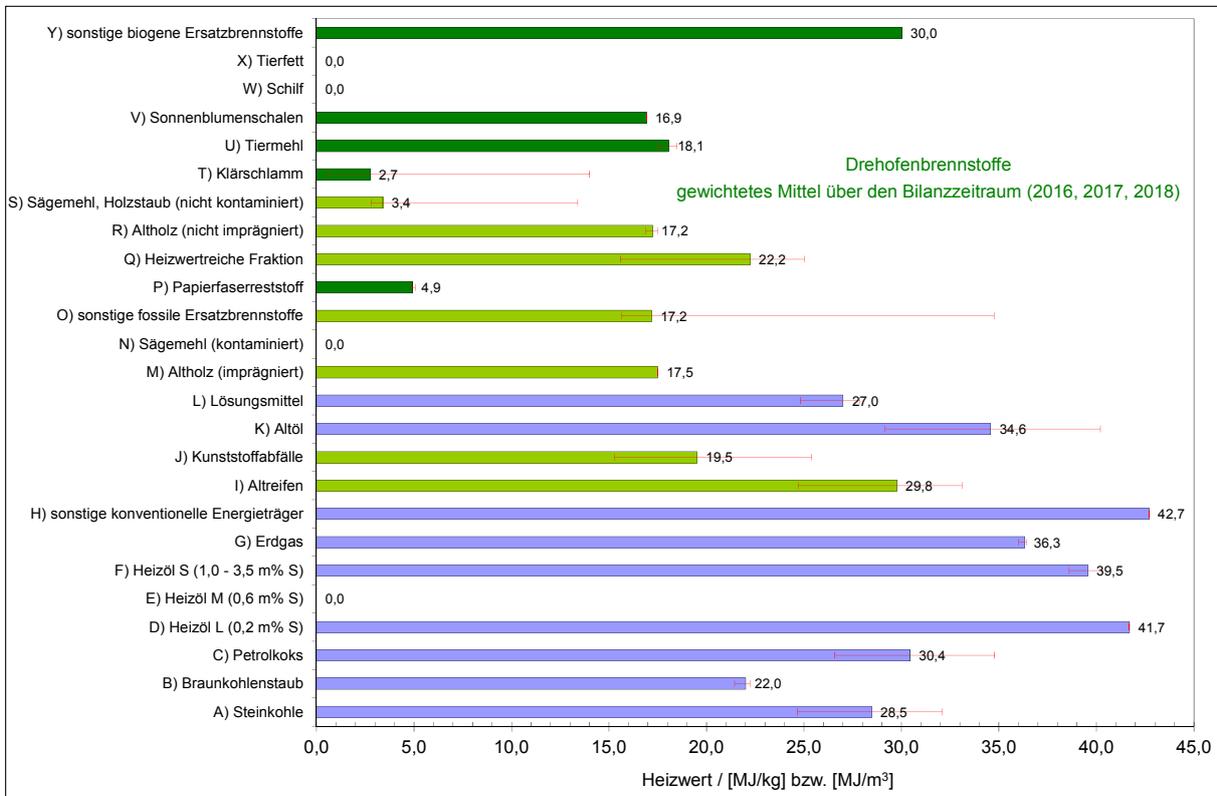


Abbildung 3-10: über den Bilanzzeitraum 2016, 2017 und 2018 mengengewichtete Mittelwerte von Heizwerten unterschiedlicher Drehofenbrennstoffe (im Einsatzzustand) mit werkspezifischen Minimal- und Maximalwerten

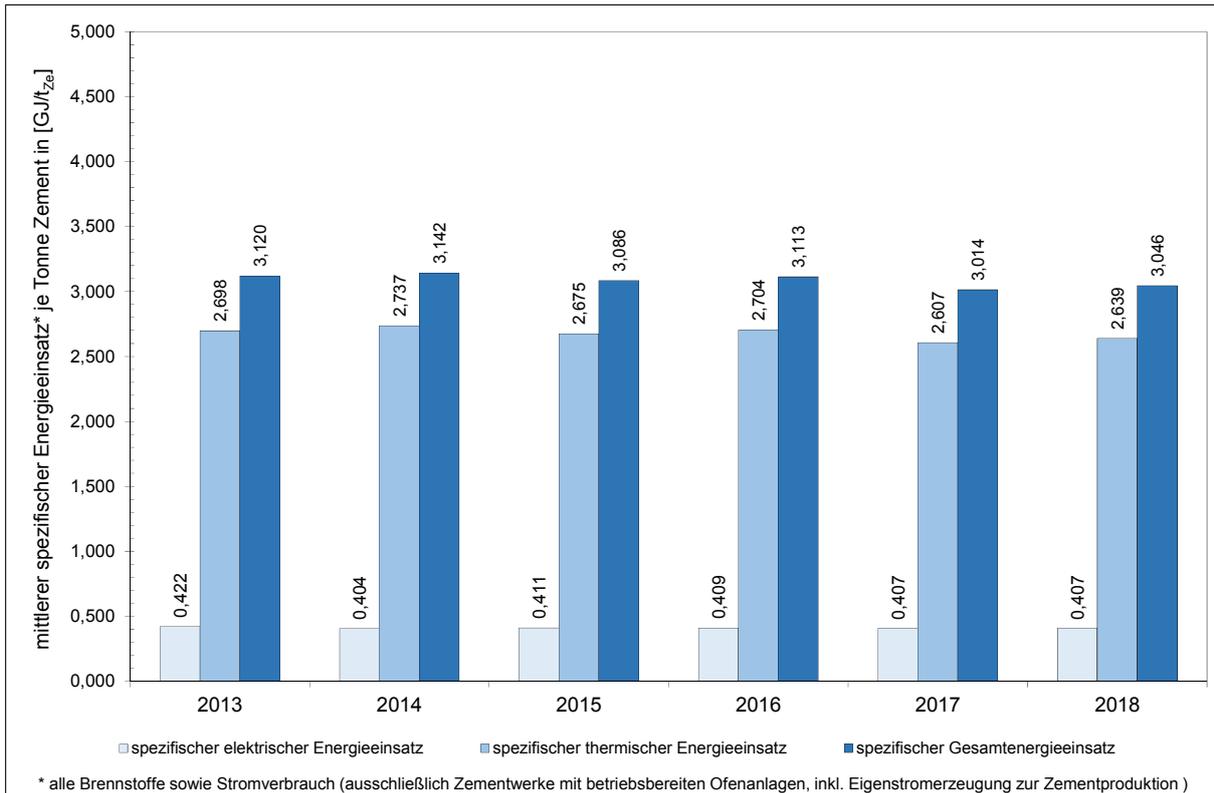


Abbildung 3-11: mittlerer spezifischer Energieeinsatz je Tonne Zement in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 2013 bis 2018

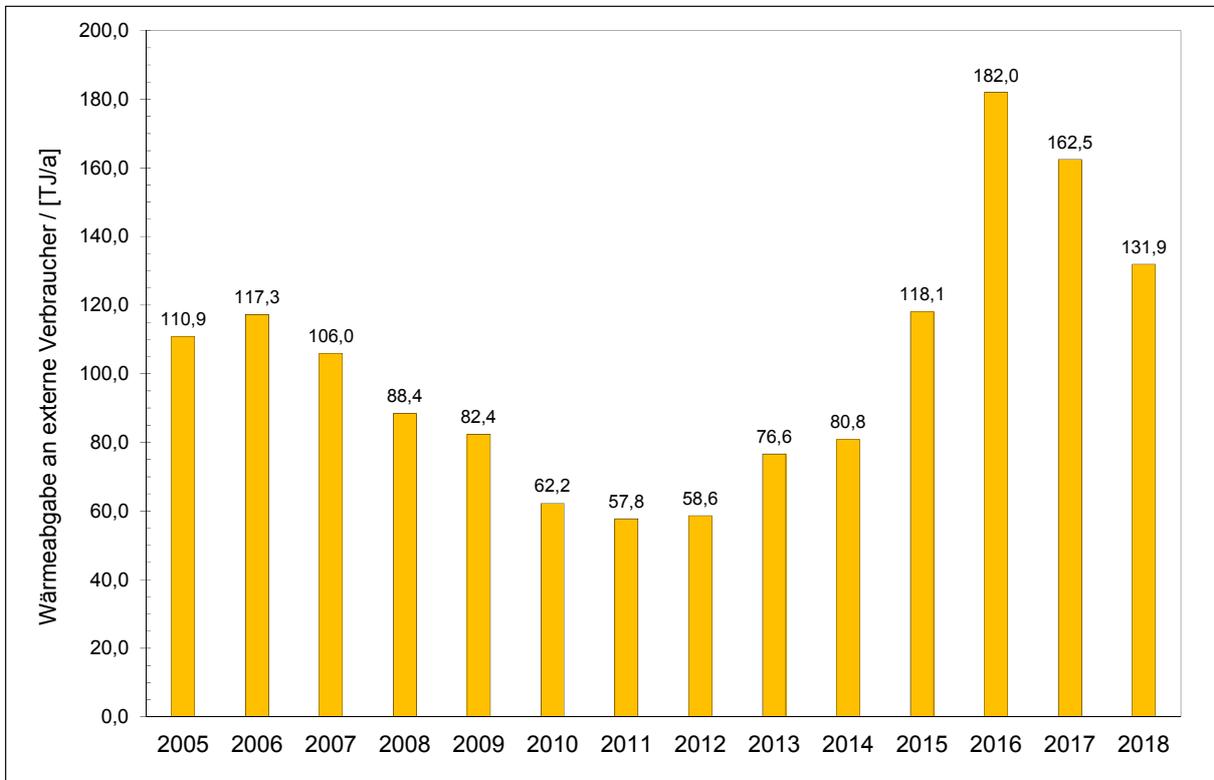


Abbildung 3-12: Wärmeabgabe an externe Verbraucher aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2005 bis 2018

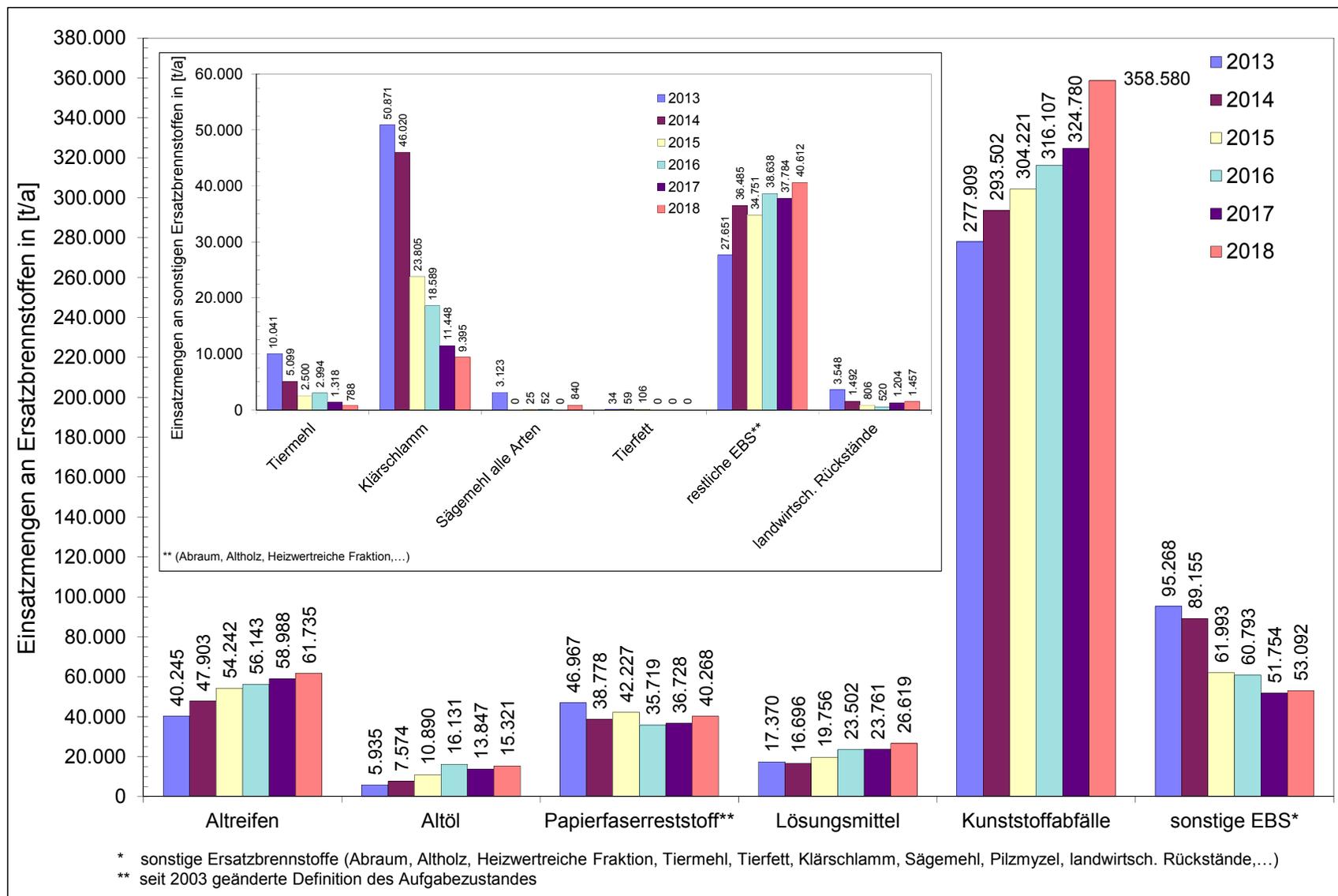


Abbildung 3-13: Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 2013 bis 2018

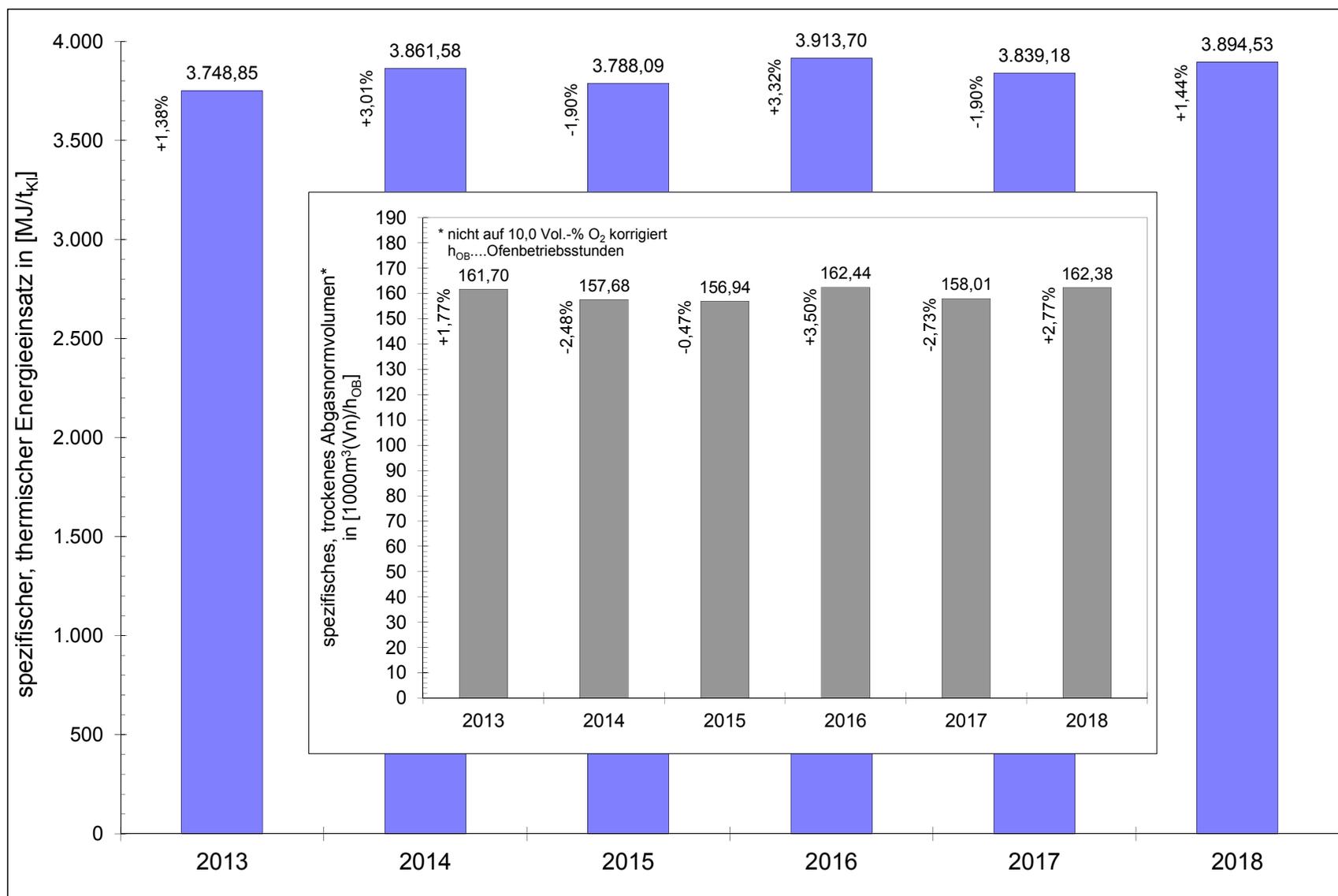


Abbildung 3-14: Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes (exklusive elektrischer Energieeinsatz) und Darstellung des spezifischen, trockenen Gesamtgasnormvolumens (nicht auf 10,0 Vol.-% O₂ bezogen) in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkerherzeugung jeweils für den Zeitraum 2013 bis 2018

3.4 Rohstoff- und Zumahlstoffstatistik

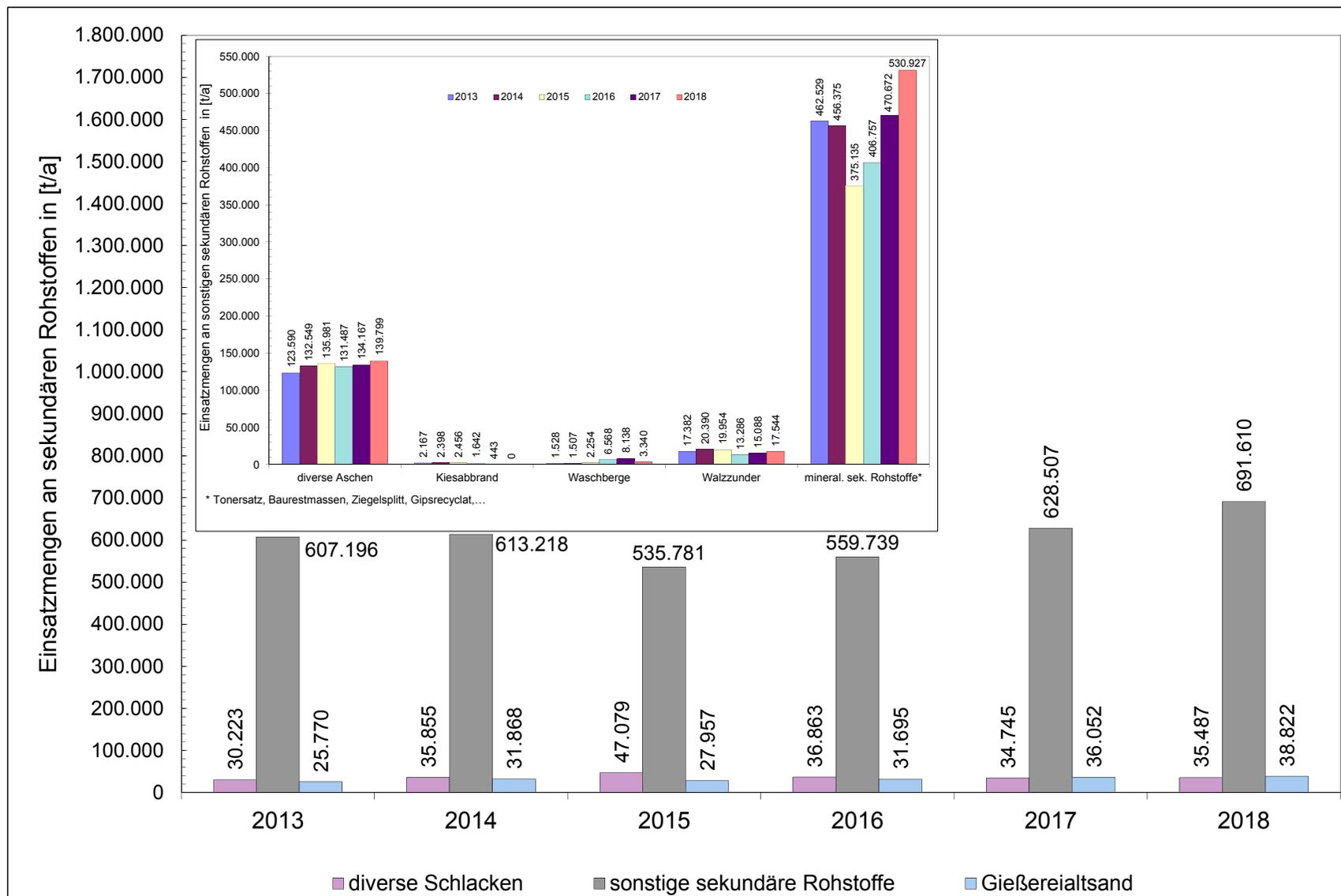


Abbildung 3-15: Einsatzmengen sekundärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 2013 bis 2018

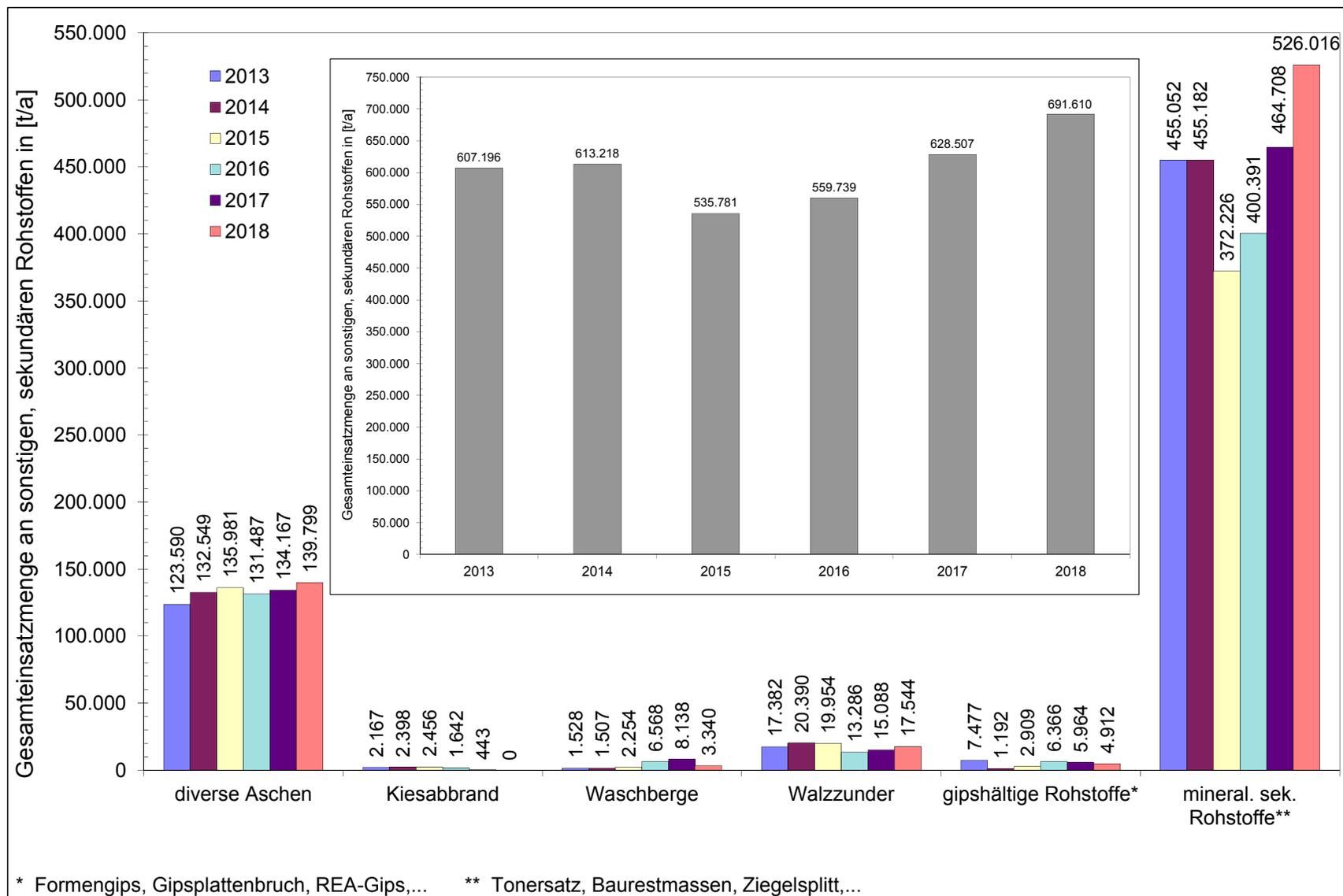


Abbildung 3-16: Spezifizierung der im Zeitraum von 2013 bis 2018 in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) verwendeten sonstigen sekundären Rohstoffmassenströme

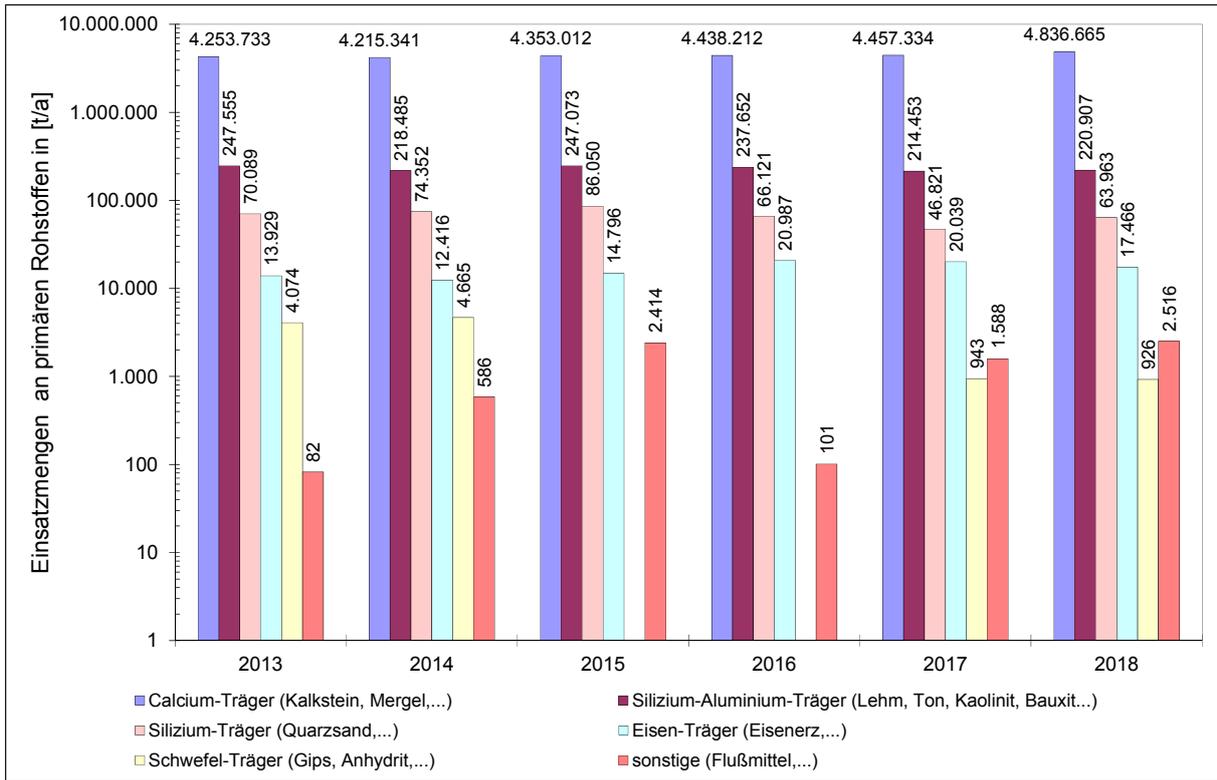


Abbildung 3-17: Einsatzmengen primärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Zeitraum von 2013 bis 2018 (ohne Mahlwerke)

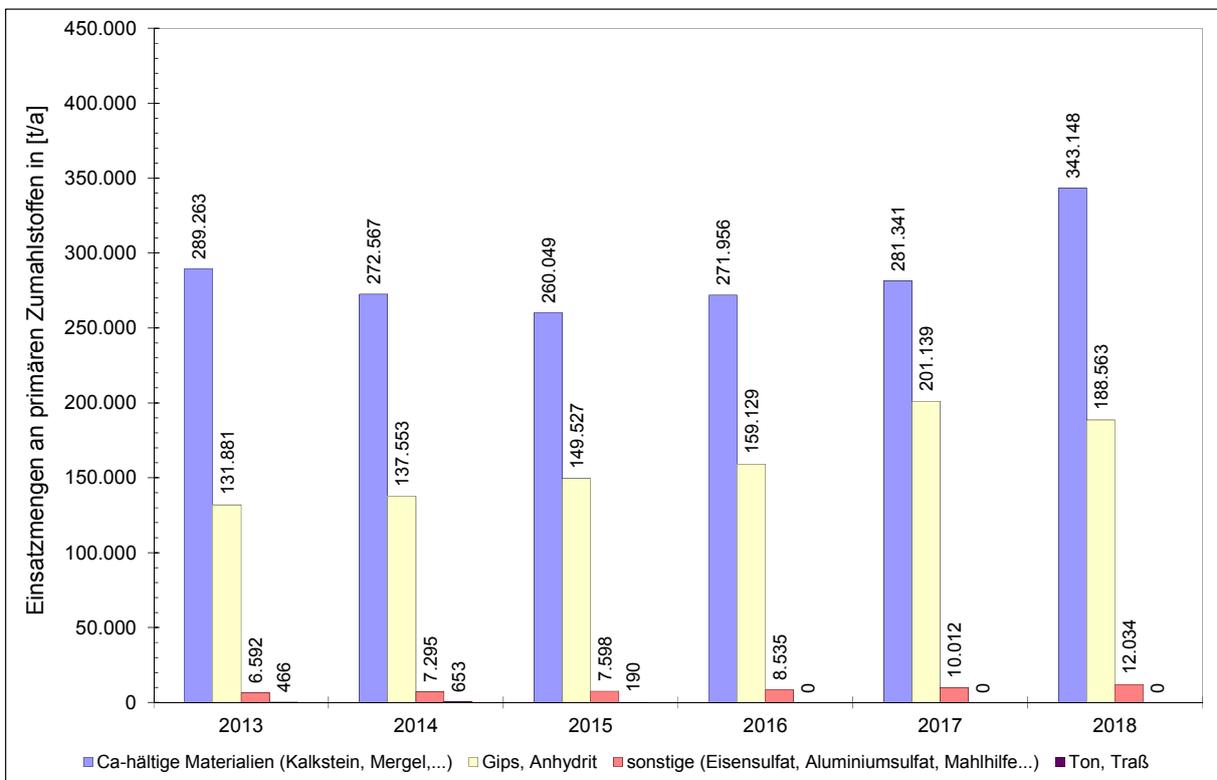


Abbildung 3-18: Einsatzmengen primärer Zusatzstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 2013 bis 2018 (ohne Mahlwerke)

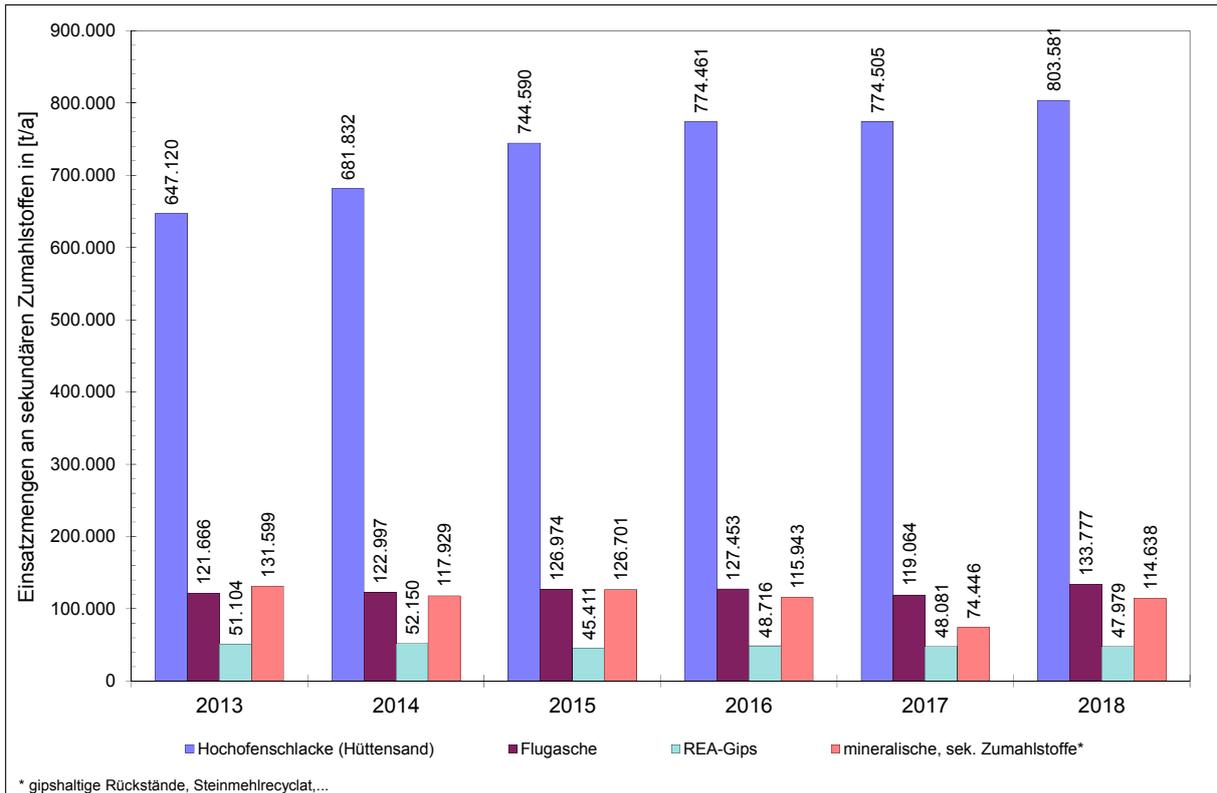


Abbildung 3-19: Einsatzmengen sek. Zumahlstoffe in der österreichischen Zementindustrie (2013 - 2018, ohne Mahlwerke)

3.5 Emissionsstatistik

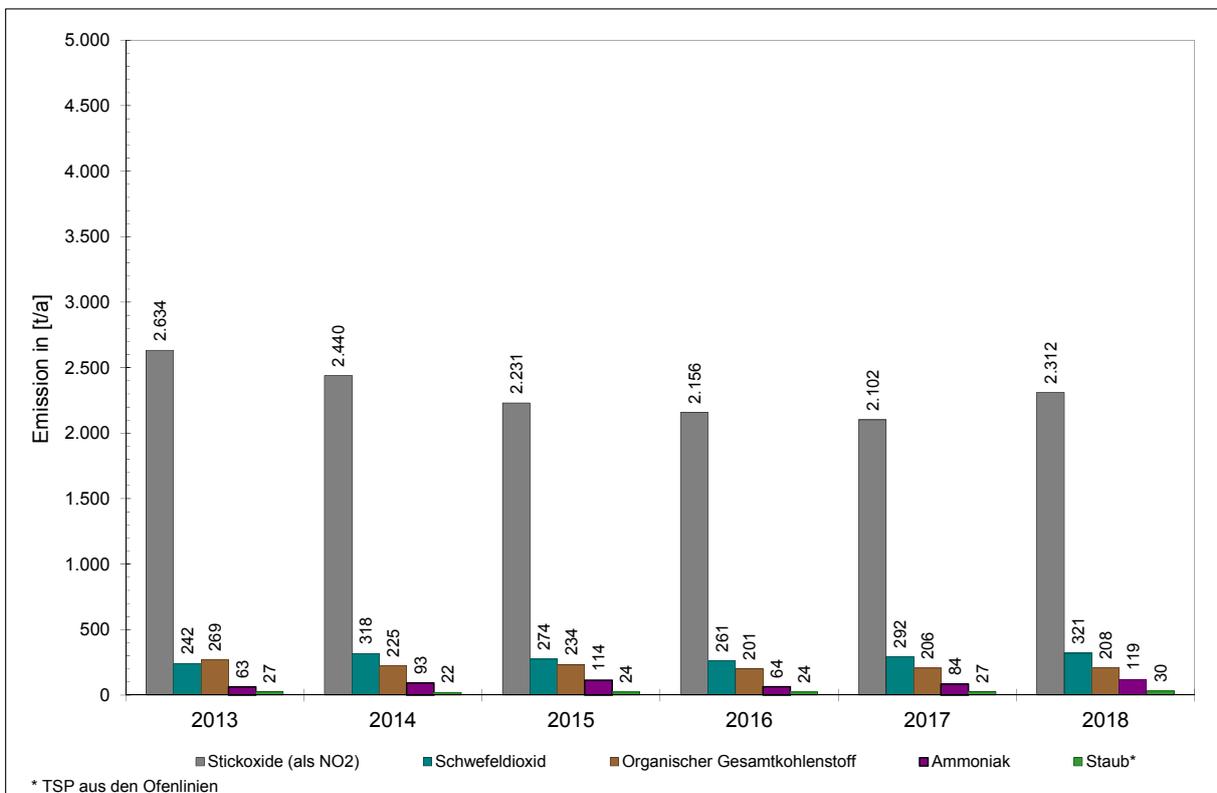


Abbildung 3-20: jährliche Emissionen an Stickstoffoxiden (als NO₂), an Schwefeldioxid, an organischem Gesamtkohlenstoff, an Ammoniak und an Staub (TSP aus Ofenlinien) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 2013 bis 2018

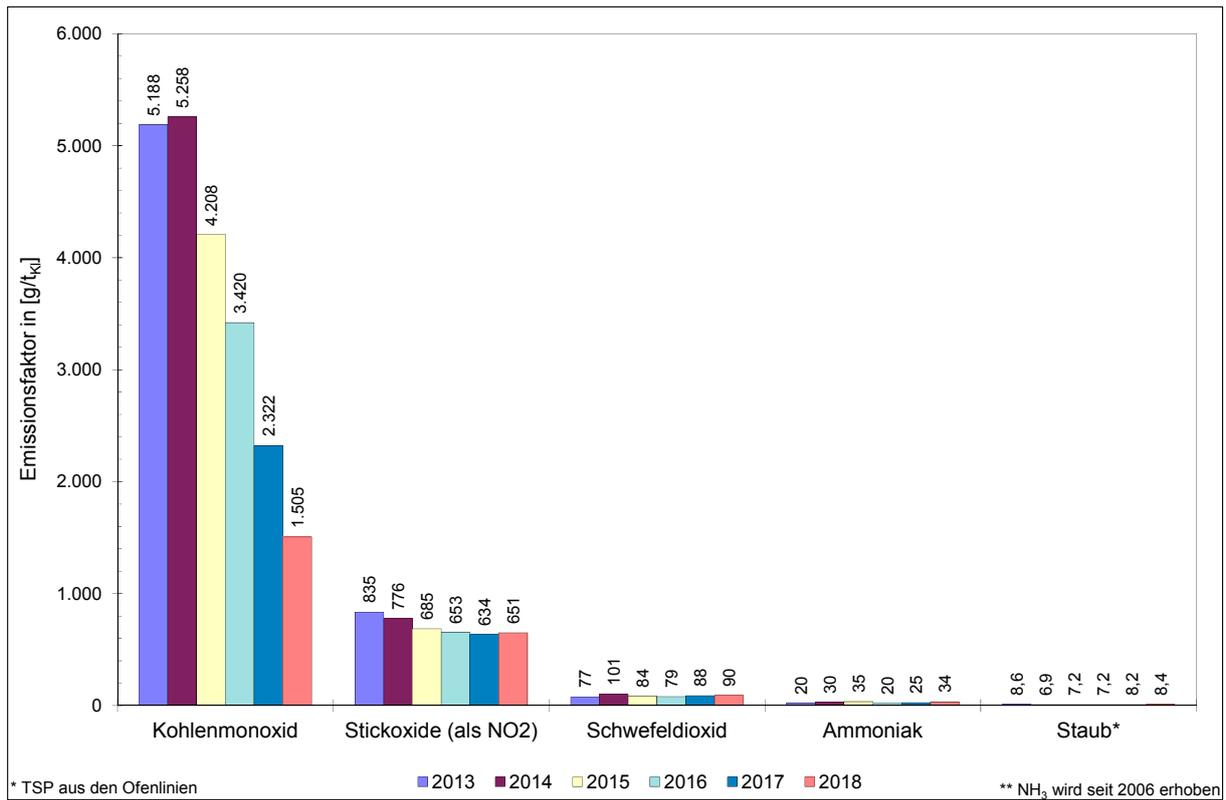


Abbildung 3-21: zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenstoffmonoxid, für Stickstoffoxide (als NO₂), für Schwefeldioxid, für Ammoniak und für Staub (TSP aus Ofenlinien), jeweils bezogen auf 1 t Klinker (2013 - 2018, ohne Mahlwerke)

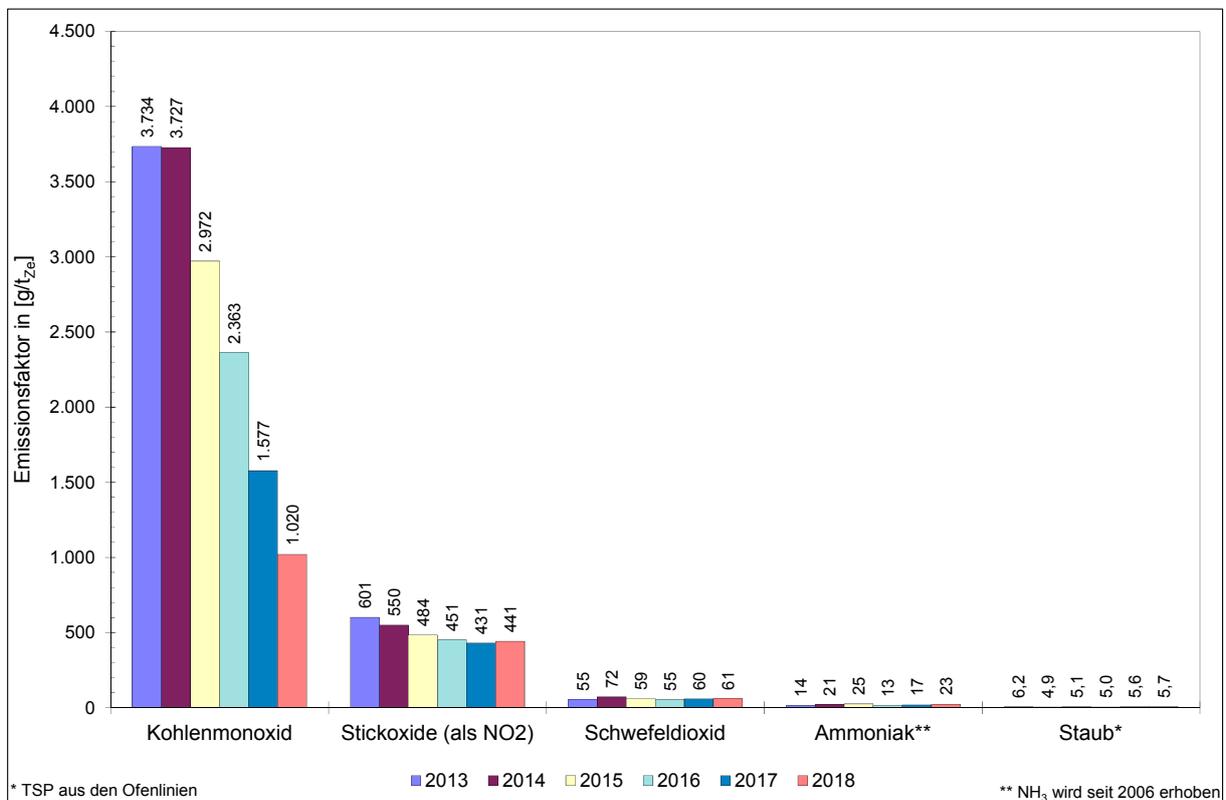


Abbildung 3-22: zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenstoffmonoxid, für Stickstoffoxide (als NO₂), für Schwefeldioxid, für Ammoniak und für Staub (TSP aus Ofenlinien), jeweils bezogen auf 1 t Zement (2013 - 2018, ohne Mahlwerke)

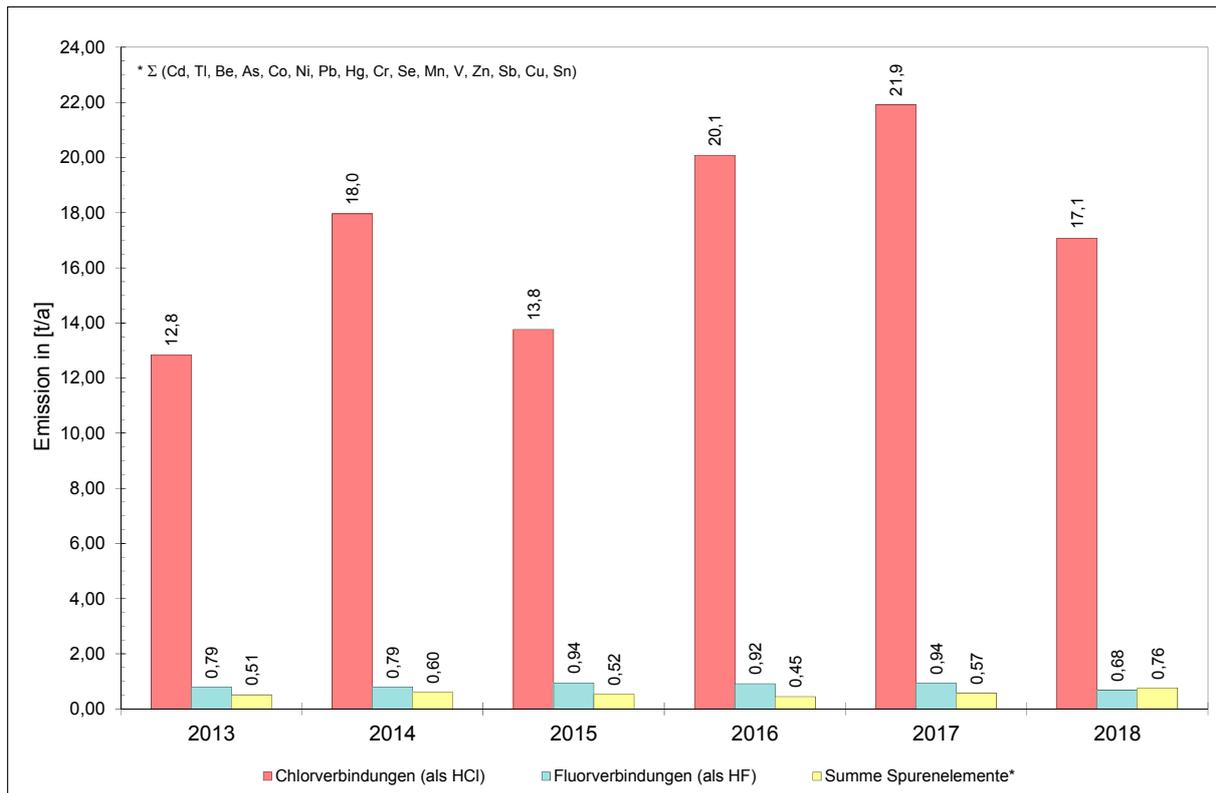


Abbildung 3-23: zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an chlor- und fluorhaltigen Verbindungen (ausgewiesen als HCl bzw. HF) sowie der jährlichen Gesamtemissionen an Spurenelementen jeweils für den Zeitraum 2013 bis 2018 (ohne Mahlwerke)

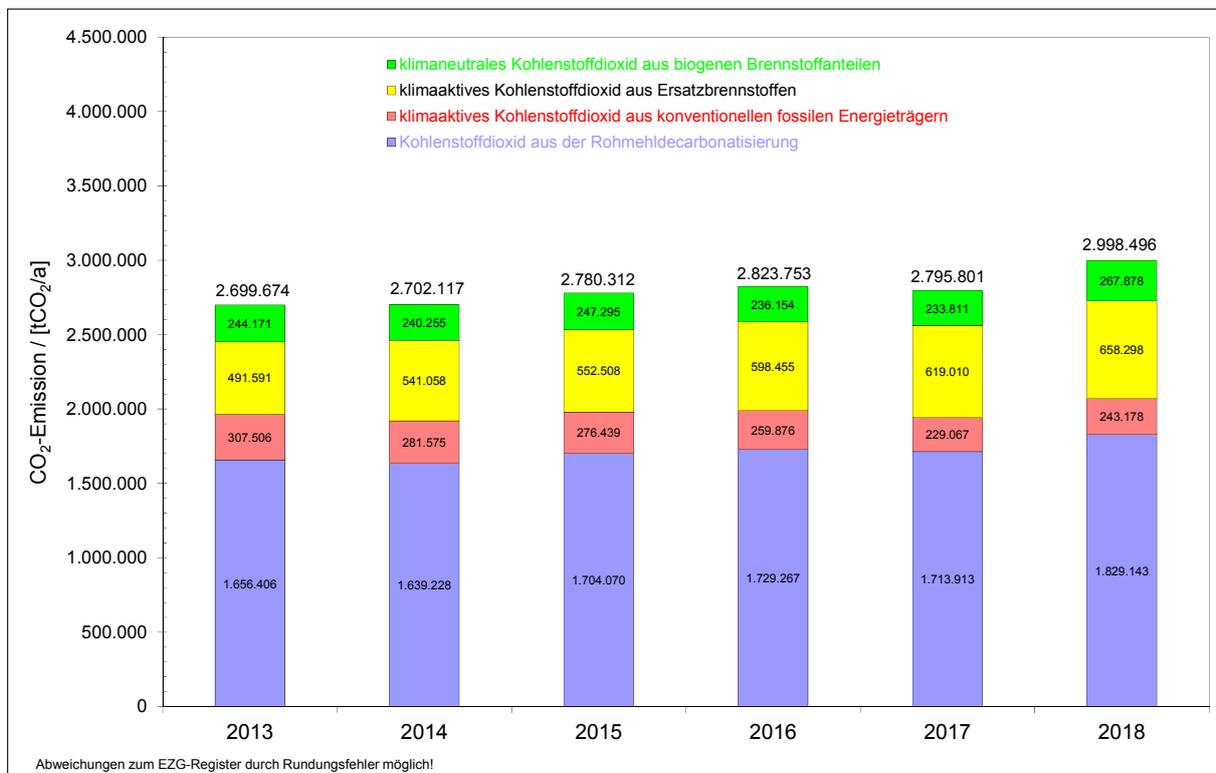


Abbildung 3-24: zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an Kohlenstoffdioxid aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018 (nach EZG)

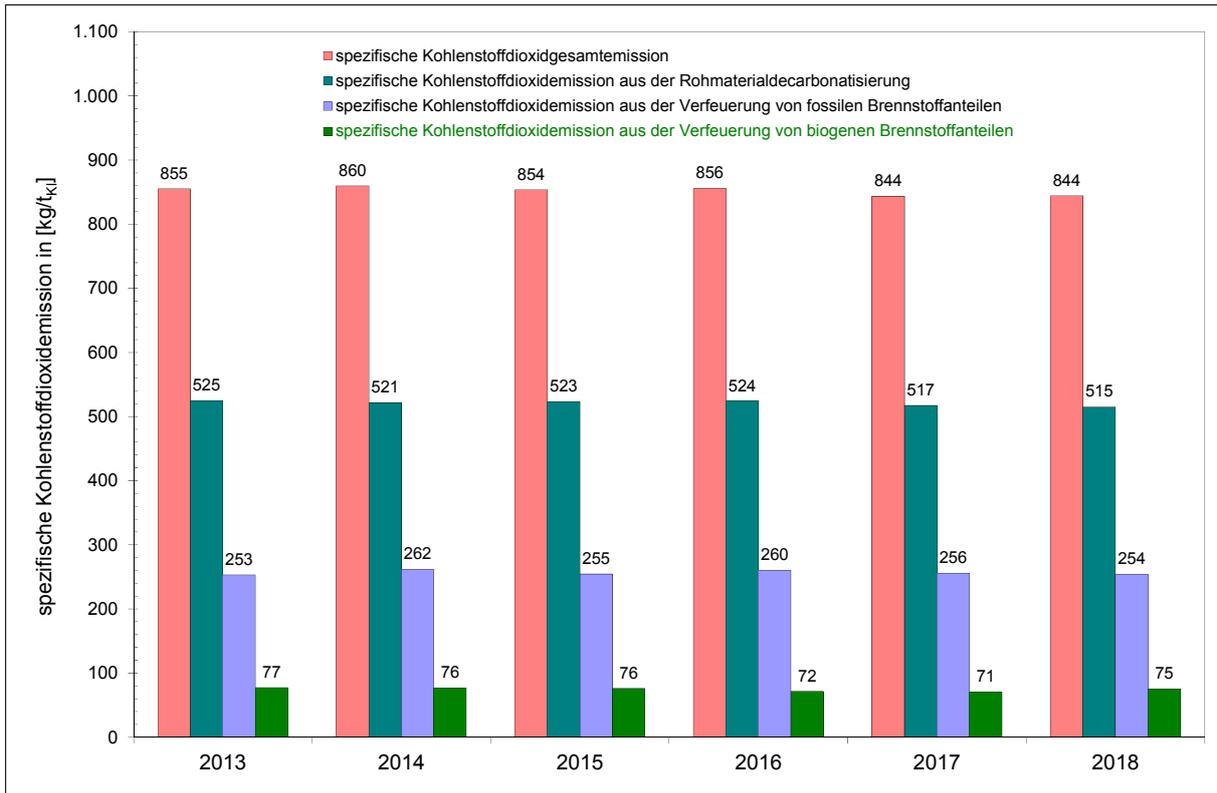


Abbildung 3-25: auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische CO₂-Emissionen (mit biogenen CO₂-Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018 (nach EZG)

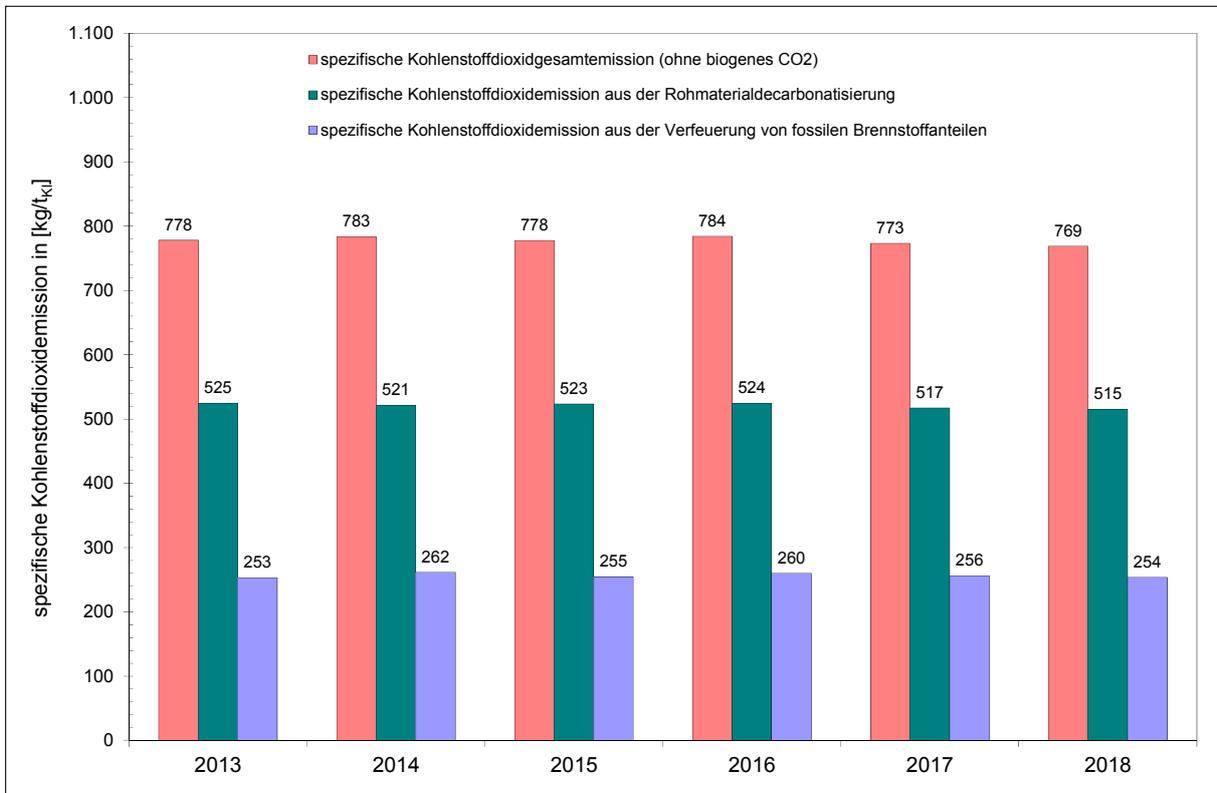


Abbildung 3-26: auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische CO₂-Emissionen (ohne biogene CO₂-Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018 (nach EZG)

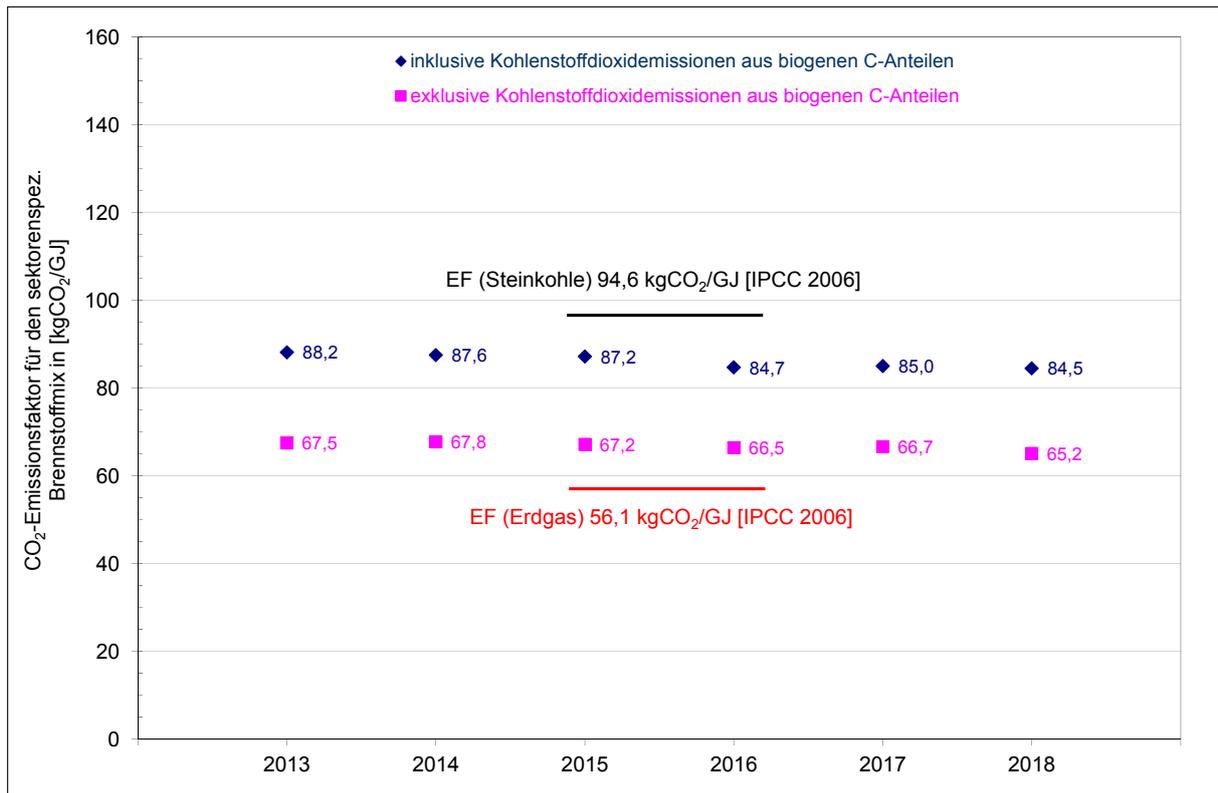


Abbildung 3-27: auf GJ Brennstoffwärmemenge bezogene, relative CO₂-Emissionen (Emissionsfaktor EF) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018 (nach EZG)

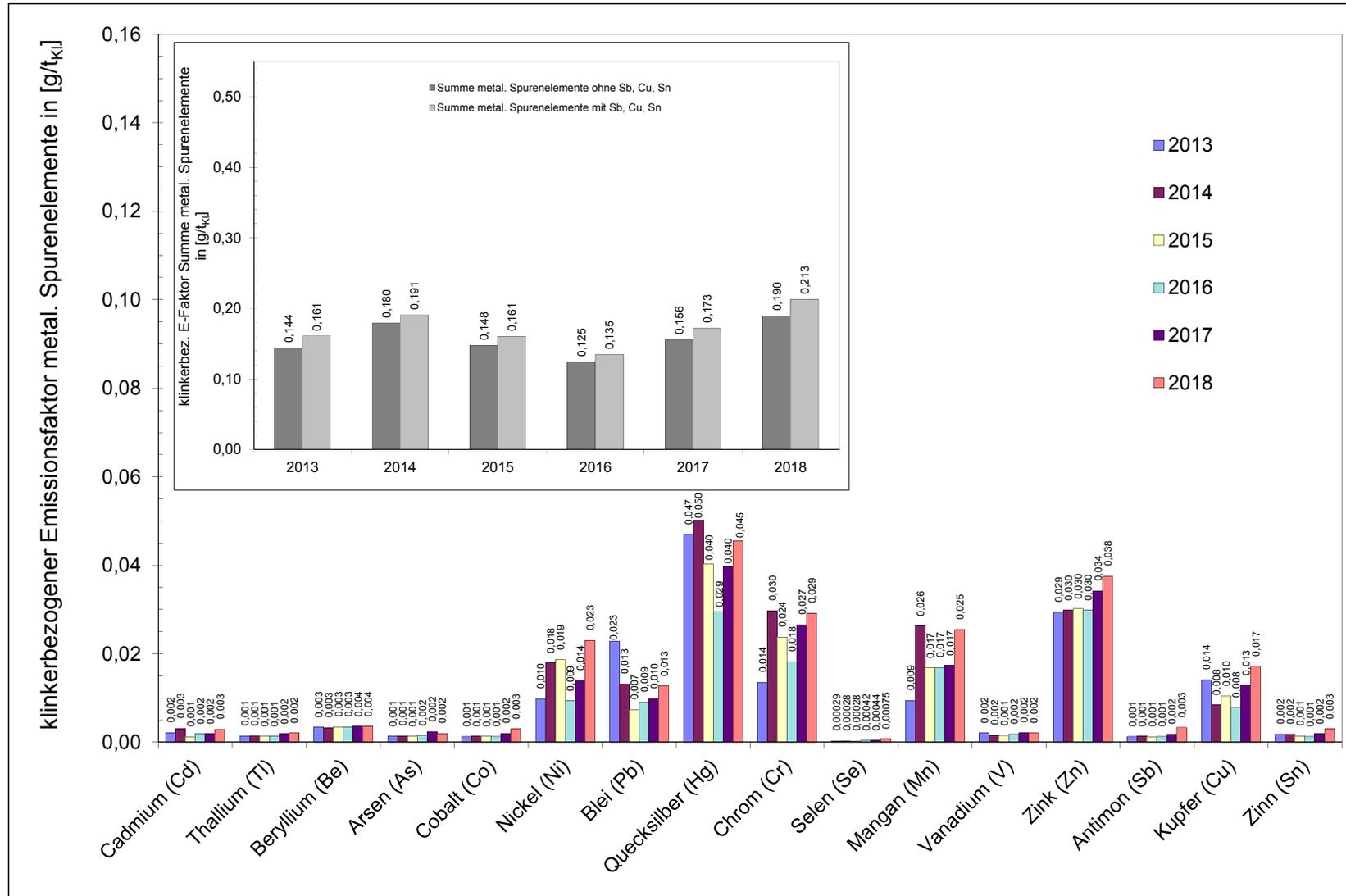


Abbildung 3-28: klinkerbezogene Emissionsfaktoren diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 2013 bis 2018

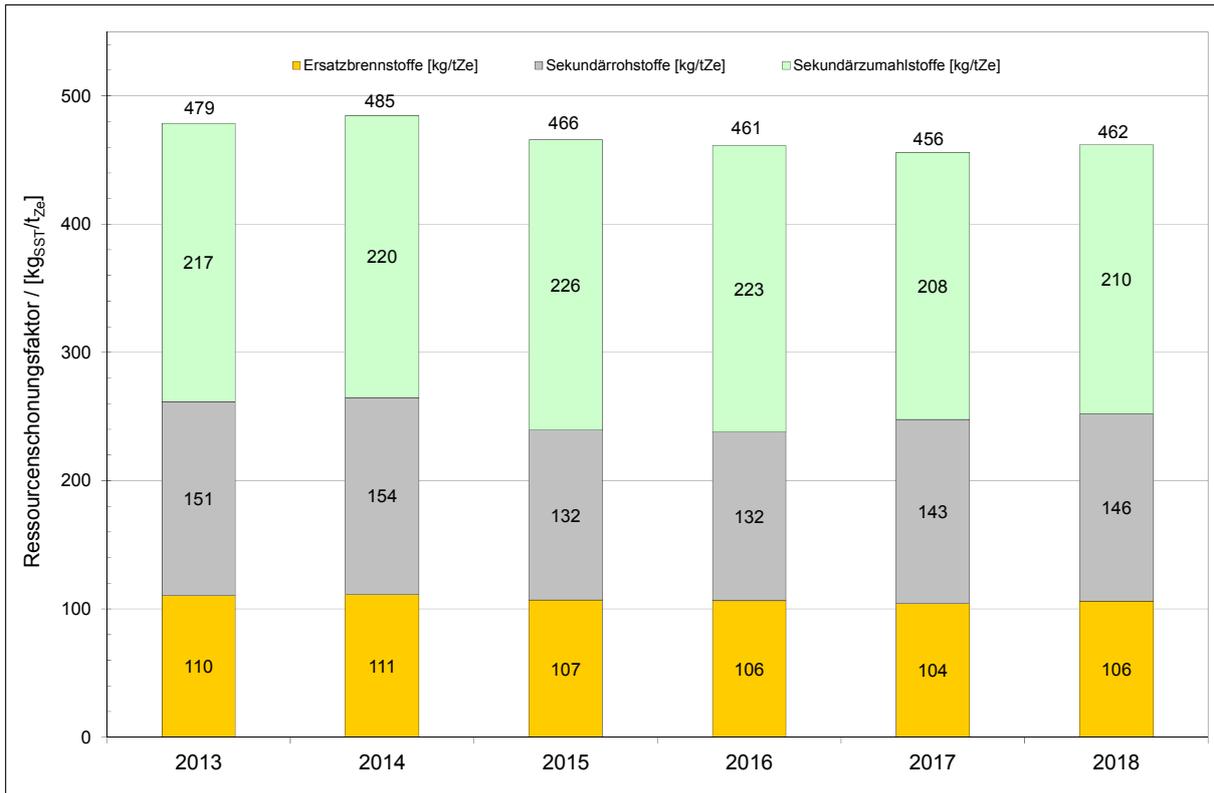


Abbildung 3-29: Ressourcenschonungsfaktor für Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Vergleichszeitraum 2013 bis 2018

(Der Ressourcenschonungsfaktor verdeutlicht jene Menge an Ersatzbrennstoffen, Sekundärrohstoffen und Sekundärzumahlstoffen, die bei der Erzeugung einer Tonne Zement verwendet werden.)

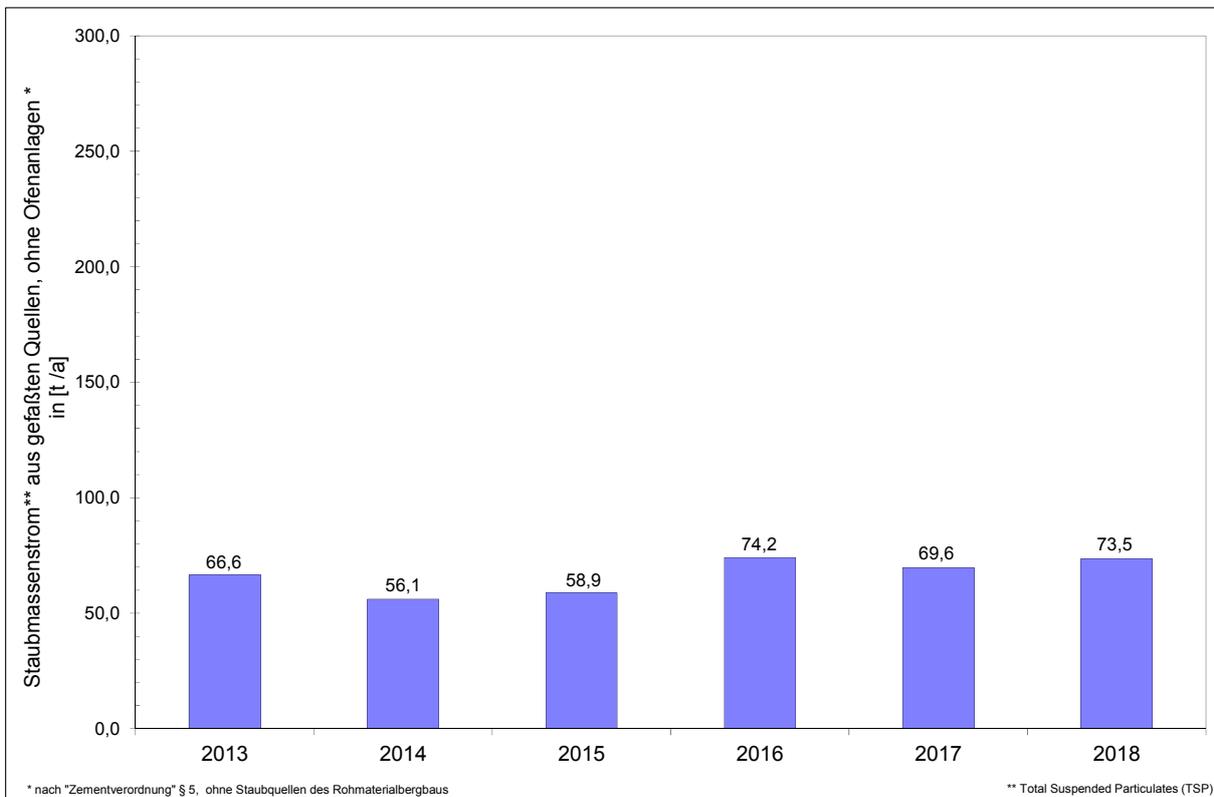


Abbildung 3-30: Staubmassenstrom (TSP) aus "gefaßten Quellen, ausgen. Ofenanlagen" nach "Zementverordnung" § 5 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018

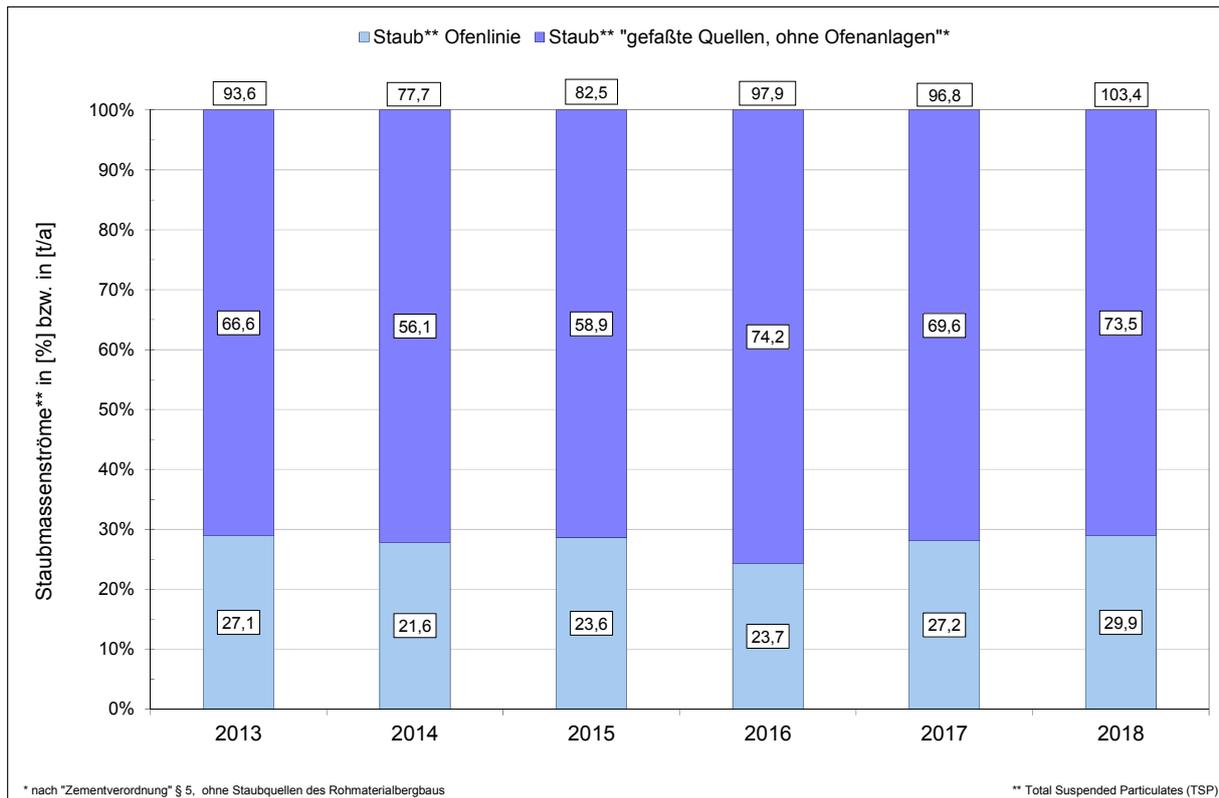


Abbildung 3-31: staubförmige Emissionen unter Berücksichtigung von Staubemissionen aus "gefaßten Quellen, ausgenommen Ofenanlagen" nach "Zementverordnung" § 5 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018

4 Kurzkomentar zu den Ergebnissen

4.1 Anlage- und Produktionsdaten

Kennzahl	2017		2018	
		[%]		[%]
installierte Klinkerkapazität [t/a]	5.298.900		5.318.900	0,38
		100,00		
Rohmehleinsatz [t/a]	5.057.751		5.421.197	7,19
		100,00		
Klinkerproduktion [t/a]	3.313.459		3.551.969	7,20
		100,00		
Zementproduktion [t/a]	4.879.639		5.241.524	7,42
		100,00		
Ofenbetriebsstunden ^{a)} [h _{OB} /a]	55.290,0		57.988,5	
^{a)} alle Drehrohfenbetriebszustände		100,00		4,88
Rohmehlfaktor [t _{RM} /t _{Kl}]	1,526		1,526	
		100,00		-0,01
Klinkerfaktor ^{b)} [t _{Kl} /t _{Ze}]	0,704		0,696	
^{b)} = Klinkerverbrauch/Zementproduktion		100,00		-1,17
spezifischer thermischer Energieeinsatz [GJ/t _{Kl}]	3,839		3,895	
		100,00		1,44
spezifischer elektrischer Energieeinsatz [kWh/t _{Ze}]	113,155		113,107	
		100,00		-0,04
Klinkerbrandfaktor [t _{Kl} /h _{OB}]	59,929		61,253	
		100,00		2,21
Abgasfaktor ^{c)} [m ³ (Vn)/h _{OB}]	158.009		162.381	
^{c)} nicht auf 10 Vol.-% O ₂ bezogen		100,00		2,77
spezifische Abgasmenge ^{d)} [m ³ (Vn)/t _{Kl}]	2.637		2.651	
^{d)} nicht auf 10 Vol.-% O ₂ bezogen		100,00		0,55
Anteil Ersatzbrennstoffe am thermischen Gesamtenergieeinsatz [%]	80,62		81,24	
		100,00		0,77
Ressourcenschonungsfaktor ^{e)} [kg/t _{Ze}]	456,0		462,0	
^{e)} Ersatzstoffmenge bei der Produktion 1 t Zement		100,00		1,31

Tabelle 4-1: Produktionsdaten für Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Jahresvergleich 2018 mit 2017

Im Jahresvergleich 2018 mit 2017 erhöhte sich die installierte Klinkerkapazität in Anlagen der österreichischen Zementindustrie um ca. 0,38 % auf ca. 5,3189 Millionen Jahrestonnen (Tabelle 4-1).

Die Klinkerproduktionsmenge erhöhte sich im Jahr 2018 gegenüber 2017 um ca. 7,2 % auf ca. 3,55 Millionen Jahrestonnen.

Die Zementproduktionsmenge erhöhte sich im Jahr 2018 gegenüber 2017 um ca. 7,4 % auf ca. 5,24 Millionen Jahrestonnen.

Der Klinkerfaktor verringerte sich im Jahresvergleich 2018 mit 2017 um ca. 1,2 % von 0,704 auf 0,696 t_{Kl}/t_{Ze}.

Die Anzahl an Ofenbetriebsstunden erhöhte sich im Jahresvergleich 2018 mit 2017 um ca. 4,9 % auf 57.988,5 Stunden.

Der Klinkerbrandfaktor verbesserte sich von ca. 59,9 t_{Kl}/h_{OB} im Jahr 2017 um ca. 2,2 % auf ca. 61,3 t_{Kl}/h_{OB} im Jahr 2018.

Für die Produktion einer Tonne Klinker wurde im Jahr 2018 mit ca. 3,9 GJ um ca. 1,4 % mehr thermische Energie (Brennstoffwärmeverbrauch) eingesetzt als im Jahr 2017.

Für die Produktion einer Tonne Zement wurde im Jahr 2018 mit ca. 113,1 kWh nahezu gleich viel elektrische Energie verbraucht als im Jahr 2017.

Die auf die Tonne produzierten Klinker bezogene spezifische Abgasmenge erhöhte sich 2018 gegenüber 2017 um ca. 0,6 % auf ca. 2.651 m³(Vn).

Der Anteil an Brennstoffwärmemenge erzeugt aus Ersatzbrennstoffen am Gesamtwärmebedarf, erhöhte sich von ca. 80,62 % im Jahr 2017 auf ca. 81,24 % im Jahr 2018. Dies entspricht einem Anstieg um ca. 0,8 %.

Im Jahresvergleich 2018 mit 2017 erhöhte sich die Einsatzmengen an Ersatzstoffen (i.e. Ersatzbrennstoffe, Sekundärrohstoffe, Sekundärzumahlstoffe), die für die Produktion einer Tonne Zement verwendet wurden (Ressourcenschonungsfaktor), um ca. 1,3 % auf ca. 462,0 kg.

Im Jahr 2018 wurden aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie ca. 131,9 TJ Wärmeenergie an externe Verbraucher ausgekoppelt (Abbildung 3-12, Seite 12). Dies entspricht ca. 1 % des jährlichen Gesamtwärmebedarfs von ca. 13.833 TJ (Tabelle 3-1, Seite 6).

4.2 Emissionen

4.2.1 Schadstoffe

Emissionsfaktor	2017		2018	
	[g/t _{kl}]	[%]	[g/t _{kl}]	[%]
Staub (TSP aus den Ofenlinien)	8,20		8,42	
		100,00		2,67
Stickstoffoxide (als NO ₂)	634,46		651,02	
		100,00		2,61
Schwefeldioxid (SO ₂)	88,19		90,24	
		100,00		2,32
Summe metallische Spurenelemente Σ(Cd, Tl, Be, As, Co, Ni, Pb, Hg, Cr, Se, Mn, V, Zn, Sb, Cu, Sn)	0,172559		0,213230	
		100,00		23,57
chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	6,614		4,807	
		100,00		-27,31
fluorhaltige Verbindungen (als HF)	0,283		0,191	
		100,00		-32,60
organischer Gesamtkohlenstoff (TOC)	62,115		58,469	
		100,00		-5,87
Kohlenstoffmonoxid (CO)	2.322,4		1.505,3	
		100,00		-35,18
Kohlenstoffdioxid (CO ₂) (inklusive klimaneutrales CO ₂)	843.771		844.179	
		100,00		0,05

Tabelle 4-2: Emissionsänderungen bei ausgewählten Schadstoffen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Bilanzjahr 2018 bezogen auf 2017

Im Jahresvergleich 2018 mit 2017 sanken die klinkerbezogenen spezifischen Emissionsfaktoren [g/t_{kl}] für Kohlenstoffmonoxid, fluor- und chlorhaltige Verbindungen sowie für organischen Gesamtkohlenstoff. Hingegen verzeichneten die klinkerbezogenen spezifischen Emissionsfaktoren [g/t_{kl}] für Summe metallischer Spurenelemente, ofengängigen Staub, Stickstoffoxide und Schwefeldioxid Zuwächse (Tabelle 4-2). Der klinkerbezogene spezifische Emissionsfaktor für Kohlenstoffdioxid hat nahezu keine Veränderung erfahren.

4.2.2 Metallische Spurenelemente

Es konnten im Jahresvergleich 2018 mit 2017 bei dreizehn metallischen Spurenelementen (Sb, Se, Ni, Sn, Cd, Co, Mn, Cu, Pb, Hg, Tl, Zn, Cr) Erhöhungen bei den klinkerbezogenen Emissionsfaktoren [g/t_{kl}] verzeichnet werden. Bei drei metallischen Spurenelementen (As, V, Be) zeigten sich niedrigere Werte (Tabelle 4-3).

Insgesamt erhöhte sich der klinkerbezogene Emissionsfaktor [g/t_{kl}] für Summe metallische Spurenelemente (Cd, Tl, Be, As, Co, Ni, Pb, Hg, Cr, Se, Mn, V, Zn, Sb, Cu, Sn) im Jahresvergleich um ca. 23,6 % auf ca. 0,2132 g/t_{kl} (Tabelle 4-3).

Der klinkerbezogene Emissionsfaktor [g/t_{kl}] für die Summe der ausgewählten metallischen Spurenelemente Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V und Sn erhöhte sich im Jahresvergleich um ca. 33 % auf ca. 0,1209 g/t_{kl} (Tabelle 4-3).

Der klinkerbezogene Emissionsfaktor [g/t_{kl}] für die Summe der beiden metallischen Spurenelemente Cd und Tl erhöhte sich im Jahresvergleich um ca. 33,2 % auf ca. 0,0051 g/t_{kl} (Tabelle 4-3).

metallische Spurenelement	2016 Emissionsfaktor [g/t _{kl}]	2017 Emissionsfaktor [g/t _{kl}]	2018 Emissionsfaktor [g/t _{kl}]	2018/2017 Änderung [%]	2018/2016 Änderung [%]
Cadmium (Cd)	0,001920	0,001905	0,002919	53,21	52,01
Thallium (Tl)	0,001314	0,001884	0,002127	12,90	61,84
Beryllium (Be)	0,003447	0,003608	0,003565	-1,18	3,44
Arsen (As)	0,001571	0,002385	0,001974	-17,21	25,65
Cobalt (Co)	0,001277	0,001968	0,003005	52,72	135,35
Nickel (Ni)	0,009359	0,013963	0,022992	64,67	145,67
Blei (Pb)	0,009046	0,009817	0,012689	29,26	40,28
Quecksilber (Hg)	0,029444	0,039703	0,045489	14,57	54,49
Chrom (Cr)	0,018219	0,026527	0,029130	9,81	59,89
Selen (Se)	0,000424	0,000437	0,000746	70,80	75,84
Mangan (Mn)	0,016886	0,017365	0,025480	46,74	50,90
Vanadium (V)	0,001845	0,002228	0,002105	-5,50	14,11
Zink (Zn)	0,029841	0,034158	0,037529	9,87	25,76
Antimon (Sb)	0,001303	0,001819	0,003346	83,97	156,77
Kupfer (Cu)	0,007873	0,012904	0,017165	33,02	118,02
Zinn (Sn)	0,001288	0,001890	0,002967	57,00	130,40
<i>Summe o.g. metallische Spurenelemente</i>	<i>0,135058</i>	<i>0,172559</i>	<i>0,213230</i>	<i>23,57</i>	<i>57,88</i>
<i>Σ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn)</i>	<i>0,068667</i>	<i>0,090865</i>	<i>0,120854</i>	<i>33,01</i>	<i>76,00</i>
<i>Σ (Cd, Tl)</i>	<i>0,003234</i>	<i>0,003789</i>	<i>0,005046</i>	<i>33,17</i>	<i>56,01</i>

Tabelle 4-3: Emissionsfaktoren für metallische Spurenelemente und ihre prozentuelle Änderung in 2018 bezogen auf 2017

4.2.3 Emissionskonzentrationen ausgewählter Schadstoffe

Im Jahresvergleich 2018 mit 2017 verbesserte sich die auf 10,0 Vol.-% O₂ bezogene - als Jahresmittelwert ausgewiesene - Emissionskonzentration für organischen Gesamtkohlenstoff (TOC), während sich die Summenkonzentrationen für diverse metallische Spurenelemente, sowie die Emissionskonzentrationen für ofengängigen Staub, Stickstoffoxide (berechnet als NO₂) und Schwefeldioxid verschlechterten (Tabelle 4-4).

Emissionskonzentration (Jahresmittelwert, 10,0 Vol.-% O ₂)	2016	2017	2018	2018/2017	2018/2016
	[mg/m ³ (Vn)tr.]	[mg/m ³ (Vn)tr.]	[mg/m ³ (Vn)tr.]	Änderung [%]	Änderung [%]
Staub (TSP aus den Ofenlinien)	3,09	3,55	3,62	2,12	17,19
Stickstoffoxide (als NO ₂)	280,7	274,4	280,1	2,06	-0,21
Schwefeldioxid (SO ₂)	34,0	38,1	38,8	1,77	14,06
organischer Gesamtkohlenstoff (TOC)	26,1	26,9	25,2	-6,37	-3,76
Σ (Cd, Tl, Be, As, Co, Ni, Pb, Hg, Cr, Se, Mn, V, Zn, Sb, Cu, Sn)	0,058015	0,074643	0,091745	22,91	58,14
Σ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn)	0,029496	0,039305	0,051999	32,30	76,29
Σ (Cd, Tl)	0,001389	0,001639	0,002171	32,46	56,26

Tabelle 4-4: Emissionskonzentrationen ausgewählter Luftschadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie und ihre prozentuelle Änderung in 2018 bezogen auf 2017 (Jahresmittelwerte, 10,0 Vol.-% O₂)

5 Tabellenverzeichnis

1.)	Tabelle 2-1: erfaßte Schadstoffe	3
2.)	Tabelle 3-1: Gesamtübersichtstabelle - Emissionen und Produktionsmittel der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 2013 bis 2018.....	6
3.)	Tabelle 4-1: Produktionsdaten für Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Jahresvergleich 2018 mit 2017.....	26
4.)	Tabelle 4-2: Emissionsänderungen bei ausgewählten Schadstoffen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Bilanzjahr 2018 bezogen auf 2017	27
5.)	Tabelle 4-3: Emissionsfaktoren für metallische Spurenelemente und ihre prozentuelle Änderung in 2018 bezogen auf 2017	28
6.)	Tabelle 4-4: Emissionskonzentrationen ausgewählter Luftschadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie und ihre prozentuelle Änderung in 2018 bezogen auf 2017 (Jahresmittelwerte, 10,0 Vol.-% O ₂)	29

6 Abbildungsverzeichnis

1.)	Abbildung 2-1: Anlagenspiegel der österreichischen Zementwerke mit Ofenbetrieb (Stichtag: 31.12.2018)	4
2.)	Abbildung 3-1: Rohmehleinsatzmenge, Klinkerproduktionsmenge und Zementproduktionsmenge der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018 (ohne Mahlwerke)	7
3.)	Abbildung 3-2: Klinkerfaktor und Rohmehlfaktor im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018.....	7
4.)	Abbildung 3-3: Entwicklung des Klinkerbrandfaktors / $[t_{kl}/h_{OB}]$ in den Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018	8
5.)	Abbildung 3-4: Einsatzmengen konventioneller Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018	8
6.)	Abbildung 3-5: Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018	9
7.)	Abbildung 3-6: Entwicklung des thermischen und elektrischen Energieeinsatzes in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018	9
8.)	Abbildung 3-7: Ersatzbrennstoffenergieanteil am thermischen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018	10
9.)	Abbildung 3-8: Brennstoffwärmemengen aus der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 1988 bis 2018	10
10.)	Abbildung 3-9: auf die Tonne Zement bzw. auf die Tonne Klinker bezogener spezifischer Brennstoffenergieeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018	11
11.)	Abbildung 3-10: über den Bilanzzeitraum 2016, 2017 und 2018 mengengewichtete Mittelwerte von Heizwerten unterschiedlicher Drehofenbrennstoffe (im Einsatzzustand) mit werksspezifischen Minimal- und Maximalwerten	11
12.)	Abbildung 3-11: mittlerer spezifischer Energieeinsatz je Tonne Zement in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 2013 bis 2018.....	12
13.)	Abbildung 3-12: Wärmeabgabe an externe Verbraucher aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2005 bis 2018	12
14.)	Abbildung 3-13: Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 2013 bis 2018	13
15.)	Abbildung 3-14: Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes (exklusive elektrischer Energieeinsatz) und Darstellung des spezifischen, trockenen Gesamtabgasnormvolumens (nicht auf 10,0 Vol.-% O ₂ bezogen) in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung jeweils für den Zeitraum 2013 bis 2018.....	14

16.)	Abbildung 3-15: Einsatzmengen sekundärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 2013 bis 2018	15
17.)	Abbildung 3-16: Spezifizierung der im Zeitraum von 2013 bis 2018 in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) verwendeten sonstigen sekundären Rohstoffmassenströme.....	16
18.)	Abbildung 3-17: Einsatzmengen primärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Zeitraum von 2013 bis 2018 (ohne Mahlwerke)	17
19.)	Abbildung 3-18: Einsatzmengen primärer Zumahlstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 2013 bis 2018 (ohne Mahlwerke)	17
20.)	Abbildung 3-19: Einsatzmengen sekundärer Zumahlstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 2013 bis 2018 (ohne Mahlwerke)	18
21.)	Abbildung 3-20: jährliche Emissionen an Stickstoffoxiden (als NO ₂), an Schwefeldioxid, an organischem Gesamtkohlenstoff, an Ammoniak und an Staub (TSP aus Ofenlinien) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 2013 bis 2018	18
22.)	Abbildung 3-21: zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenstoffmonoxid, für Stickstoffoxide (als NO ₂), für Schwefeldioxid, für Ammoniak und für Staub (TSP aus Ofenlinien), jeweils bezogen auf 1 t Klinker (2013 - 2018, ohne Mahlwerke)	19
23.)	Abbildung 3-22: zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenstoffmonoxid, für Stickstoffoxide (als NO ₂), für Schwefeldioxid, für Ammoniak und für Staub (TSP aus Ofenlinien), jeweils bezogen auf 1 t Zement (2013 - 2018, ohne Mahlwerke).....	19
24.)	Abbildung 3-23: zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an chlor- und fluorhaltigen Verbindungen (ausgewiesen als HCl bzw. HF) sowie der jährlichen Gesamtemissionen an Spurenelementen jeweils für den Zeitraum 2013 bis 2018 (ohne Mahlwerke).....	20
25.)	Abbildung 3-24: zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an Kohlenstoffdioxid aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018 (nach EZG).....	20
26.)	Abbildung 3-25: auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische CO ₂ -Emissionen (mit biogenen CO ₂ -Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018 (nach EZG)	21
27.)	Abbildung 3-26: auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische CO ₂ -Emissionen (ohne biogene CO ₂ -Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018 (nach EZG)	21
28.)	Abbildung 3-27: auf GJ Brennstoffwärmemenge bezogene, relative CO ₂ -Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018 (nach EZG)	22
29.)	Abbildung 3-28: klinkerbezogene Emissionsfaktoren diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 2013 bis 2018.....	23
30.)	Abbildung 3-29: Ressourcenschonungsfaktor für Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Vergleichszeitraum 2013 bis 2018	24
31.)	Abbildung 3-30: Staubmassenstrom (TSP) aus "gefaßten Quellen, ausgenommen Ofenanlagen" nach "Zementverordnung" § 5 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018	24
32.)	Abbildung 3-31: staubförmige Emissionen unter Berücksichtigung von Staubemissionen aus "gefaßten Quellen, ausgenommen Ofenanlagen" nach "Zementverordnung" § 5 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2013 bis 2018.....	25