

Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie

Berichtsjahr 2021



Gerd Mausitz

Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik
und Technische Biowissenschaften

Technische Universität Wien

Wien, im Mai 2022

Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie Berichtsjahr 2021

Gerd Mauschitz

Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften

Technische Universität Wien

Wien, im Mai 2022

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1 Problemstellung.....	3
2 Datenerfassung.....	4
2.1 Erfasste Schadstoffe.....	4
2.2 Erfassungszeitraum.....	4
2.3 Erfasste Anlagen.....	4
3 Ergebnisse, numerische und graphische Darstellungen.....	6
3.1 Produktionsstatistik.....	8
3.2 Brennstoffstatistik.....	9
3.3 Energiestatistik.....	10
3.4 Rohstoff- und Zuzahlstoffstatistik.....	16
3.5 Emissionsstatistik.....	19
4 Kurzkomentar zu den Ergebnissen.....	27
4.1 Anlage- und Produktionsdaten.....	27
4.2 Emissionen.....	28
5 Tabellenverzeichnis.....	31
6 Abbildungsverzeichnis.....	31

Einleitung

In der Technosphäre, welche die Gesamtheit technischer Anlagen umfaßt, laufen Prozesse ab, die sich prinzipiell in Verbrennungs- und Produktionsprozesse unterteilen lassen.

Bei Verbrennungsprozessen entstehen aus den verwendeten Brennstoffen und der Verbrennungsluft thermische Energie sowie feste und gasförmige Reststoffe. Darunter finden sich auch luftverunreinigende Stoffe, welche infolge der menschlichen Tätigkeiten in die Atmosphäre freigesetzt werden und nachteilige Wirkungen auf die Biosphäre zeitigen.

Prozeßspezifische Emissionen entstammen aus chemischen und physikalischen Vorgängen während der Produktionsprozesse und stehen im unmittelbaren Zusammenhang mit den Stoffen, die in den Produktionsprozessen verändert werden, mit der eingesetzten Feuerungstechnik und mit der Betriebsführung.

Auch bei der Zementklinkererzeugung entstehen durch die mechanischen und thermischen Manipulationen von Rohmaterialien, Brennstoffen, Korrektur- und Zumahlstoffen solche brennstoffabhängige und prozeßabhängige Luftschadstoffemissionen.

Mit umfassenden Emissionsbilanzen, welche sowohl brennstoffabhängige als auch prozeßabhängige luftverunreinigende Stoffe miteinbeziehen, lassen sich Emissionsminderungsszenarien zum Schutz der Umwelt ausarbeiten.

Durch das regelmäßige Erstellen von Emissionsbilanzen wird man in der Lage versetzt, die Wirksamkeit solcher Schadstoffminderungsmaßnahmen zu überprüfen und im Bedarfsfall anzupassen bzw. zu verstärken.

Der vorliegende Bericht hat als primäres Ziel Auskunft über die Emissionen an Luftschadstoffen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie zu geben und dabei die Emissionen beider Quellbereiche, die pyrogenen und die prozeßspezifischen Emissionen zu umfassen.

Durch den konsequenten Einsatz und die ständige Weiterentwicklung von primären und sekundären Abgasreinigungstechniken können die behördlich verordneten Emissionsgrenzwerte von den Betreibern der österreichischen Zementwerke sicher und dauerhaft zum Schutz der Biosphäre eingehalten werden.

1 Problemstellung

Der vorliegende Bericht soll alle relevanten Schadstoffe umfassen, die durch Anlagen der österreichischen Zementindustrie mit Ofenbetrieb im Jahr 2021 emittiert 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 2021 um die Bilanzjahre 2016 bis 2020 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 bzw. Schadstoffgruppen

2.2 Erfassungszeitraum

Die vorliegende Emissionsinventur wurde für das Bilanzjahr 2021 erstellt und zu Vergleichszwecken mit den entsprechenden Daten für 2016 bis 2020 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).

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

Anlagenspiegel mit 31.12.2021																																		
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 mit Kalzinator	Rostkühler	3 KM	DO und KÜ mit Schlauchfilter	✓																												
Kirchdorfer Zementwerk Hofmann Ges.m.b.H.	Kirchdorf / Krems	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 mit Kalzinator*****	Horizontalrostkühler	3 KM	E-Entstauber, Alkalibypass mit Schlauchfilter	✓		✓																										
Schretter & Cie GmbH & Co KG	Völs	4-stufiger WT-DO	Rostkühler	2 KM	DO mit Schlauchfilter, KÜ mit E-Entstauber	✓																												
w&p Zement GmbH	Wietersdorf	5-stufiger WT-DO mit Kalzinator	Rostkühler	2 KM	DO und KÜ in einem Schlauchfilter	✓			✓**	✓****																								
Baunit GmbH	Wopfing	5-stufiger WT-DO mit Kalzinator	Rostkühler	KM+2 RP	DO in Schlauchfilter, Schlauchfilter für KÜ	✓				✓																								
<p>Legende:</p> <table border="0"> <tr> <td>DO</td> <td>Drehrohrofen</td> <td>RP</td> <td>Rollenpresse</td> </tr> <tr> <td>E-Entstauber</td> <td>Elektrostaubabscheider</td> <td>SCR</td> <td>Anlage zur selektiven, katalytischen Reduktion von Stickstoffoxiden</td> </tr> <tr> <td>KM</td> <td>Kugelmühle</td> <td>SNCR</td> <td>Anlage zur selektiven, nichtkatalytischen Reduktion von Stickstoffoxiden</td> </tr> <tr> <td>KÜ</td> <td>Klinkerkühler</td> <td>RTO</td> <td>regenerative, thermische Nachverbrennungsanlage</td> </tr> <tr> <td>MTA</td> <td>Mahl- und Trocknungsanlage</td> <td>WT-DO</td> <td>Drehrohrofen mit Zyklonwärmetauscher</td> </tr> <tr> <td>RM</td> <td>Rohmühle</td> <td></td> <td></td> </tr> </table> <p>* DeCONOX-Anlage (Kopplungsverfahren einer thermischen Nachverbrennungsanlage und einer SCR-DeNOx-Anlage in Reingasschaltung); Inbetriebnahme ohne SCR-DeNOx ab 27.08.2015; mit SCR-DeNOx ab 07.12.2015. ** XMercury-Anlage zur Hg-Entfrachtung mit einem kohlenstoffhaltigen Adsorbens; Inbetriebnahme: Mitte 2015 *** Die RTO am w&p - Betriebsstandort Wietersdorf hat im Oktober 2017 den Betrieb aufgenommen. **** DeCONOX-Anlage (Kopplungsverfahren einer thermischen Nachverbrennungsanlage und einer SCR-DeNOx-Anlage in Reingasschaltung); Inbetriebnahme: März 2019. ***** Kalzinator seit 2019</p>											DO	Drehrohrofen	RP	Rollenpresse	E-Entstauber	Elektrostaubabscheider	SCR	Anlage zur selektiven, katalytischen Reduktion von Stickstoffoxiden	KM	Kugelmühle	SNCR	Anlage zur selektiven, nichtkatalytischen Reduktion von Stickstoffoxiden	KÜ	Klinkerkühler	RTO	regenerative, thermische Nachverbrennungsanlage	MTA	Mahl- und Trocknungsanlage	WT-DO	Drehrohrofen mit Zyklonwärmetauscher	RM	Rohmühle		
DO	Drehrohrofen	RP	Rollenpresse																															
E-Entstauber	Elektrostaubabscheider	SCR	Anlage zur selektiven, katalytischen Reduktion von Stickstoffoxiden																															
KM	Kugelmühle	SNCR	Anlage zur selektiven, nichtkatalytischen Reduktion von Stickstoffoxiden																															
KÜ	Klinkerkühler	RTO	regenerative, thermische Nachverbrennungsanlage																															
MTA	Mahl- und Trocknungsanlage	WT-DO	Drehrohrofen mit Zyklonwärmetauscher																															
RM	Rohmühle																																	

Abbildung 2-1: Anlagenspiegel der österreichischen Zementwerke mit Ofenbetrieb (Stichtag: 31.12.2021)

3 Ergebnisse, numerische und graphische Darstellungen

An dieser Stelle soll darauf hingewiesen werden, daß die in dieser Studie ausgewiesenen Daten kollektivierte Werte darstellen, welche für die Gesamtheit der österreichischen Zementindustrie von Belang sind. Diese kollektivierten Werte sind nicht dazu 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.

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

Siehe Seite 7 und 7a:

Tabelle 3-1: Gesamtübersichtstabelle - Emissionen und Produktionsmittel der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 2016 bis 2021

GESAMTÜBERSICHT

I Anlagendaten	
Anlagenzahl	Österreichweit waren 2021 2 Lepolöfen mit 418.000 t/a und 8 WT-DO mit bzw. ohne Kalzinator mit 4.995.400 t/a betriebsbereit.
Klinkerkapazität / [t/a]	Mit der 2021 installierten Gesamtanlagenkapazität von ca. 5.413.400 t/a wurden die unter II angeführten Jahresmengen produziert.

II Produktionsdaten		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
Rohmehleinsatz	[t/a]	5 093 970		5 057 751		5 421 197		5 264 330		5 404 367		5 623 758	
Klinkerproduktion	[t/a]	3 299 974		3 313 459		3 551 969		3 422 866		3 522 299		3 662 612	
Zementproduktion	[t/a]	4 776 936		4 879 639		5 241 524		5 232 990		5 223 206		5 561 049	
Ofenbetriebsstunden ^{a)}	[h _{OB} /a]	56 872,0		55 290,0		57 988,5		55 987,0		57 243,5		58 556,0	
Rohmehlfaktor	[t _{RM} /t _K]	1,544		1,526		1,526		1,538		1,534		1,535	
(korrigierter*) Klinkerfaktor	[t _K /t _Z]	0,705*	0,691	0,704*	0,679	0,696*	0,678	0,694*	0,654	0,701*	0,674	0,692*	0,659

III Konventionelle Energieträger (KET)		2016			2017			2018			2019			2020			2021		
		Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]
A) Steinkohle		29,92	20 960	627 187	30,23	20 335	614 753	25,90	25 878	670 184	26,72	30 443	813 561	28,61	65 602	1 876 656	27,86	50 219	1 399 290
B) Braunkohle		22,02	48 379	1 065 175	21,96	48 625	1 067 651	22,06	57 339	1 265 143	22,21	53 752	1 193 806	22,17	48 881	1 083 505	22,09	42 907	947 923
C) Heizöl L (0,2 m% S)		41,70	508	21 180	41,70	394	16 445	41,70	506	21 121	41,70	425	17 731	41,70	326	13 576	41,70	310	12 947
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)		40,14	2 813	112 927	39,06	2 061	80 489	39,05	1 408	55 000	39,26	1 380	54 185	40,30	1 358	54 740	40,30	1 827	73 640
F) Erdgas ^{b)} / [1000m ³ (Vn)/a]; Hu / [MJm ⁻³ (Vn)]		36,22	3 021,479	109 426	36,23	2 720,298	98 554	36,23	2 948,684	106 843	36,78	11 766,455	432 826	36,80	17 751,712	653 263	36,80	11 699,790	430 552
J) Petrolkoks		30,48	28 037	854 711	30,93	18 507	572 489	29,79	15 590	464 376	31,55	13 138	414 511	31,41	10 446	328 120	31,72	21 564	684 096
G) sonstige (Heizöl EL, Anthrazit)		42,70	330	14 086	42,70	345	14 713	42,70	284	12 143	42,70	314	13 404	42,70	490	20 913	42,70	306	13 061
Summe KET			103 176	2 804 693		92 201	2 465 094		103 104	2 594 810		107 820	2 940 024		139 728	4 030 773		125 456	3 561 510

IV Ersatzbrennstoffe (EBS)		2016			2017			2018			2019			2020			2021		
		Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]									
H) Altreifen		29,66	56 143	1 665 140	29,88	58 988	1 762 265	29,75	61 735	1 836 825	30,76	40 086	1 232 849	30,41	45 268	1 376 570	27,78	39 652	1 101 599
I) Kunststoffabfälle		19,69	316 107	6 225 366	19,50	324 780	6 333 354	19,38	358 580	6 950 669	19,58	357 388	6 998 342	19,05	299 484	5 705 029	19,85	349 345	6 933 054
K) Altöl		33,26	16 131	536 588	33,40	13 847	462 473	37,02	15 321	567 241	31,00	19 692	610 386	30,48	17 608	536 757	30,56	17 300	528 671
L) Lösungsmittel		27,63	23 502	649 257	26,69	23 761	634 164	26,75	26 619	712 076	24,84	24 540	609 584	25,37	28 129	713 535	26,38	31 638	834 763
M) landwirtschaftliche Rückstände		16,91	520	8 798	16,91	1 204	20 359	16,91	1 457	24 632	16,91	491	8 303		0	0	16,91	33	558
N) Papierfaserreststoff		4,83	35 719	172 523	4,89	36 728	179 600	5,07	40 268	204 159	4,80	35 420	170 016	5,20	39 574	205 785	5,20	37 931	197 241
O) sonstige		14,15	60 273	852 730	17,09	50 550	863 656	18,26	51 635	942 838	18,55	57 344	1 063 991	18,51	61 369	1 136 035	16,04	75 466	1 210 317
Summe EBS			508 395	10 110 402		509 857	10 255 872		555 614	11 238 439		534 961	10 693 470		491 433	9 673 711		551 365	10 806 203

V Thermischer Energieeinsatz**		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
a) Σ Energieeinsatz KET	[GJ/h _{OB}]	49,3		44,6		44,7		52,5		70,4		60,8	
b) Σ Energieeinsatz EBS	[GJ/h _{OB}]	177,8		185,5		193,8		191,0		169,0		184,5	
Summe a) u. b)	[GJ/h _{OB}]	227,1		230,1		238,6		243,5		239,4		245,4	
EBS-Anteil an (III+IV)	[%]	78,28		80,62		81,24		78,44		70,59		75,21	
spez. therm. Energieeinsatz	[GJ/t _{Klinker}]	3,914		3,839		3,895		3,983		3,891		3,923	

VI Sekundärrohstoffe (SRS)		2016		2017		2018		2019		2020		2021	
diverse Schlacken	[t/a]	36 863		34 745		35 487		29 138		35 367		54 251	
Gießereisand	[t/a]	31 695		36 052		38 822		46 536		29 535		36 784	
Summe SRS / sonstige SRS	[t/a]	628 296	559 739	699 305	628 507	765 918	691 610	786 030	710 356	797 874	732 972	826 238	735 203

VII Sekundärzumahlstoffe (SZS)			2016		2017		2018		2019		2020		2021	
Hochofenschlacke	[t/a]		774 461		774 505		803 581		832 053		790 118		854 660	
REA - Gips	[t/a]		48 716		48 081		47 979		49 032		45 734		55 412	
Flugasche	[t/a]		127 453		119 064		133 777		123 637		103 138		93 987	
Summe SZS / sonstige SZS	[t/a]		1 066 573	115 943	1 016 096	74 446	1 099 976	114 638	1 107 152	102 430	1 030 330	91 340	1 110 348	106 289

VIII Abgasparameter			2016		2017		2018		2019		2020		2021	
Bez.-O ₂ / O ₂ gemessen	[Vol.-%]		10,00	11,85	10,00	11,36	10,00	11,36	10,00	11,39	10,00	11,14	10,00	11,32
Abgasnormvolumen V _(tr.,Vn,bez.)	[1000m ³ (Vn)/a]		7 682 283		7 660 014		8 255 301		8 114 126		8 476 510		8 980 831	

IX Emissionsrelevante Daten	2016			2017			2018			2019			2020			2021		
	E-faktor	Massenstrom	E-faktor															
	[g/t _z]	[t/a]	[g/t _{kl}]	[g/t _z]	[t/a]	[g/t _{kl}]	[g/t _z]	[t/a]	[g/t _{kl}]	[g/t _z]	[t/a]	[g/t _{kl}]	[g/t _z]	[t/a]	[g/t _{kl}]	[g/t _z]	[t/a]	[g/t _{kl}]
1 Staub (TSP) ⁽¹⁾⁽³⁾	4,97	23,747	7,20	5,57	27,172	8,20	5,71	29,904	8,42	4,98	26,035	7,61	4,72	24,634	6,99	4,04	22,465	6,13
2 Stickstoffoxide (als NO ₂)	451,42	2 156,426	653,47	430,82	2 102,258	634,46	441,17	2 312,415	651,02	389,00	2 035,640	594,72	454,41	2 373,473	673,84	444,16	2 470,018	674,39
3 Schwefeldioxid (SO ₂)	54,74	261,498	79,24	59,89	292,225	88,19	61,15	320,522	90,24	41,07	214,928	62,79	43,96	229,630	65,19	33,18	184,542	50,39
4 Cadmium (Cd)	0,001327	0,006337	0,001920	0,001294	0,006313	0,001905	0,001978	0,010369	0,002919	0,001249	0,006537	0,001910	0,001187	0,006199	0,001760	0,001456	0,008099	0,002211
5 Thallium (Tl)	0,000908	0,004336	0,001314	0,001279	0,006241	0,001884	0,001441	0,007553	0,002127	0,001349	0,007062	0,002063	0,001320	0,006892	0,001957	0,001150	0,006395	0,001746
6 Beryllium (Be)	0,002381	0,011375	0,003447	0,002450	0,011955	0,003608	0,002416	0,012664	0,003565	0,002315	0,012115	0,003540	0,002357	0,012310	0,003495	0,002189	0,012174	0,003324
Summe 4-6	0,004616	0,022048	0,006681	0,005023	0,024510	0,007397	0,005835	0,030587	0,008611	0,004914	0,025714	0,007513	0,004863	0,025401	0,007212	0,004795	0,026668	0,007281
7 Arsen (As)	0,001085	0,005185	0,001571	0,001619	0,007901	0,002385	0,001338	0,007012	0,001974	0,001249	0,006537	0,001910	0,001187	0,006199	0,001760	0,001064	0,005918	0,001616
8 Cobalt (Co)	0,000882	0,004213	0,001277	0,001336	0,006520	0,001968	0,002036	0,010674	0,003005	0,001933	0,010114	0,002955	0,001187	0,006199	0,001760	0,001064	0,005918	0,001616
9 Nickel (Ni)	0,006465	0,030884	0,009359	0,009481	0,046265	0,013963	0,015581	0,081668	0,022992	0,006882	0,036013	0,010521	0,002988	0,015608	0,004431	0,009627	0,053534	0,014616
10 Blei (Pb)	0,006249	0,029850	0,009046	0,006666	0,032529	0,009817	0,008599	0,045072	0,012689	0,008280	0,043331	0,012659	0,003446	0,018001	0,005111	0,006134	0,034112	0,009314
Summe 7-10	0,014681	0,070132	0,021252	0,019103	0,093215	0,028132	0,027554	0,144425	0,040661	0,018344	0,095997	0,028046	0,008808	0,046008	0,013062	0,017889	0,099482	0,027162
11 Quecksilber (Hg)	0,020341	0,097165	0,029444	0,026960	0,131555	0,039703	0,030826	0,161576	0,045489	0,025551	0,133710	0,039064	0,028096	0,146749	0,041663	0,025855	0,143780	0,039256
12 Chrom (Cr)	0,012586	0,060122	0,018219	0,018013	0,087896	0,026527	0,019740	0,103468	0,029130	0,008284	0,043351	0,012665	0,004673	0,024406	0,006929	0,003252	0,018086	0,004938
13 Selen (Se)	0,000293	0,001399	0,000424	0,000296	0,001447	0,000437	0,000505	0,002649	0,000746	0,000481	0,002515	0,000735	0,000513	0,002681	0,000761	0,000503	0,002797	0,000764
14 Mangan (Mn)	0,011665	0,055723	0,016886	0,011791	0,057538	0,017365	0,017267	0,090506	0,025480	0,015615	0,081711	0,023872	0,007840	0,040951	0,011626	0,006033	0,033550	0,009160
15 Vanadium (V)	0,001275	0,006088	0,001845	0,001513	0,007382	0,002228	0,001427	0,007478	0,002105	0,001322	0,006917	0,002021	0,001248	0,006518	0,001851	0,001156	0,006430	0,001756
16 Zink (Zn)	0,020615	0,098476	0,029841	0,023195	0,113181	0,034158	0,025432	0,133303	0,037529	0,023675	0,123890	0,036195	0,028993	0,151435	0,042993	0,025852	0,143766	0,039252
Summe 11-16	0,066774	0,318974	0,096660	0,081768	0,398998	0,120417	0,095197	0,498979	0,140480	0,074927	0,392094	0,114551	0,071362	0,372740	0,105823	0,062652	0,348408	0,095126
17 Antimon (Sb)	0,000900	0,004300	0,001303	0,001235	0,006027	0,001819	0,002267	0,011885	0,003346	0,001598	0,008361	0,002443	0,001187	0,006199	0,001760	0,001153	0,006411	0,001750
18 Kupfer (Cu)	0,005439	0,025982	0,007873	0,008762	0,042756	0,012904	0,011632	0,060970	0,017165	0,010430	0,054579	0,015945	0,007206	0,037641	0,010686	0,016265	0,090452	0,024696
19 Zinn (Sn)	0,000890	0,004250	0,001288	0,001283	0,006262	0,001890	0,002011	0,010540	0,002967	0,001616	0,008457	0,002471	0,001298	0,006779	0,001925	0,001140	0,006337	0,001730
Summe 17-19	0,007229	0,034532	0,010464	0,011281	0,055045	0,016613	0,015910	0,083394	0,023478	0,013644	0,071397	0,020859	0,009691	0,050620	0,014371	0,018558	0,103200	0,028177
Summe Spurenelemente (4-16)	0,086071	0,411155	0,124593	0,105894	0,516723	0,155947	0,128587	0,673991	0,189751	0,098186	0,513805	0,150110	0,085034	0,444149	0,126096	0,085336	0,474558	0,129568
Summe Spurenelemente (4-16 und 17-19)	0,093300	0,445687	0,135058	0,117174	0,571768	0,172559	0,144497	0,757386	0,213230	0,111829	0,585202	0,170969	0,094725	0,494769	0,140468	0,103894	0,577758	0,157745
20 chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	4,205	20,088	6,087	4,491	21,914	6,614	3,258	17,075	4,807	3,749	19,617	5,731	2,834	14,801	4,202	3,079	17,125	4,676
21 fluorhaltige Verbindungen (als HF)	0,192	0,918	0,278	0,192	0,938	0,283	0,129	0,678	0,191	0,141	0,740	0,216	0,157	0,820	0,233	0,173	0,961	0,262
22 organischer Gesamtkohlenstoff (TOC)	42,038	200,814	60,853	42,179	205,817	62,115	39,622	207,678	58,469	28,216	147,655	43,138	30,821	160,984	45,704	32,924	183,091	49,989
23 Kohlenstoffmonoxid (CO)	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	665,0	3 479,94	1 016,7	725,4	3 788,78	1 075,7	752,3	4 183,72	1 142,3
24 Ammoniak (NH ₃)	13,494	64,462	19,534	17,198	83,919	25,327	22,702	118,991	33,500	28,772	150,564	43,988	22,146	115,674	32,840	21,531	119,737	32,692
25 Kohlenstoffdioxid (CO ₂) ⁽²⁾	591 122	2 823 753	855 689	572 952	2 795 801	843 771	572 066	2 998 496	844 179	553 293	2 895 376	845 892	569 304	2 973 593	844 219	558 240	3 104 401	847 592

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

^{a)} alle Betriebszustände

^{b)} P_(EG)=0,7112kg/m³

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

3.1 Produktionsstatistik

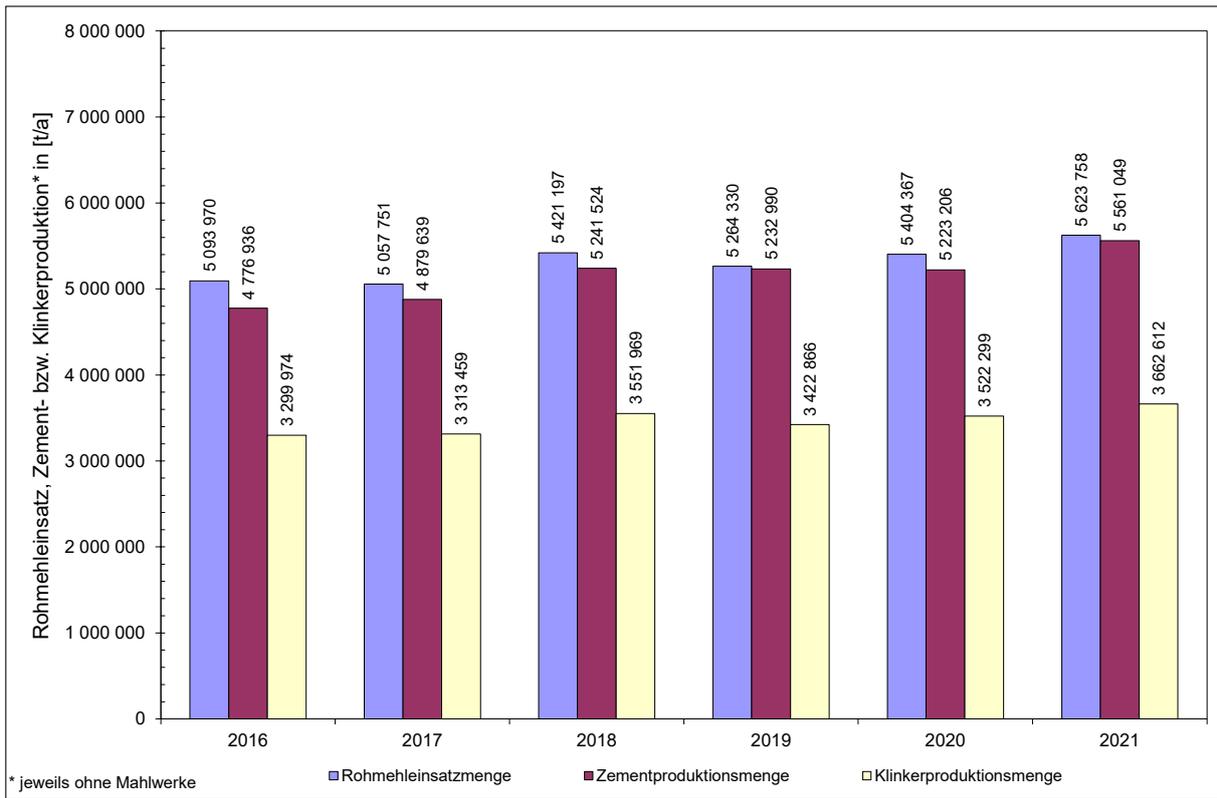


Abbildung 3-1: Rohmehleinsatzmenge, Klinkerproduktionsmenge und Zementproduktionsmenge der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021 (ohne Mahlwerke)

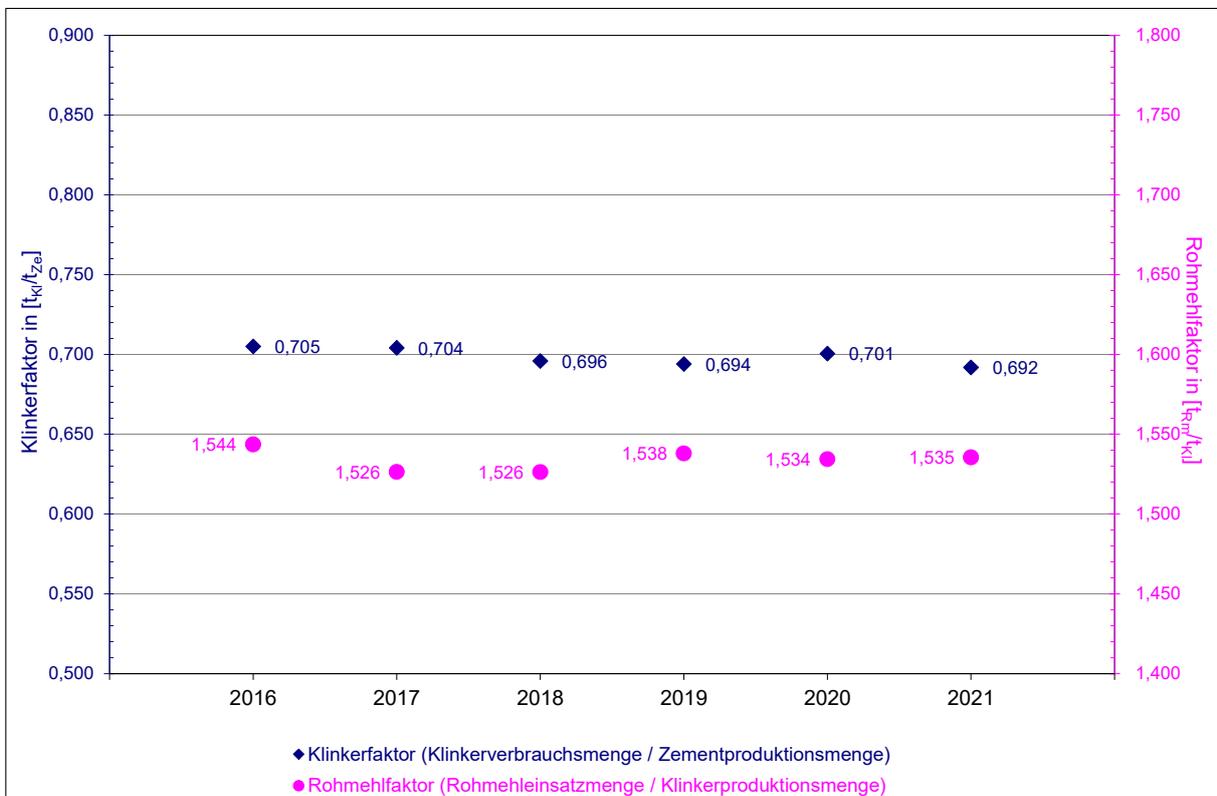


Abbildung 3-2: Klinkerfaktor und Rohmehlfaktor im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021

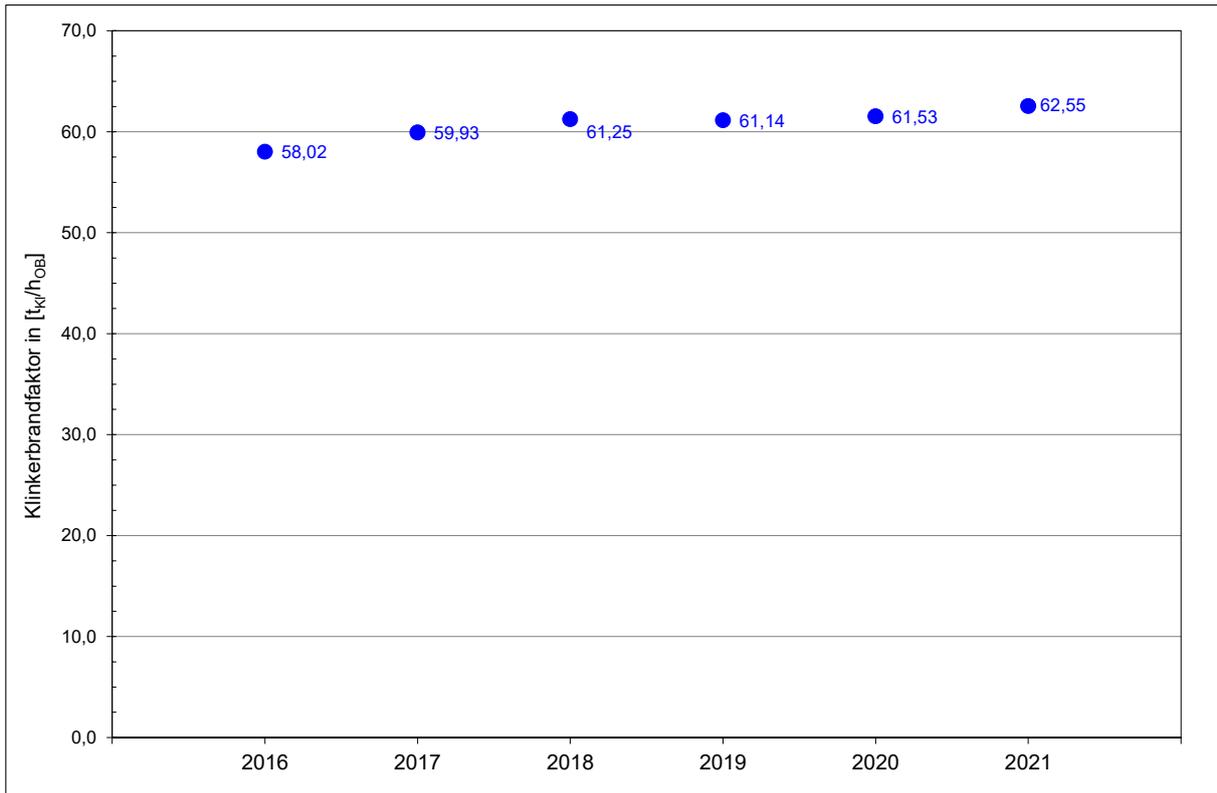


Abbildung 3-3: Entwicklung des Klinkerbrandfaktors / [t_{kl}/h_{OB}] in den Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021

3.2 Brennstoffstatistik

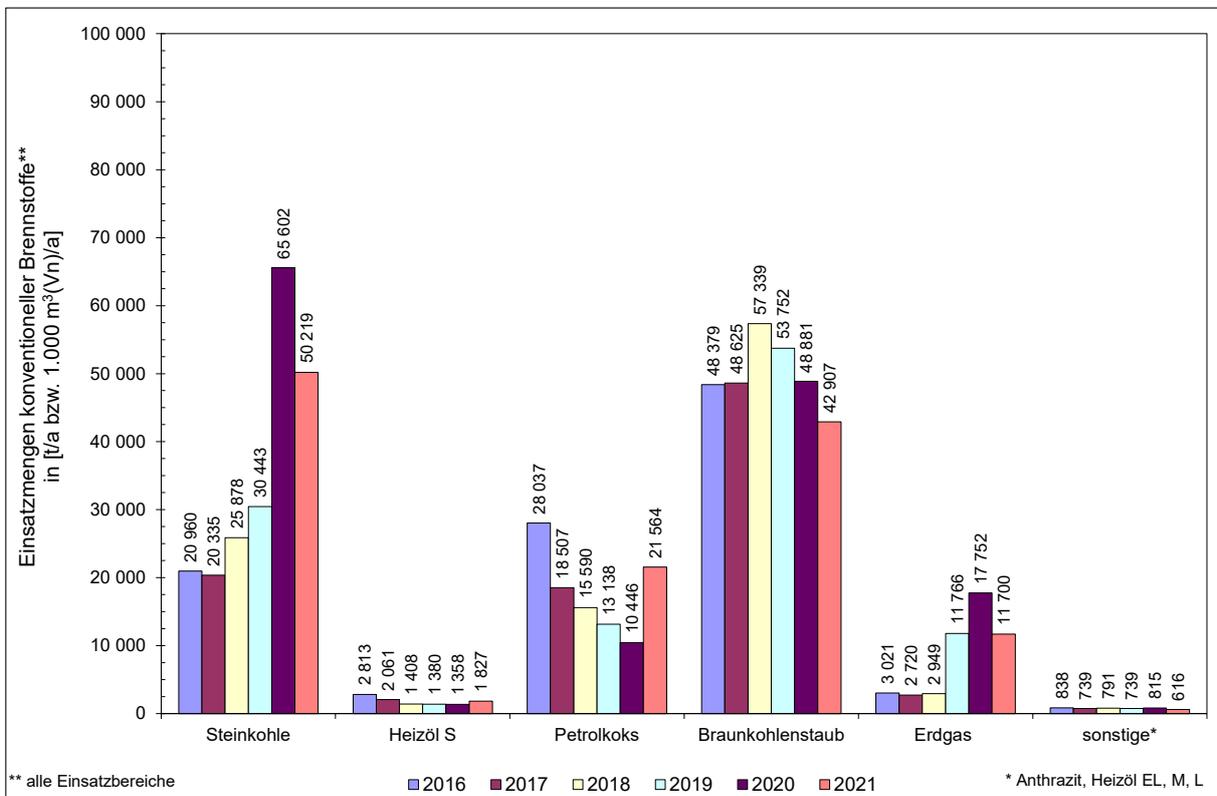


Abbildung 3-4: Einsatzmengen konventioneller Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021

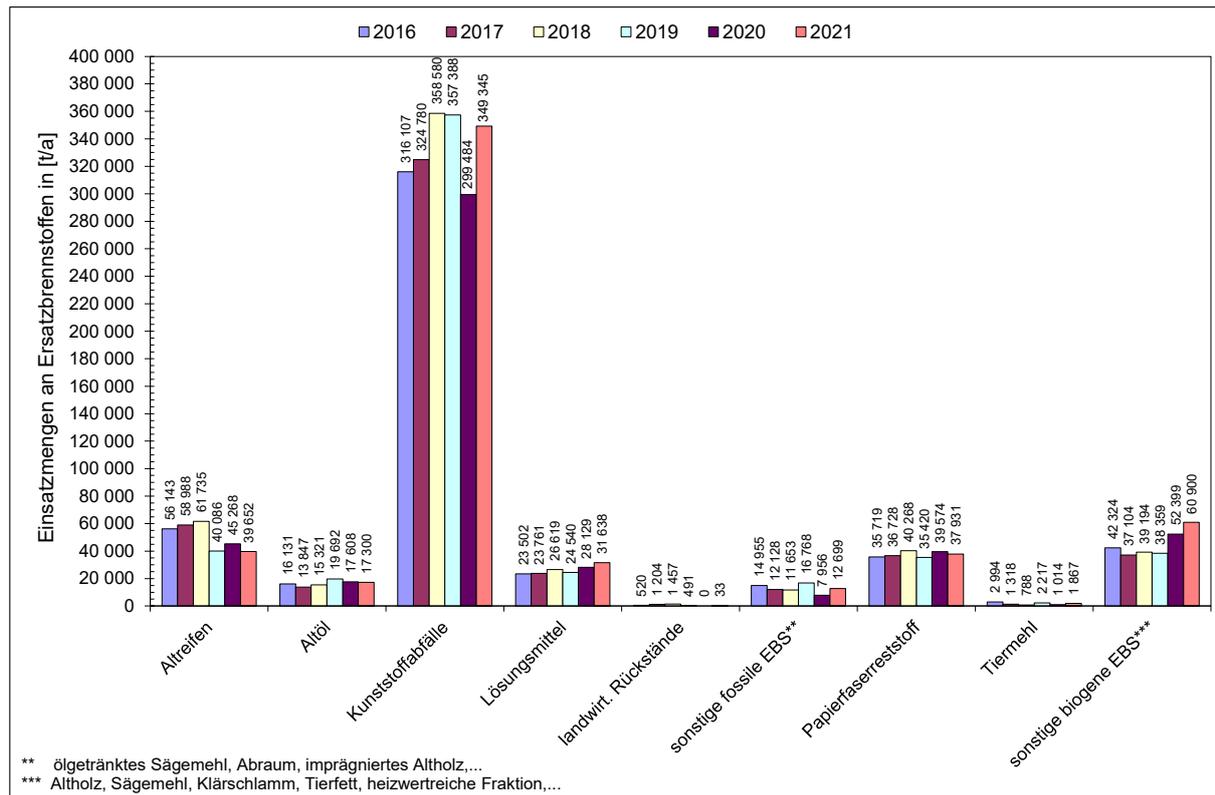


Abbildung 3-5: Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021

3.3 Energiestatistik

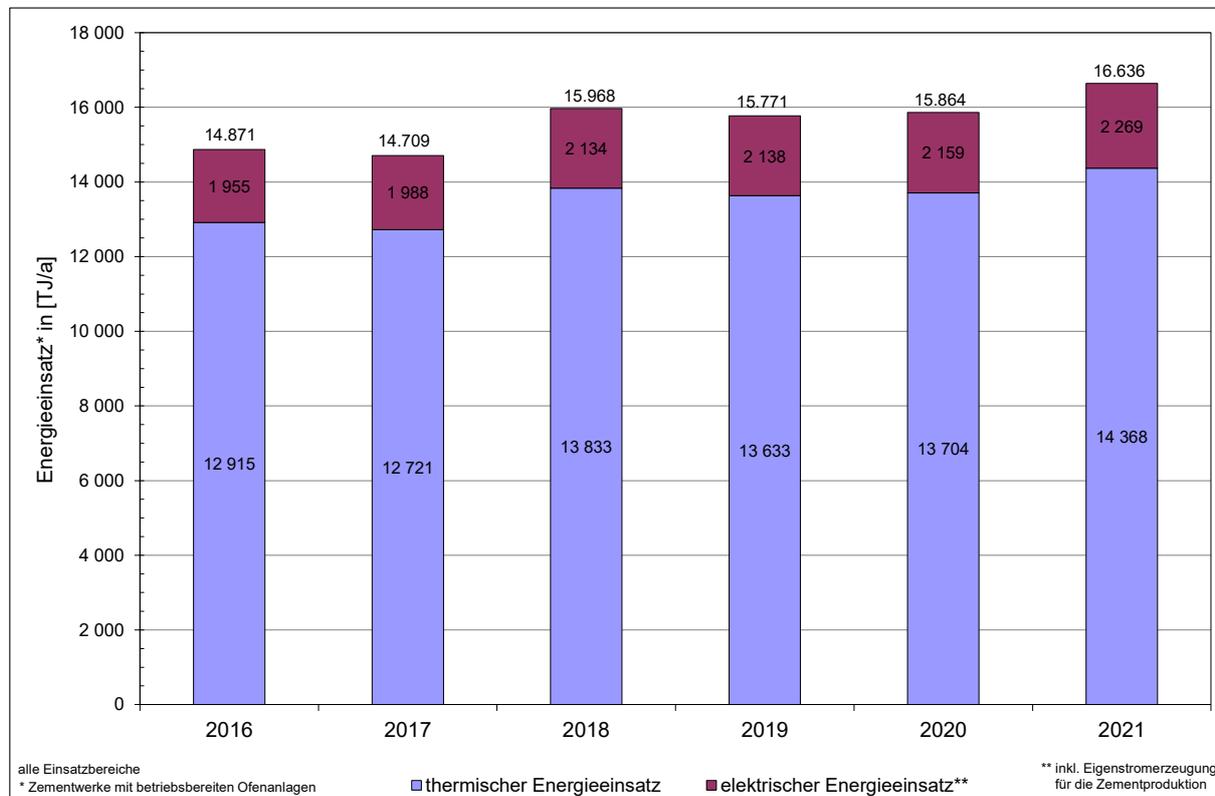


Abbildung 3-6: Entwicklung des thermischen und elektrischen Energieeinsatzes in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021

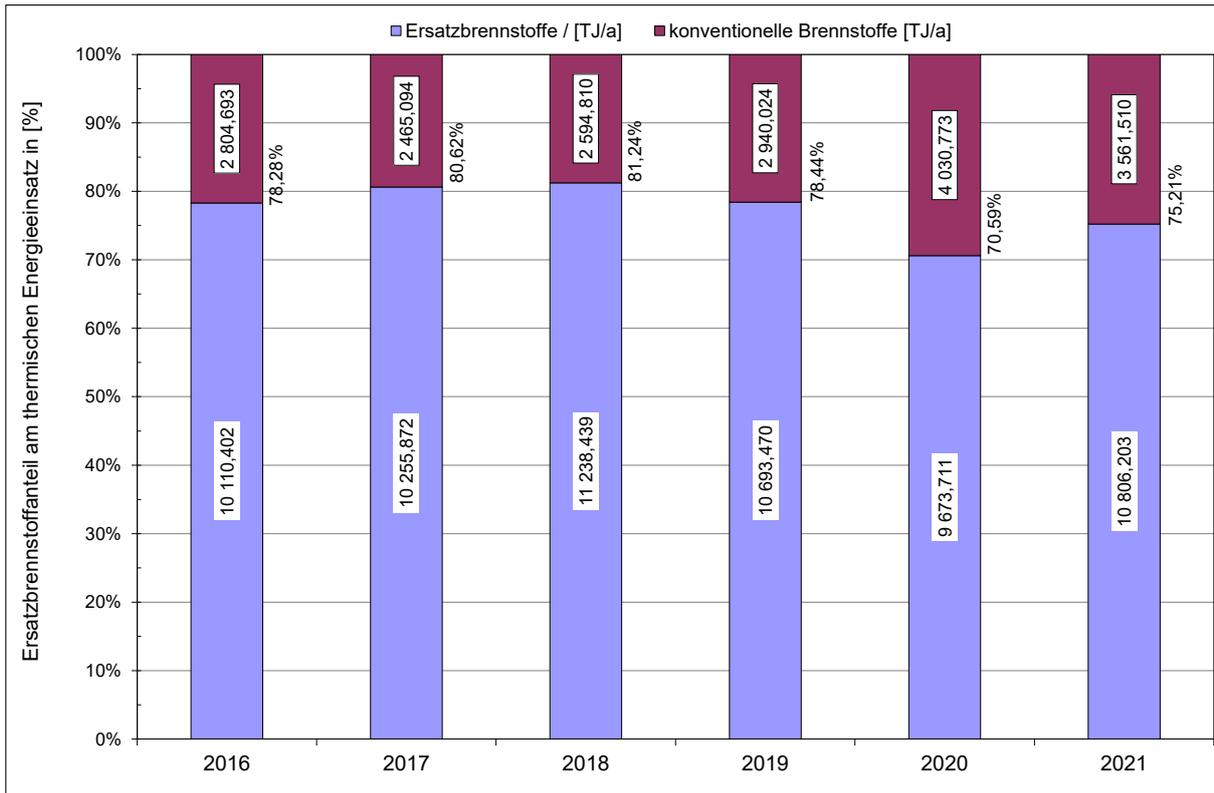


Abbildung 3-7: Ersatzbrennstoffenergieanteil am thermischen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021

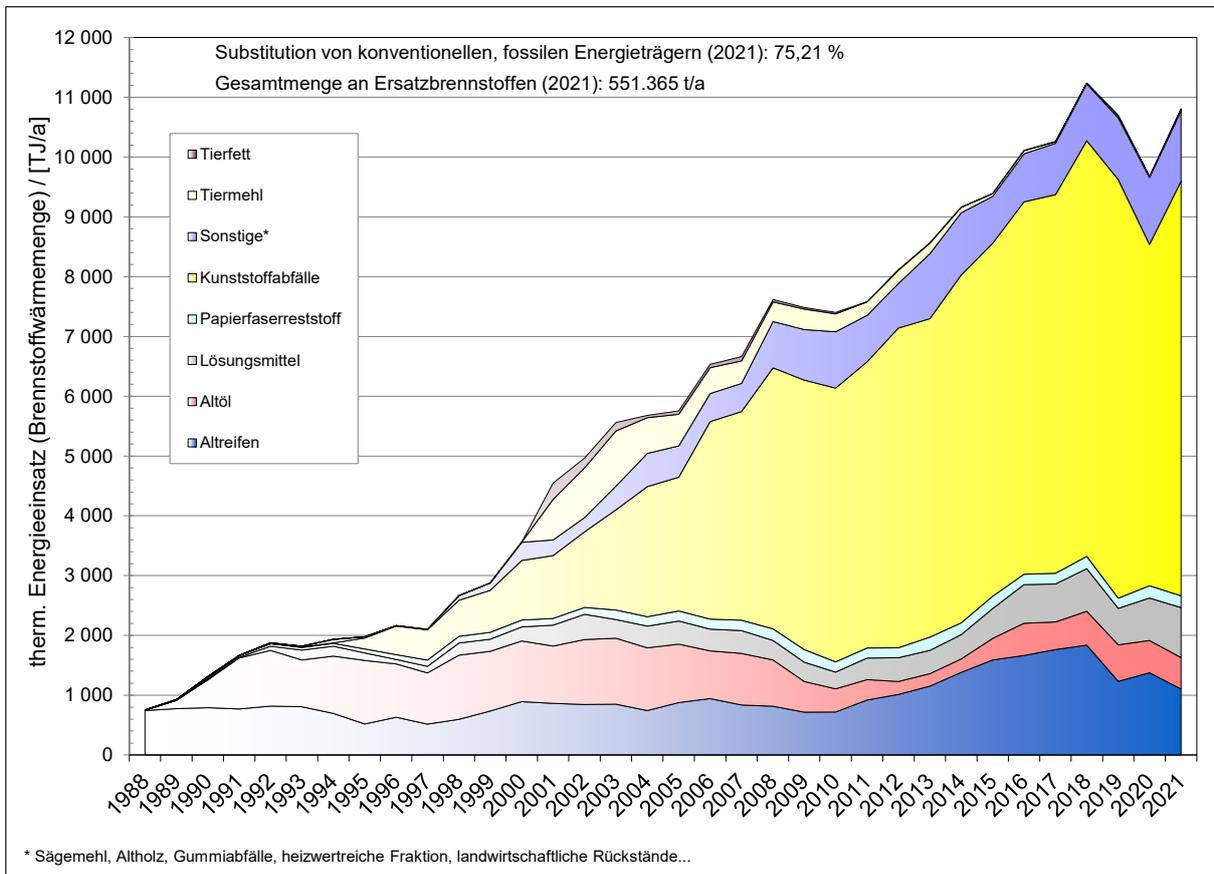


Abbildung 3-8: Brennstoffwärmemengen aus der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 1988 bis 2021

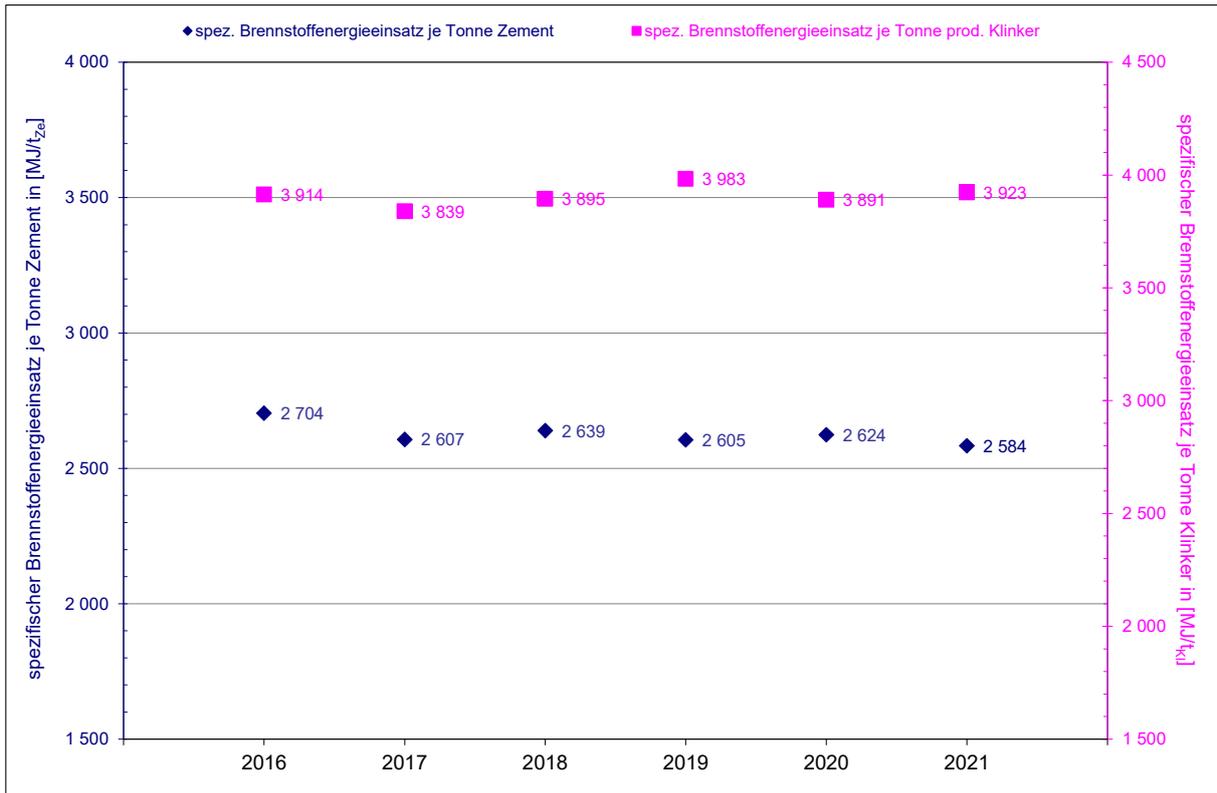


Abbildung 3-9: auf die Tonne Zement bzw. auf die Tonne Klinker bezogener spezifischer Brennstoffenergieeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021

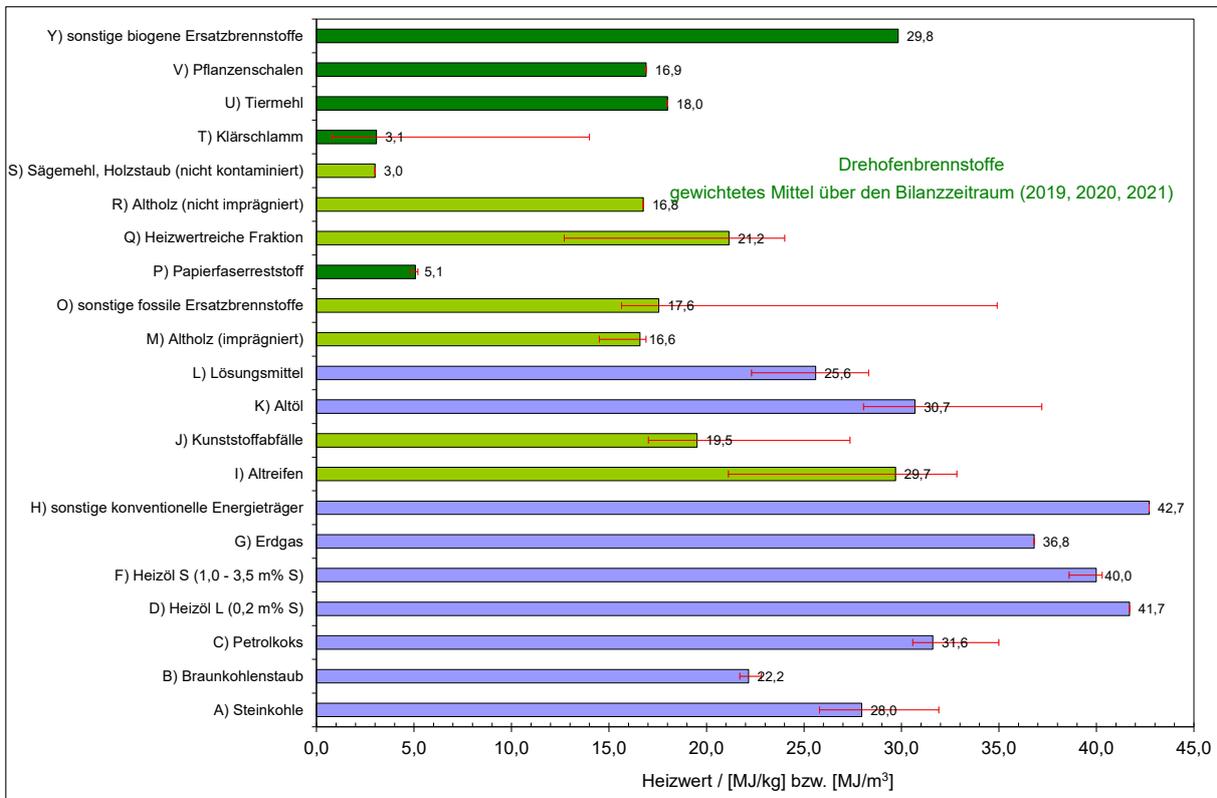


Abbildung 3-10: über den Bilanzzeitraum 2019, 2020 und 2021 mengengewichtete Mittelwerte von Heizwerten unterschiedlicher Drehofenbrennstoffe (im Einsatzzustand) mit werksspezifischen Minimal- und Maximalwerten

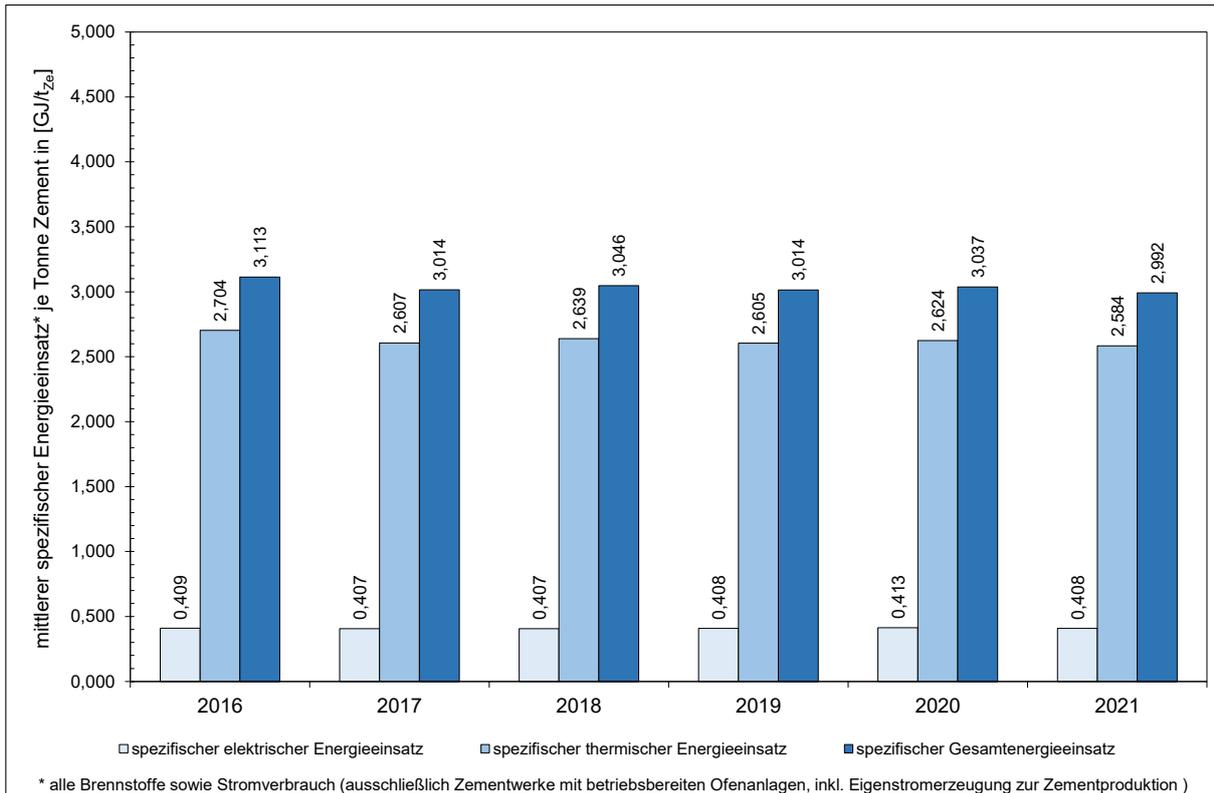


Abbildung 3-11: mittlerer spezifischer Energieeinsatz je Tonne Zement in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 2016 bis 2021

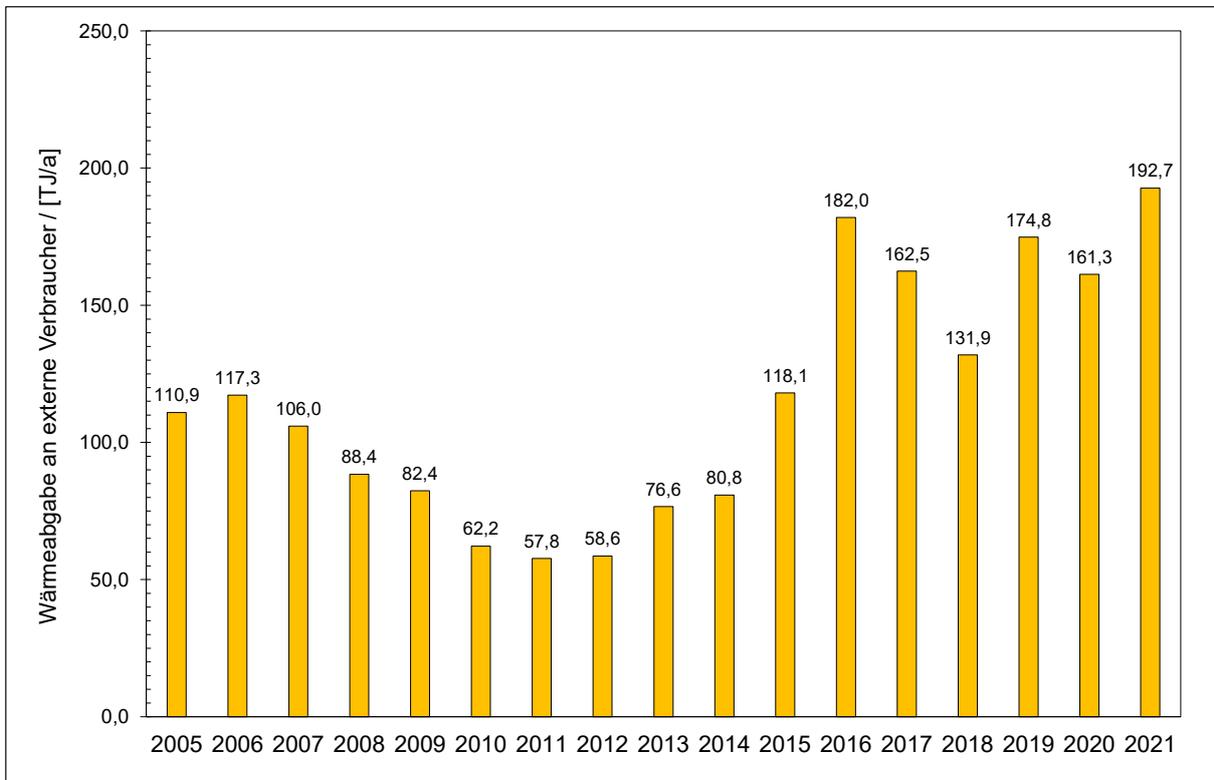


Abbildung 3-12: Wärmeabgabe an externe Verbraucher aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2005 bis 2021

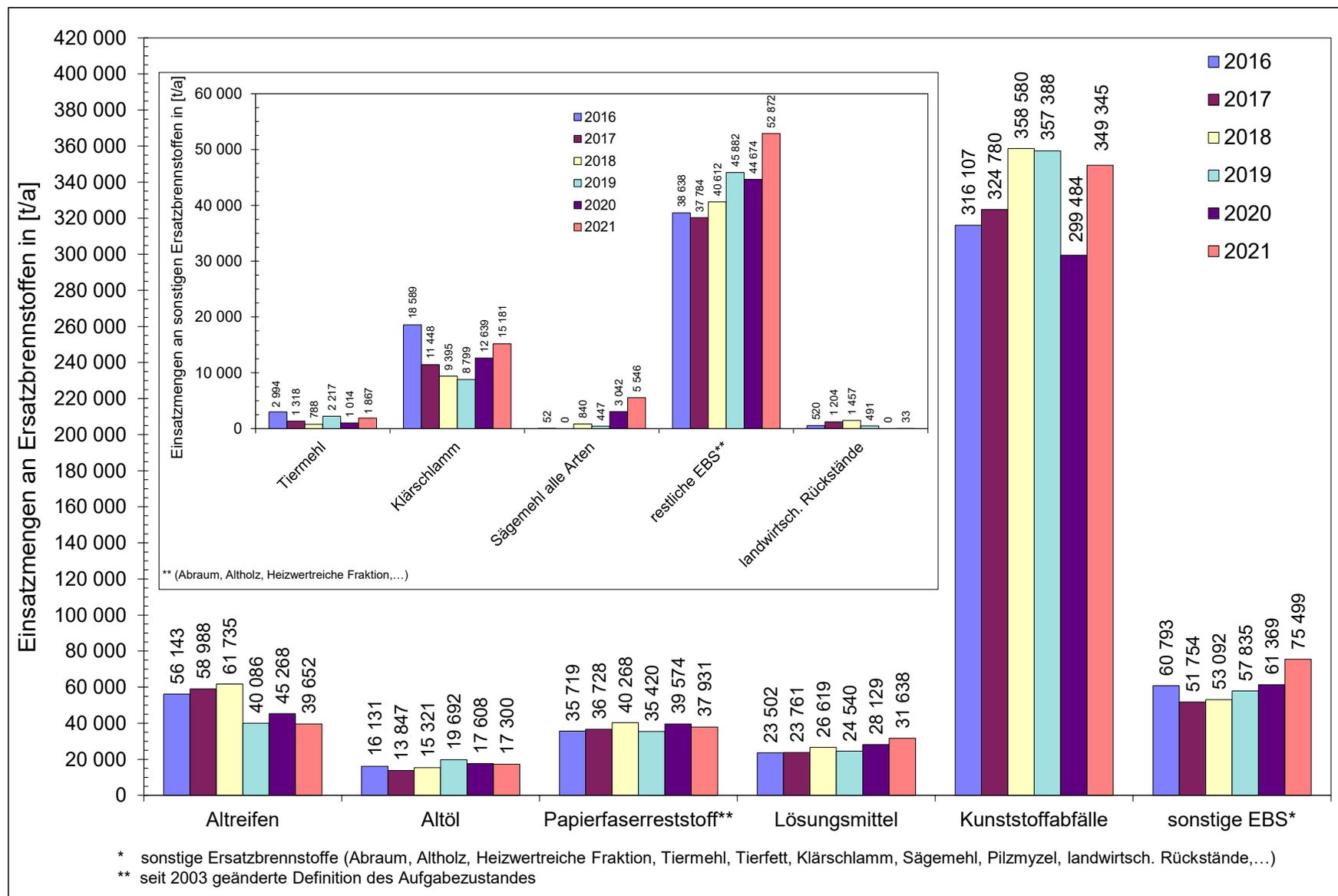


Abbildung 3-13: Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 2016 bis 2021

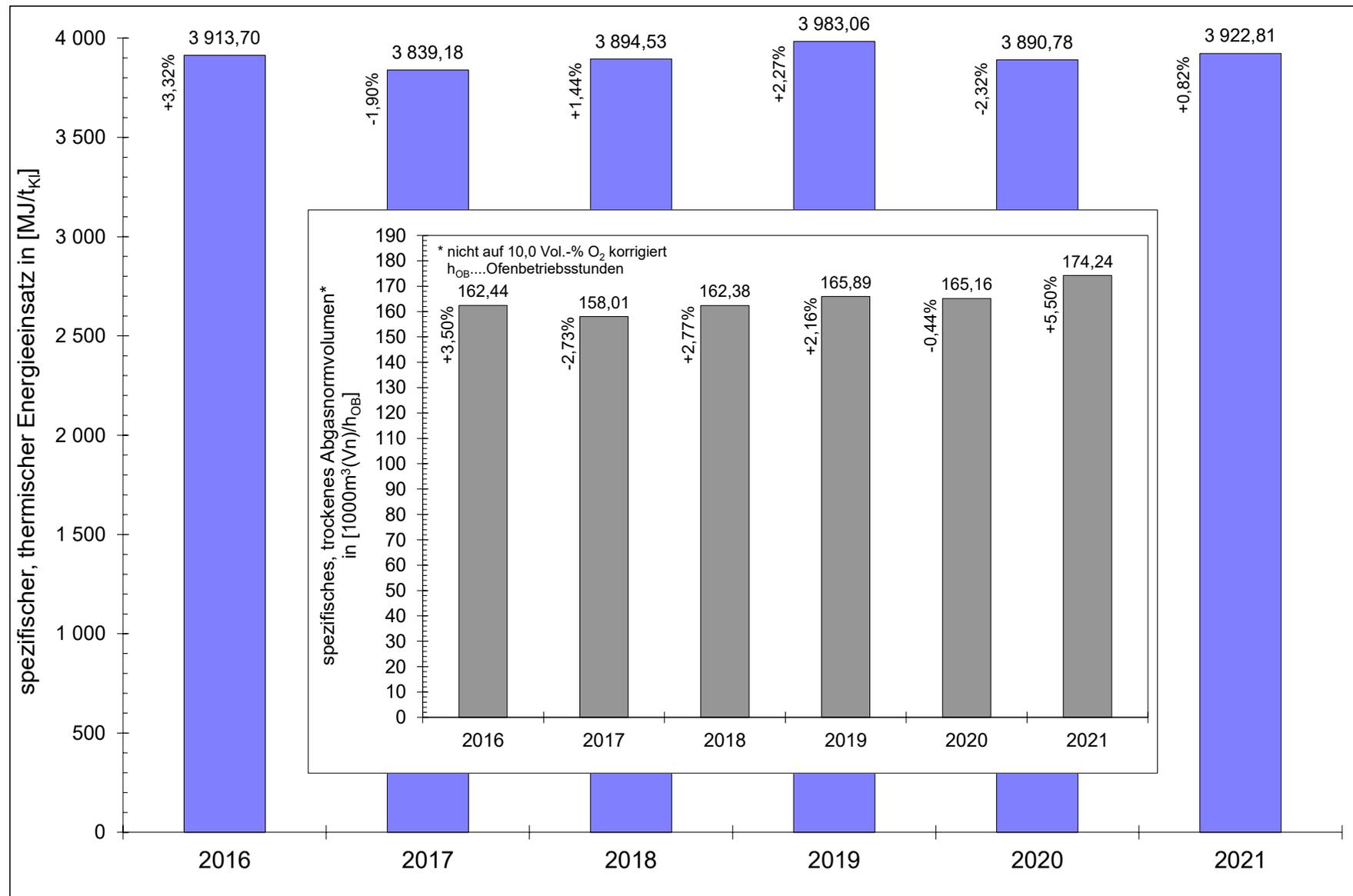


Abbildung 3-14: Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes (exklusive elektrischer Energieeinsatz) und Darstellung des spezifischen, trockenen Gesamtgasnormvolumens (nicht auf 10,0 Vol.-% O₂ bezogen) in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkerherzeugung jeweils für den Zeitraum 2016 bis 2021

3.4 Rohstoff- und Zusatzstoffstatistik

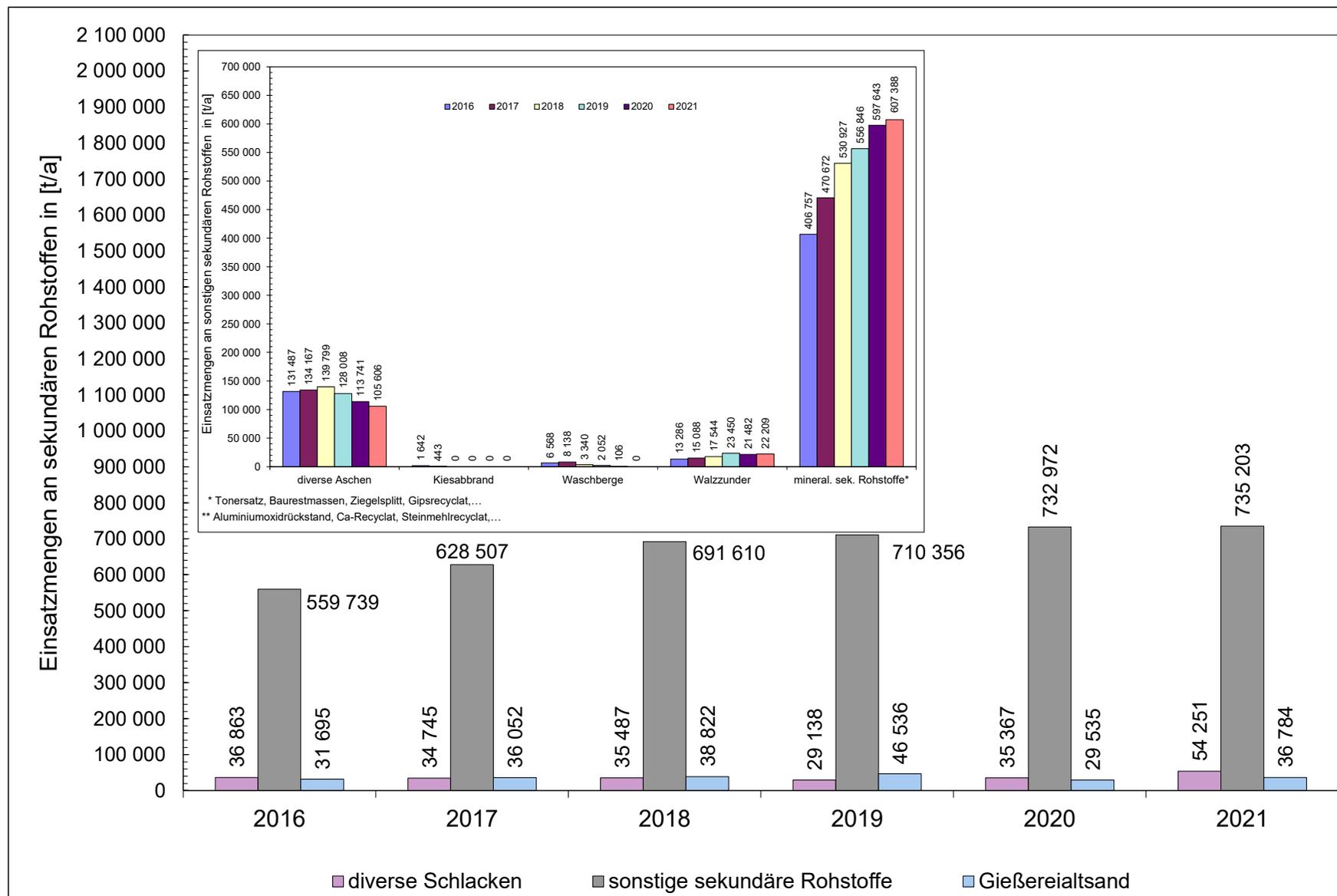


Abbildung 3-15: Einsatzmengen sekundärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 2016 bis 2021

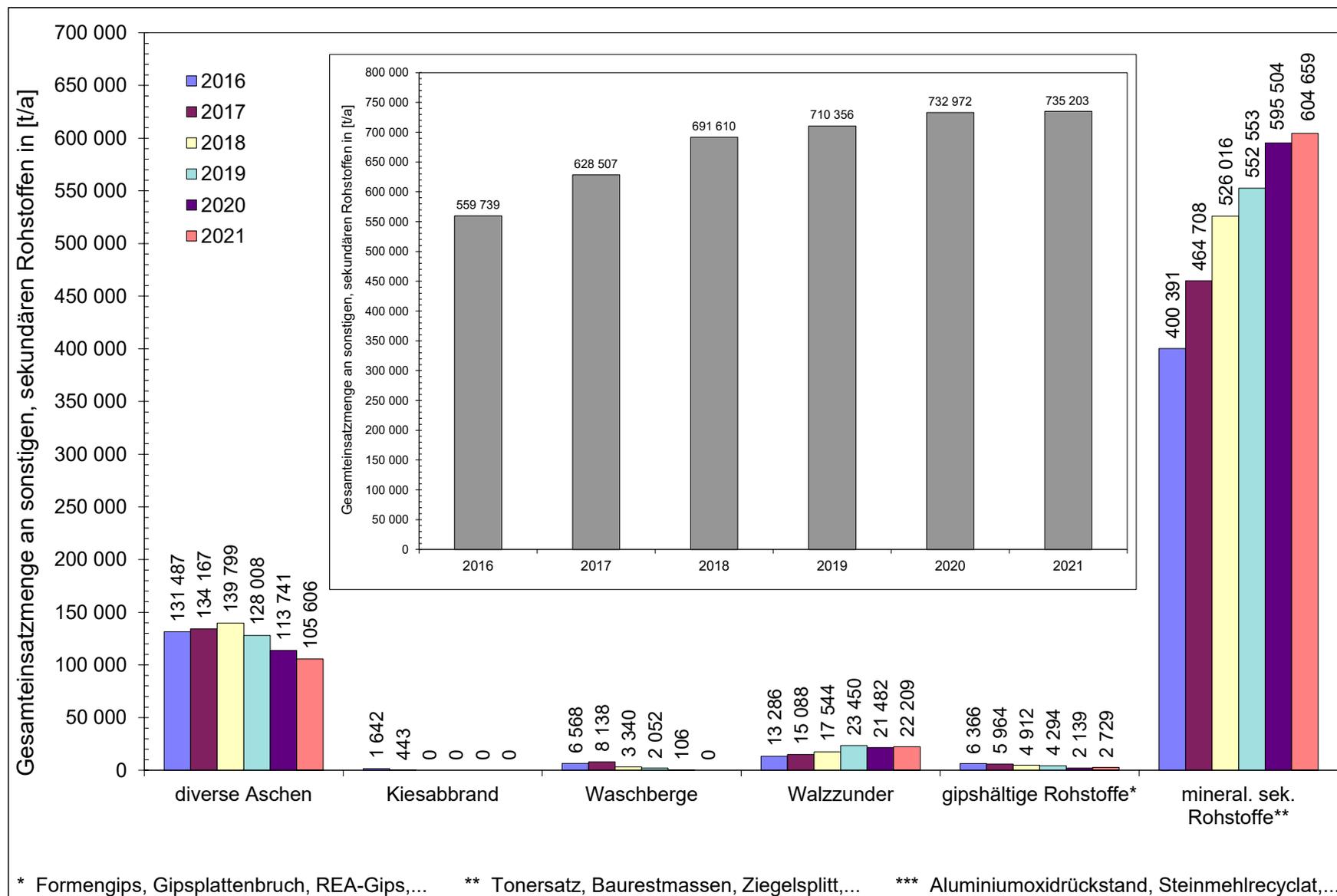


Abbildung 3-16: Spezifizierung der im Zeitraum von 2016 bis 2021 in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) verwendeten sonstigen sekundären Rohstoffmassenströme

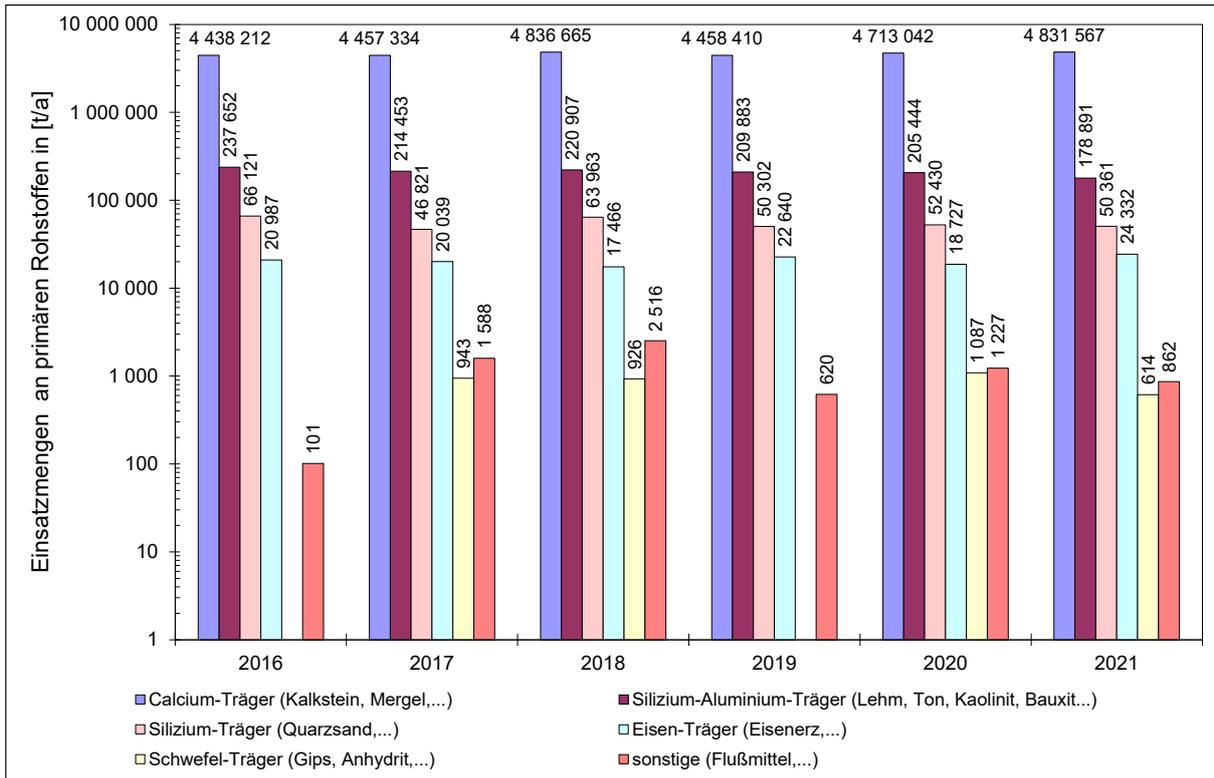


Abbildung 3-17: Einsatzmengen primärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Zeitraum von 2016 bis 2021 (ohne Mahlwerke)

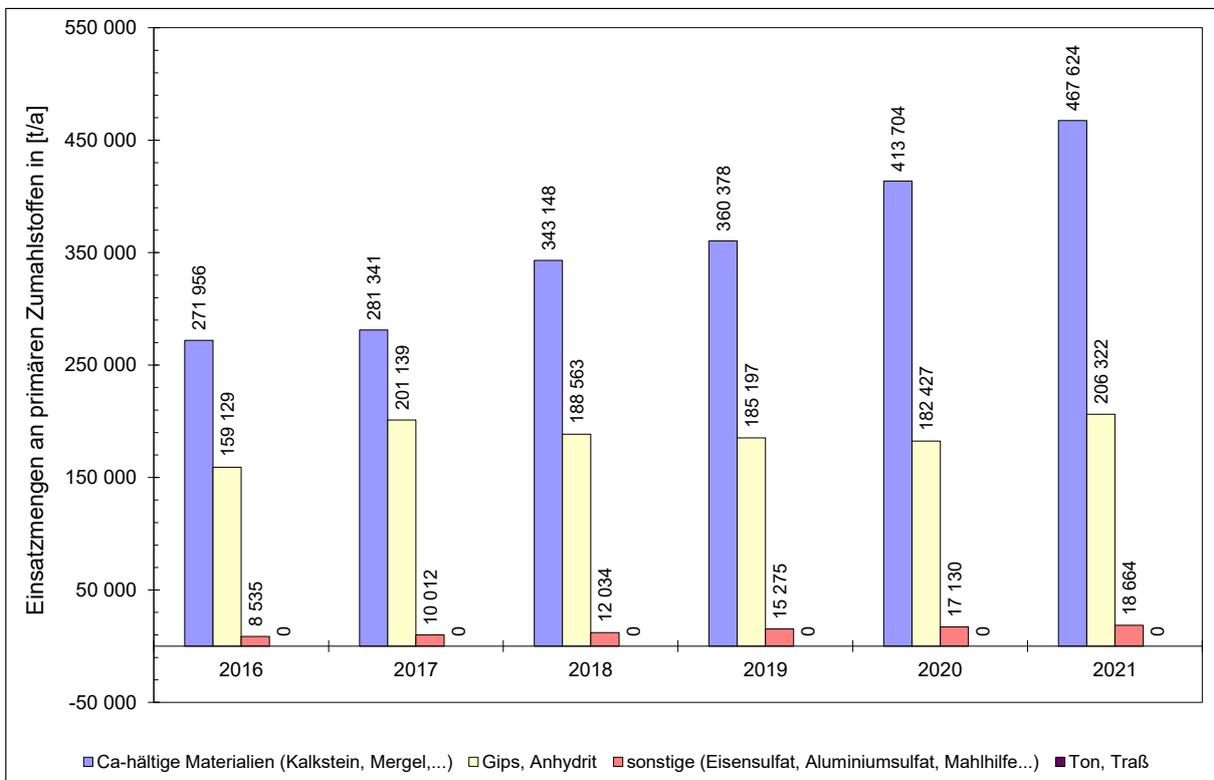


Abbildung 3-18: Einsatzmengen primärer Zusatzstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 2016 bis 2021 (ohne Mahlwerke)

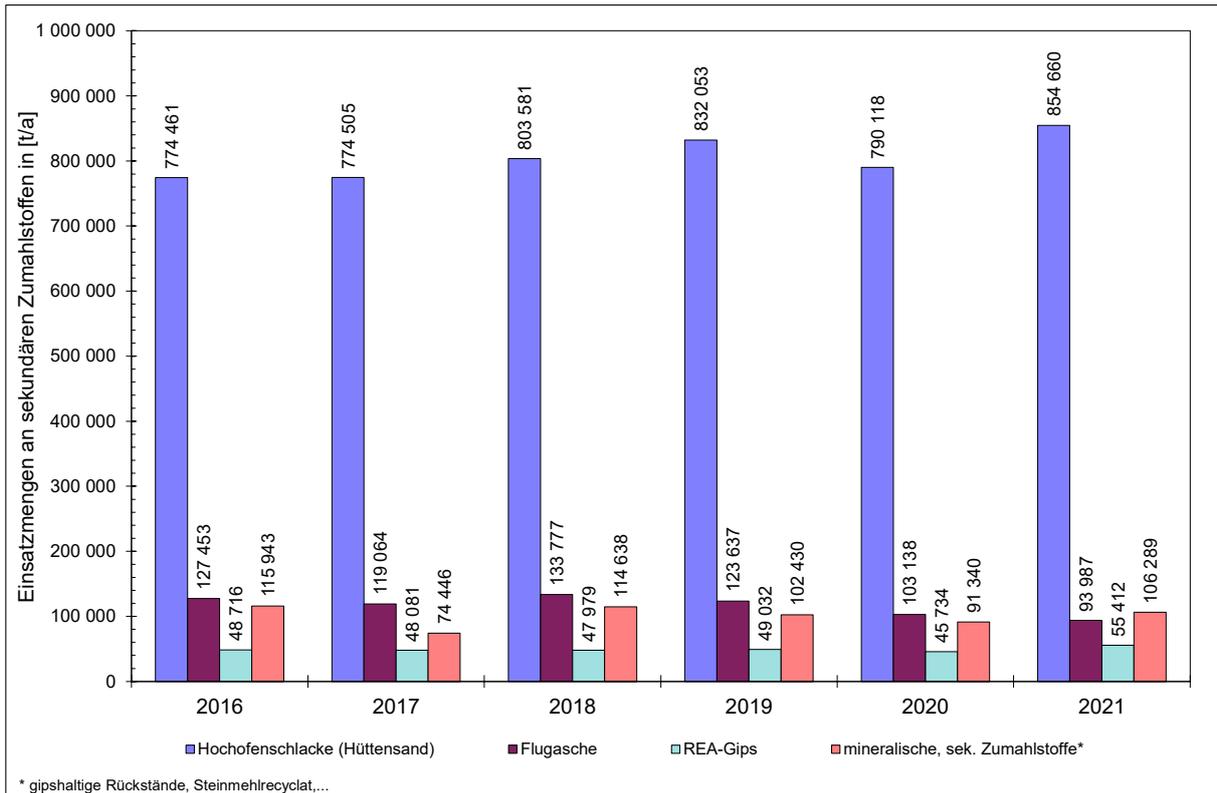


Abbildung 3-19: Einsatzmengen sek. Zumahlstoffe in der österreichischen Zementindustrie (2016 - 2021, ohne Mahlwerke)

3.5 Emissionsstatistik

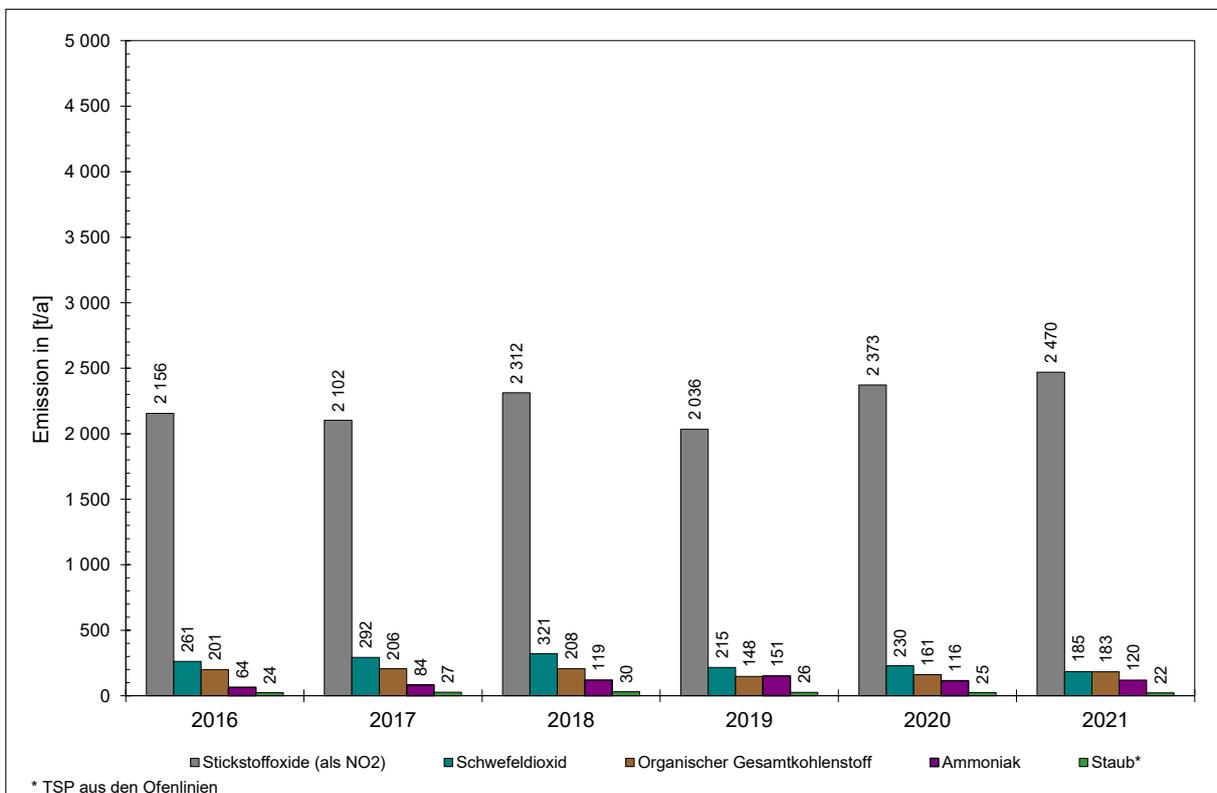


Abbildung 3-20: jährliche Emissionen an Stickstoffoxiden (als NO₂), an Schwefeldioxid, an organischem Gesamtkohlenstoff, an Ammoniak und an Staub (TSP aus Ofenlinien) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 2016 bis 2021

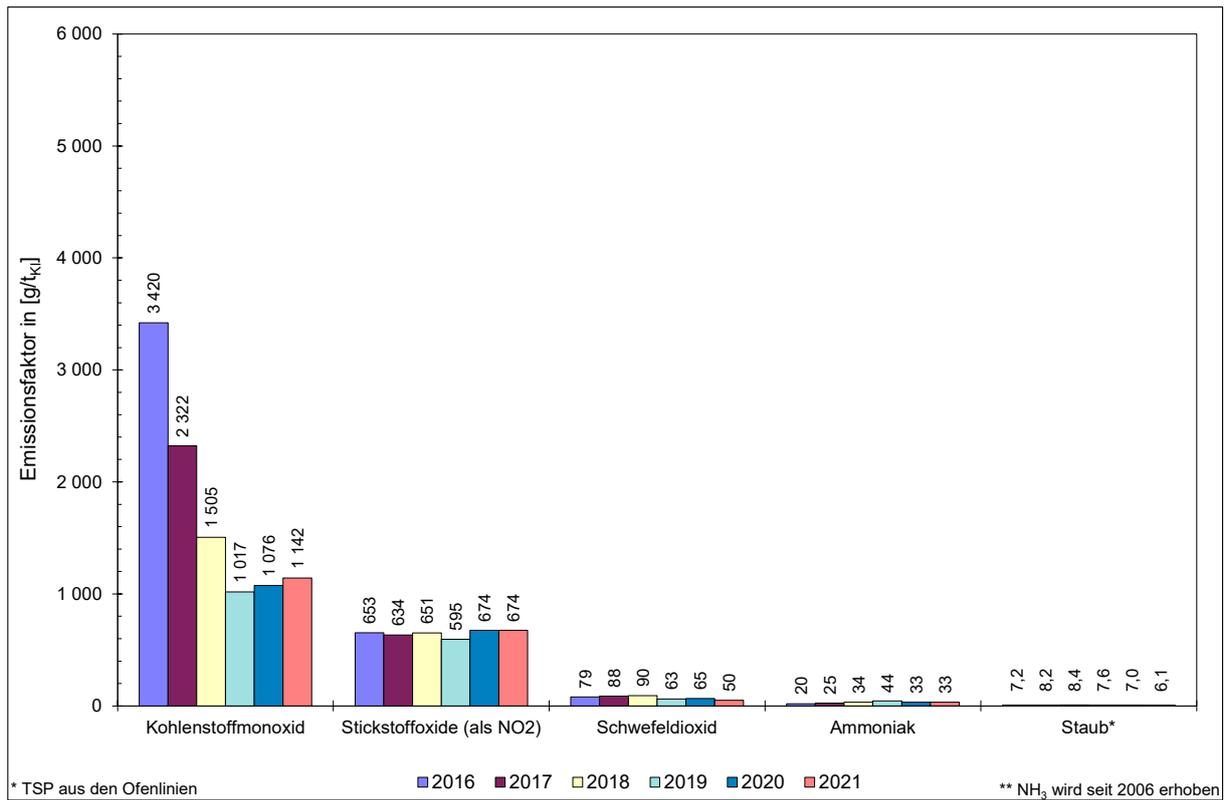


Abbildung 3-21: zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenstoffmonoxid, für Stickstoffoxide (als NO₂), für Schwefeldioxid, für Ammoniak und für Staub (TSP aus Ofenlinien), jeweils bezogen auf 1 t Klinker (2016 - 2021, ohne Mahlwerke)

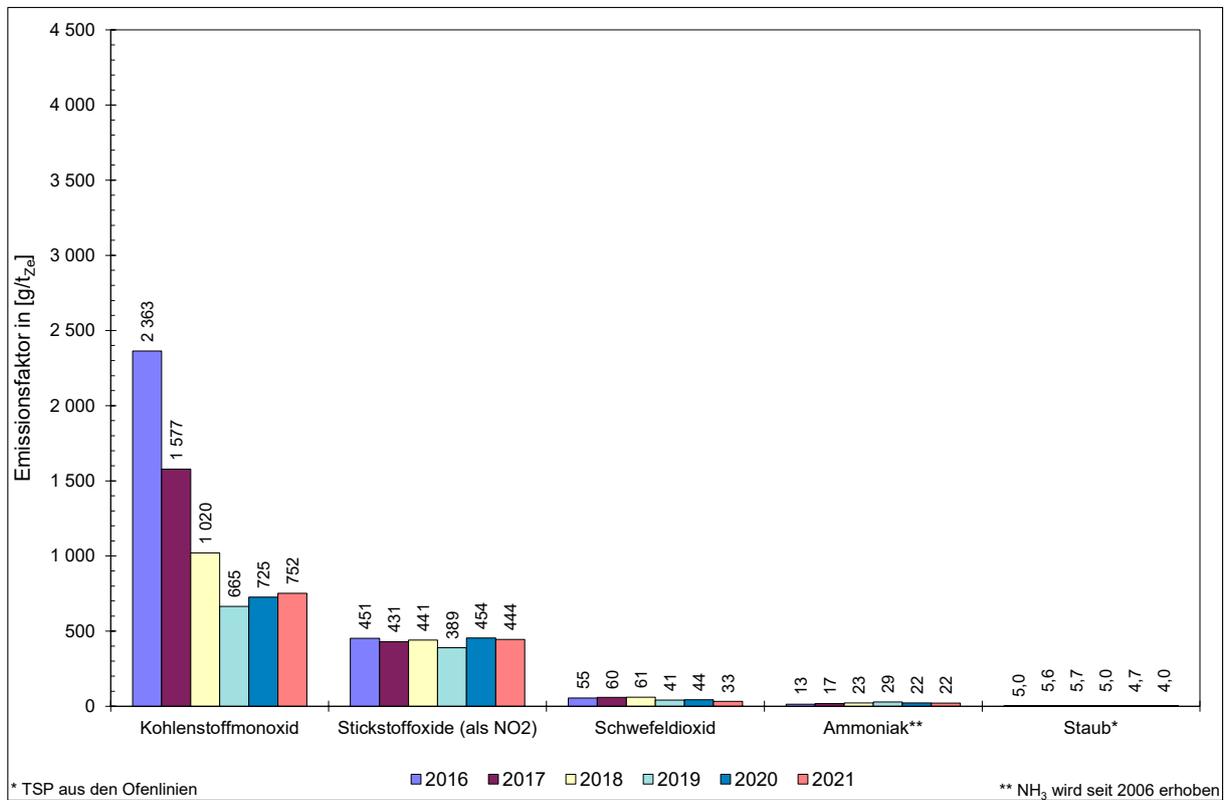


Abbildung 3-22: zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenstoffmonoxid, für Stickstoffoxide (als NO₂), für Schwefeldioxid, für Ammoniak und für Staub (TSP aus Ofenlinien), jeweils bezogen auf 1 t Zement (2016 - 2021, ohne Mahlwerke)

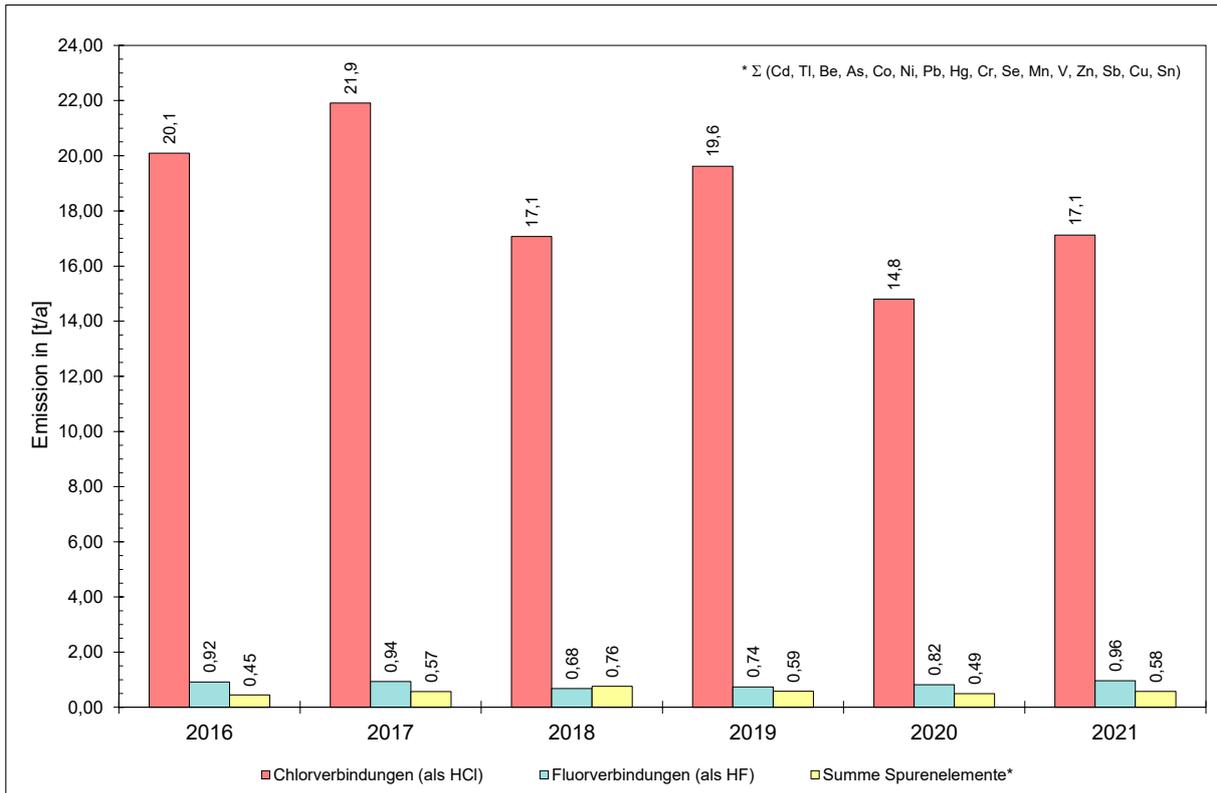


Abbildung 3-23: zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an chlor- und fluorhaltigen Verbindungen (ausgewiesen als HCl bzw. HF) sowie der jährlichen Gesamtemissionen an Spurenelementen jeweils für den Zeitraum 2016 bis 2021 (ohne Mahlwerke)

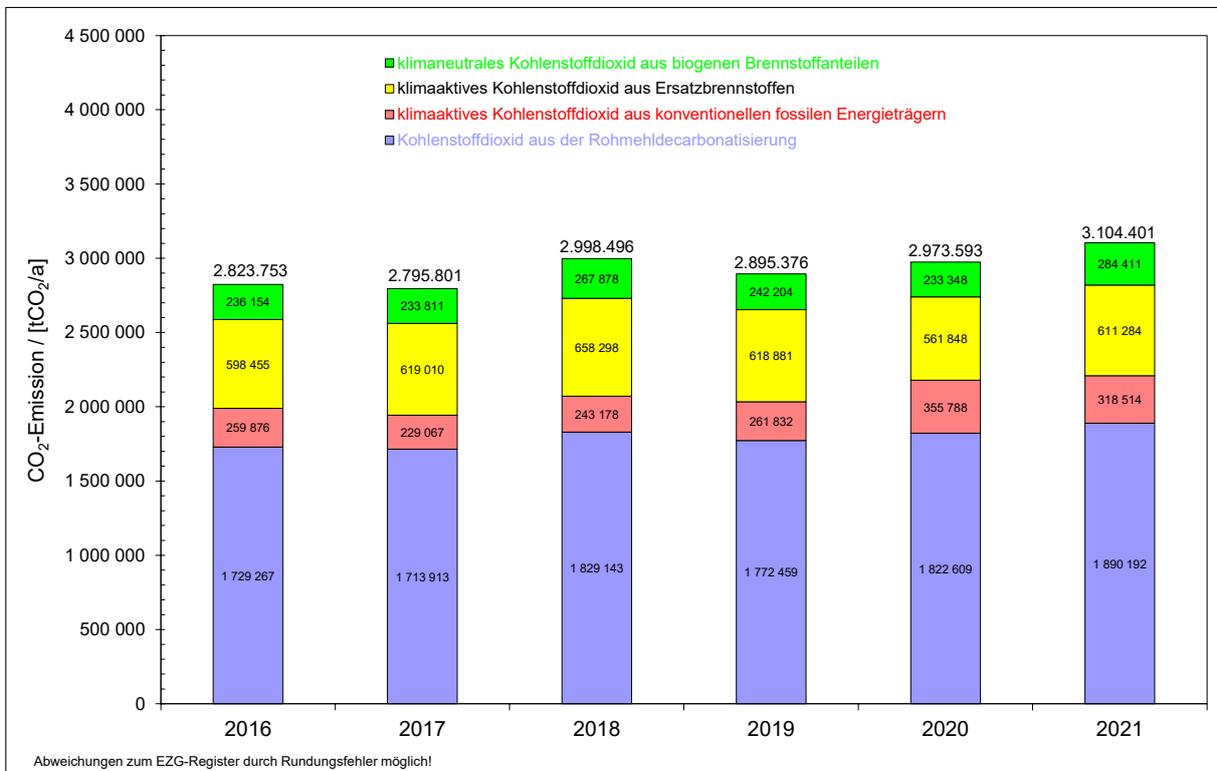


Abbildung 3-24: zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an Kohlenstoffdioxid aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021 (nach EZG)

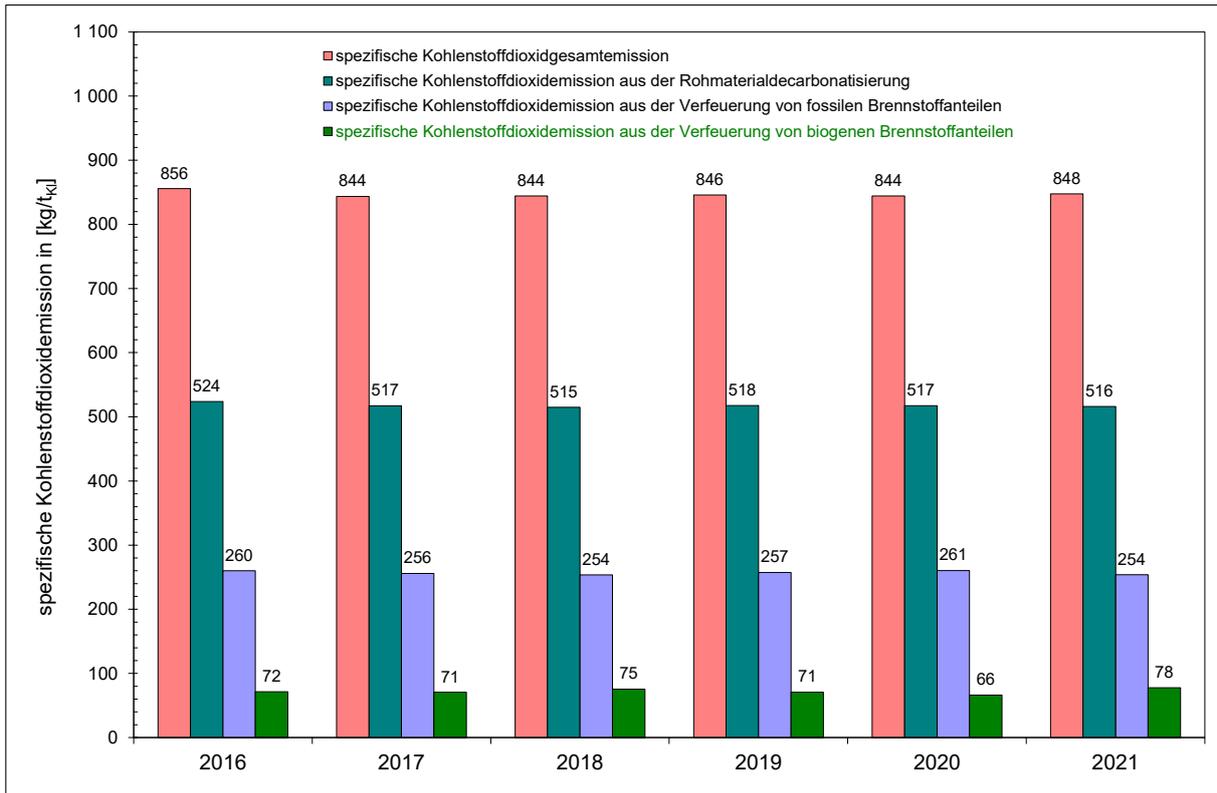


Abbildung 3-25: auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische CO₂-Emissionen (mit biogenen CO₂-Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021 (nach EZG)

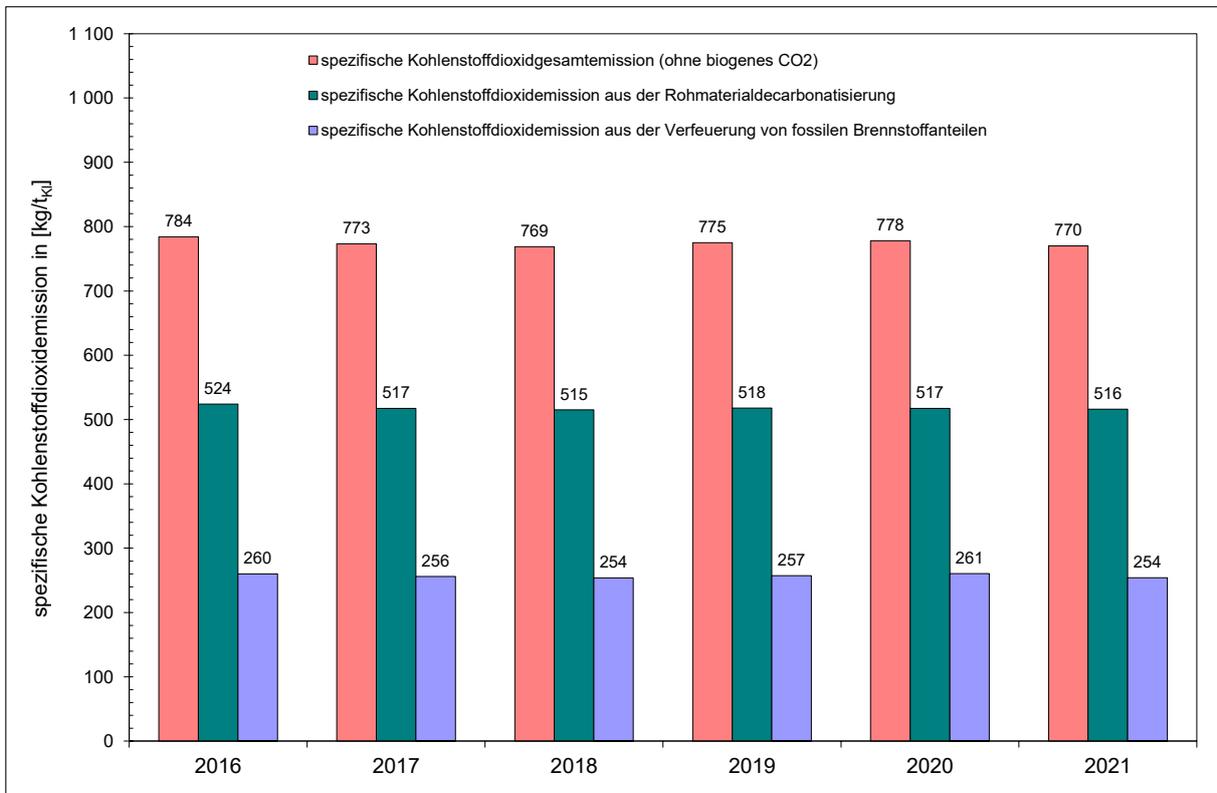


Abbildung 3-26: auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische CO₂-Emissionen (ohne biogene CO₂-Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021 (nach EZG)

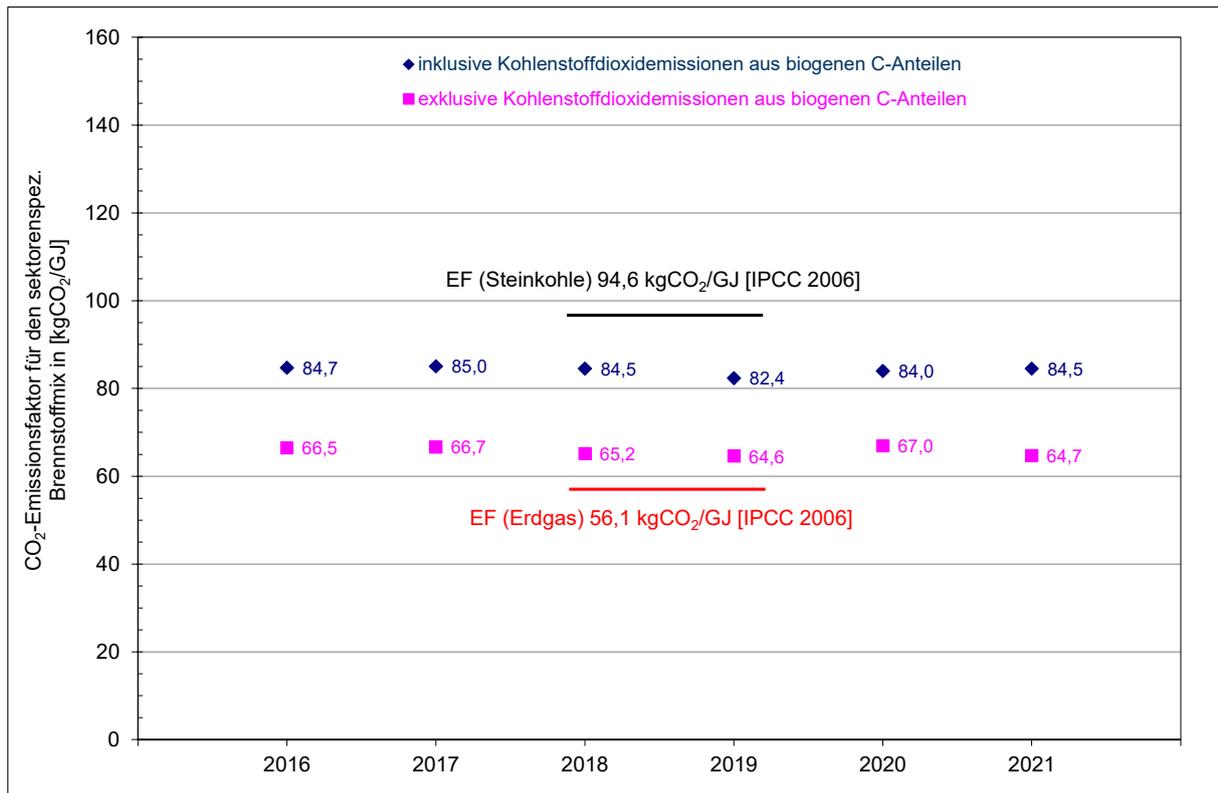


Abbildung 3-27: auf GJ Brennstoffwärmemenge bezogene, relative CO₂-Emissionen (Emissionsfaktor EF) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021 (nach EZG)

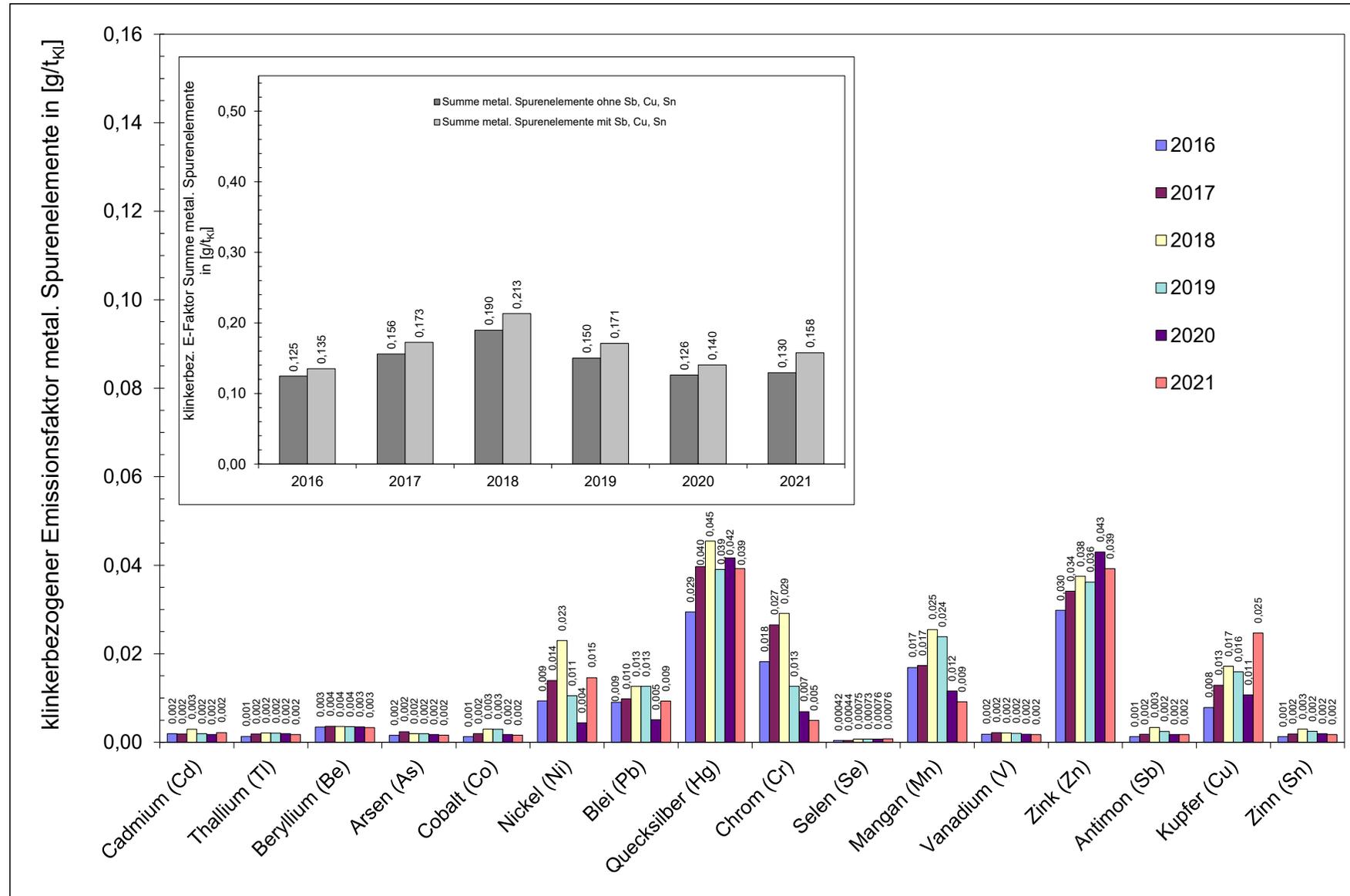


Abbildung 3-28: klinkerbezogene Emissionsfaktoren diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 2016 bis 2021

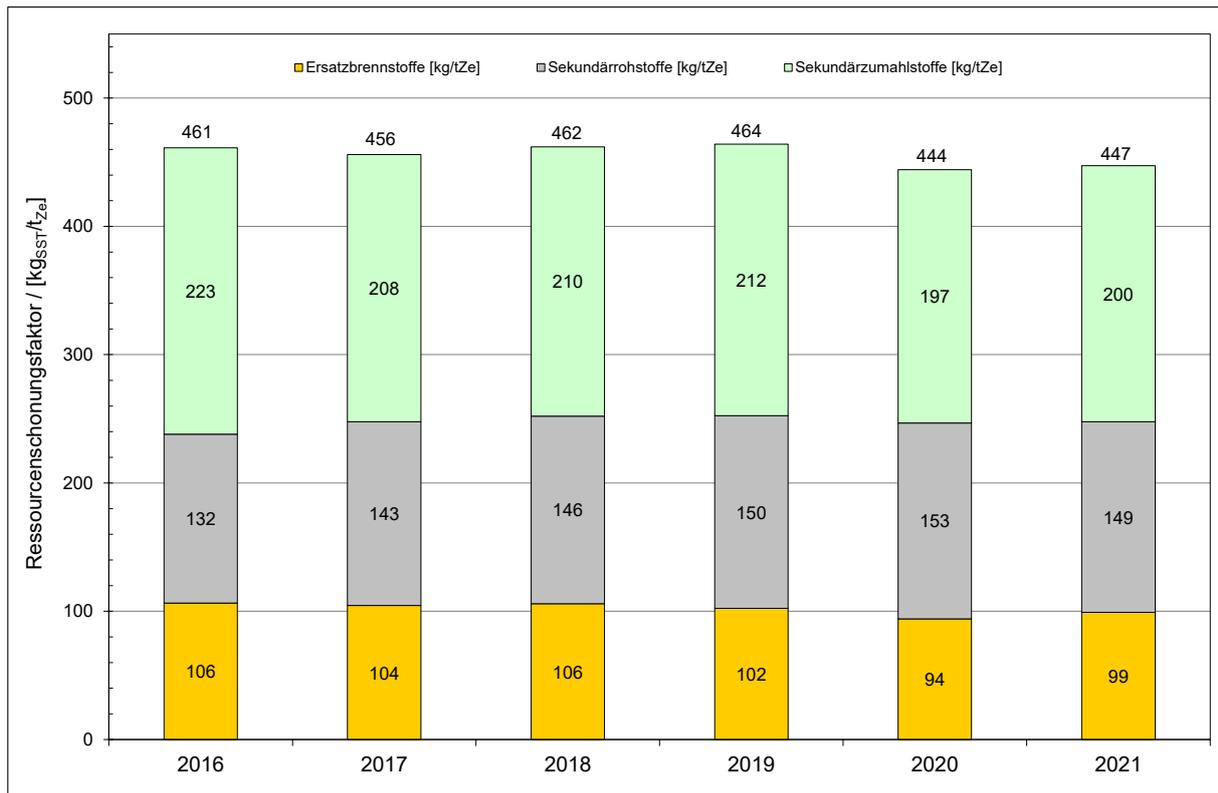


Abbildung 3-29: Ressourcenschonungsfaktor für Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Vergleichszeitraum 2016 bis 2021

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

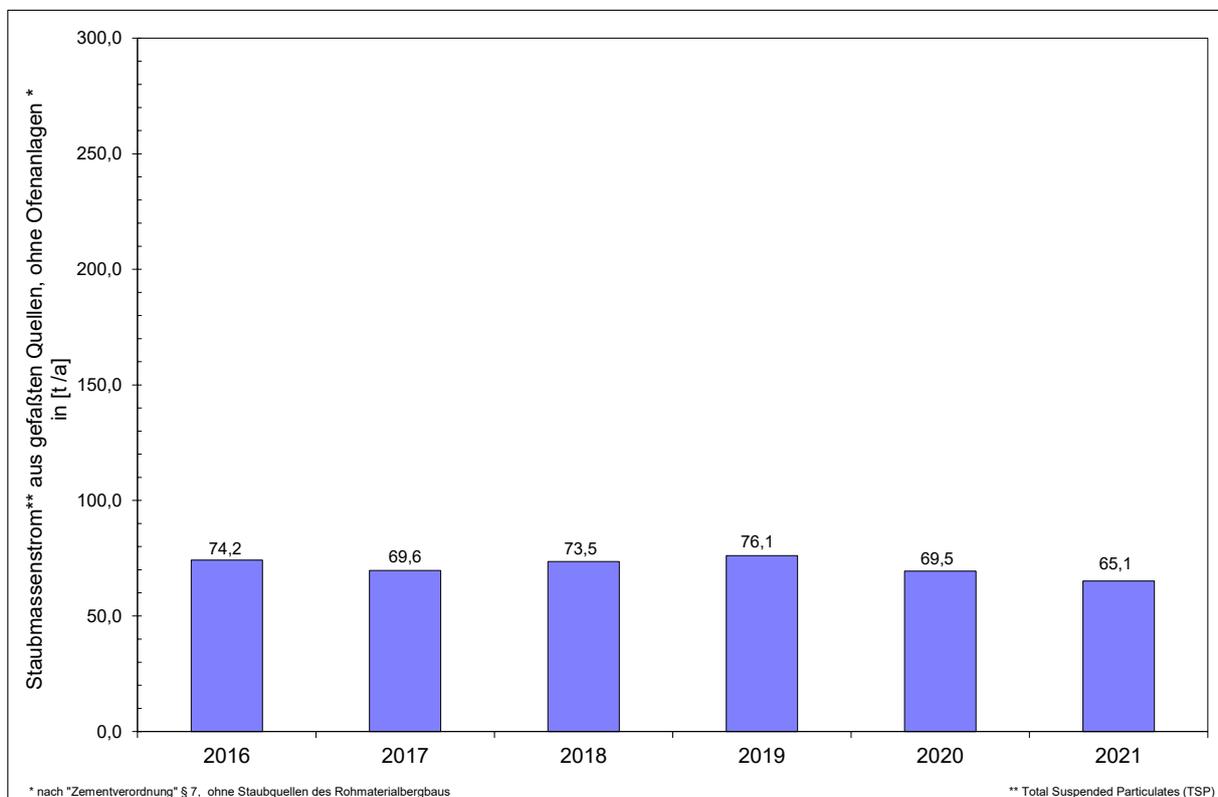


Abbildung 3-30: Staubmassenstrom (TSP) aus "gefaßten Quellen, ausgen. Ofenanlagen" nach "Zementverordnung" § 7 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021

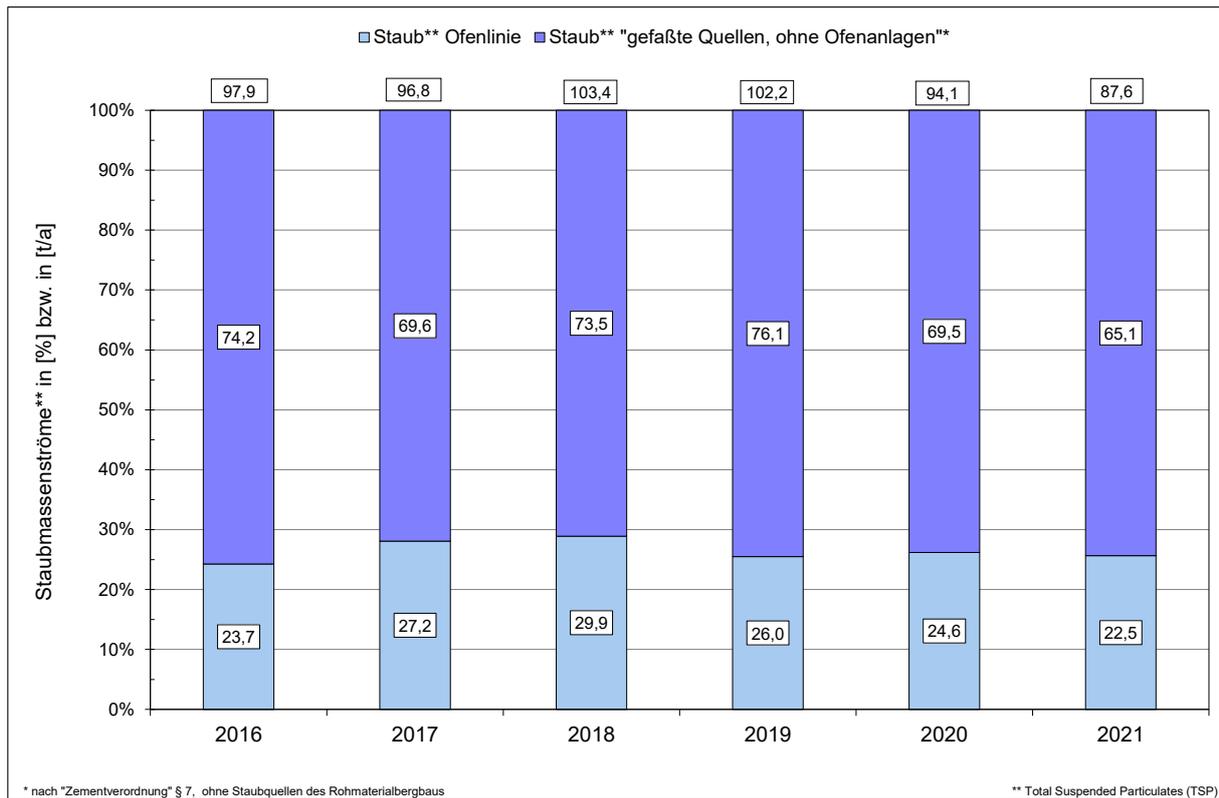


Abbildung 3-31: staubförmige Emissionen unter Berücksichtigung von Staubemissionen aus "gefaßten Quellen, ausgenommen Ofenanlagen" nach "Zementverordnung" § 7 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021

4 Kurzkomentar zu den Ergebnissen

4.1 Anlage- und Produktionsdaten

Kennzahl	2020		2021	
		[%]		[%]
installierte Klinkerkapazität [t/a]	5 413 400		5 413 400	0,00
		100,00		
Rohmehleinsatz [t/a]	5 404 367		5 623 758	4,06
		100,00		
Klinkerproduktion [t/a]	3 522 299		3 662 612	3,98
		100,00		
Zementproduktion [t/a]	5 223 206		5 561 049	6,47
		100,00		
Ofenbetriebsstunden ^{a)} [h _{OB} /a]	57 243,5		58 556,0	
^{a)} alle Drehrohrofenbetriebszustände		100,00		2,29
Rohmehlfaktor [t _{rm} /t _{kl}]	1,534		1,535	
		100,00		0,07
Klinkerfaktor ^{b)} [t _{kl} /t _{ze}]	0,701		0,692	
^{b)} = Klinkerverbrauch/Zementproduktion		100,00		-1,24
spezifischer thermischer Energieeinsatz [GJ/t _{kl}]	3,891		3,923	
		100,00		0,82
spezifischer elektrischer Energieeinsatz [kWh/t _{ze}]	114,823		113,317	
		100,00		-1,31
Klinkerbrandfaktor [t _{kl} /h _{OB}]	61,532		62,549	
		100,00		1,65
Abgasfaktor ^{c)} [m ³ (Vn)/h _{OB}]	165 165		174 244	
^{c)} nicht auf 10 Vol.-% O ₂ bezogen		100,00		5,50
spezifische Abgasmenge ^{d)} [m ³ (Vn)/t _{kl}]	2 684		2 786	
^{d)} nicht auf 10 Vol.-% O ₂ bezogen		100,00		3,78
Anteil Ersatzbrennstoffe am thermischen Gesamtenergieeinsatz [%]	70,59		75,21	
		100,00		6,55
Ressourcenschonungsfaktor ^{e)} [kg/t _{ze}]	444,1		447,4	
^{e)} Ersatzstoffmenge bei der Produktion 1 t Zement		100,00		0,74

Tabelle 4-1: Produktionsdaten für Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Jahresvergleich 2021 mit 2020

Mit ca. 5.413.400 t/a blieb die installierte Klinkerkapazität in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Jahresvergleich 2021 mit 2020 unverändert (Tabelle 4-1).

Die Klinkerproduktionsmenge erhöhte sich im Jahr 2021 gegenüber 2020 um ca. 4,0 % auf ca. 3,66 Millionen Jahrestonnen.

Die Zementproduktionsmenge erhöhte sich im Jahresvergleich 2021 mit 2020 um ca. 6,5 % auf ca. 5,56 Millionen Jahrestonnen.

Der Klinkerfaktor sank im Jahresvergleich 2021 mit 2020 um ca. 1,2 % von 0,701 auf 0,692 t_{kl}/t_{ze}.

Die Anzahl an Ofenbetriebsstunden erhöhte sich im Jahresvergleich 2021 mit 2020 um ca. 2,3 % von 57.243,5 auf 58.556 Stunden.

Der Klinkerbrandfaktor verbesserte sich von ca. 61,5 t_{kl}/h_{OB} im Jahr 2020 um ca. 1,7 % auf ca. 62,5 t_{kl}/h_{OB} im Jahr 2021.

Für die Produktion einer Tonne Klinker wurde im Jahr 2021 mit ca. 3,92 GJ um ca. 0,8 % mehr thermische Energie (Brennstoffwärmeverbrauch) verbraucht als im Jahr 2020 mit ca. 3,89 GJ.

Für die Produktion einer Tonne Zement wurde im Jahr 2021 mit ca. 113,3 kWh um ca. 1,3 % weniger elektrische Energie eingesetzt als im Jahr 2020 mit ca. 114,8 kWh.

Die auf die Tonne produzierten Klinker bezogene spezifische Abgasmenge erhöhte sich 2021 gegenüber 2020 um ca. 3,8 % von ca. 2.684 m³(Vn) auf ca. 2.786 m³(Vn).

Der Anteil von Brennstoffwärmemenge aus der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen am thermischen Gesamtenergieeinsatz, erhöhte sich von ca. 70,59 % im Jahr 2020 auf ca. 75,21 % im Jahr 2021, entsprechend einer Erhöhung um ca. 6,6 %.

Im Jahresvergleich 2021 mit 2020 erhöhte sich die Einsatzmengen an Ersatzstoffen (i.e. Ersatzbrennstoffe, Sekundärrohstoffe, Sekundärzumahlstoffe), die für die Produktion einer Tonne Zement verwendet wurden (Ressourcenschonungsfaktor) von ca. 444,1 kg um ca. 0,7 % auf ca. 447,4 kg.

Im Jahr 2021 wurden aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie ca. 192,7 TJ Wärmeenergie an externe Verbraucher ausgekoppelt (Abbildung 3-12, Seite 13). Dies entsprach ca. 1,3 % des jährlichen thermischen Gesamtenergieeinsatzes der österreichischen Zementindustrie von ca. 14.368 TJ (Tabelle 3-1, Seite 7).

4.2 Emissionen

4.2.1 Schadstoffe

Emissionsfaktor	2020		2021	
	[g/t _K]	[%]	[g/t _K]	[%]
Staub (TSP aus den Ofenlinien)	6,99		6,13	
		100,00		-12,30
Stickstoffoxide (als NO ₂)	673,84		674,39	
		100,00		0,08
Schwefeldioxid (SO ₂)	65,19		50,39	
		100,00		-22,71
Summe metallische Spurenelemente Σ(Cd, Tl, Be, As, Co, Ni, Pb, Hg, Cr, Se, Mn, V, Zn, Sb, Cu, Sn)	0,140468		0,157745	
		100,00		12,30
chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	4,202		4,676	
		100,00		11,27
fluorhaltige Verbindungen (als HF)	0,233		0,262	
		100,00		12,68
organischer Gesamtkohlenstoff (TOC)	45,704		49,989	
		100,00		9,38
Kohlenstoffmonoxid (CO)	1 075,7		1 142,3	
		100,00		6,19
Kohlenstoffdioxid (CO ₂) (inklusive klimaneutrales CO ₂)	844 219		847 592	
		100,00		0,40

Tabelle 4-2: Emissionsänderungen bei ausgewählten Schadstoffen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Bilanzjahr 2021 bezogen auf 2020

Im Jahresvergleich 2021 mit 2020 verringerten sich die klinkerbezogenen spezifischen Emissionsfaktoren [g/t_K] für Schwefeldioxid und Staub. Hingegen verzeichneten die klinkerbezogenen spezifischen Emissionsfaktoren [g/t_K] für fluorhaltige Verbindungen, Summe metallischer Spurenelemente (Σ(Cd, Tl, Be, As, Co, Ni, Pb, Hg, Cr, Se, Mn, V, Zn, Sb, Cu, Sn)), chlorhaltige Verbindungen, organischer Gesamtkohlenstoff, Kohlenstoffmonoxid und Kohlenstoffdioxid (inklusive „klimaneutrales“ Kohlenstoffdioxid) Zuwächse. Der klinkerbezogene spezifische Emissionsfaktor [g/t_K] für Stickstoffoxide (berechnet als NO₂) blieb im Jahresvergleich 2021 mit 2020 nahezu unverändert (Tabelle 4-2).

4.2.2 Metallische Spurenelemente

Bei fünf metallischen Spurenelementen (Ni, Cu, Pb, Cd und Se) haben sich im Jahresvergleich 2021 mit 2020 die klinkerbezogenen Emissionsfaktoren [g/t_{kl}] verschlechtert (Tabelle 4-3).

Es konnten im Jahresvergleich 2021 mit 2020 bei elf metallischen Spurenelementen (Cr, Mn, Tl, Sn, Zn, As, Co, Hg, V, Be und Sb) Verbesserungen bei den klinkerbezogenen Emissionsfaktoren [g/t_{kl}] verzeichnet werden (Tabelle 4-3).

Insgesamt betrachtet, verschlechterte sich der klinkerbezogene Emissionsfaktor für Summe metallische Spurenelemente (Cd, Tl, Be, As, Co, Ni, Pb, Hg, Cr, Se, Mn, V, Zn, Sb, Cu und Sn) von ca. 0,140 g/t_{kl} im Jahr 2020 um ca. 12,3 % auf ca. 0,158 g/t_{kl} im Jahr 2021 (Tabelle 4-3).

Der klinkerbezogene Emissionsfaktor für die Summe der ausgewählten metallischen Spurenelemente Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V und Sn verschlechterte sich von ca. 0,0478 g/t_{kl} im Jahr 2020 um ca. 48,8 % auf ca. 0,0712 g/t_{kl} im Jahr 2021 (Tabelle 4-3).

Der klinkerbezogene Emissionsfaktor für die Summe der beiden metallischen Spurenelemente Cd und Tl verschlechterte sich von ca. 0,0037 g/t_{kl} im Jahr 2020 um ca. 6,5 % auf ca. 0,0040 g/t_{kl} im Jahr 2021 (Tabelle 4-3).

metallische Spurenelement	2019 Emissionsfaktor [g/t _{kl}]	2020 Emissionsfaktor [g/t _{kl}]	2021 Emissionsfaktor [g/t _{kl}]	2021/2020 Änderung [%]	2021/2019 Änderung [%]
Cadmium (Cd)	0,001910	0,001760	0,002211	25,64	15,78
Thallium (Tl)	0,002063	0,001957	0,001746	-10,77	-15,37
Beryllium (Be)	0,003540	0,003495	0,003324	-4,89	-6,10
Arsen (As)	0,001910	0,001760	0,001616	-8,20	-15,40
Cobalt (Co)	0,002955	0,001760	0,001616	-8,20	-45,32
Nickel (Ni)	0,010521	0,004431	0,014616	229,85	38,92
Blei (Pb)	0,012659	0,005111	0,009314	82,24	-26,43
Quecksilber (Hg)	0,039064	0,041663	0,039256	-5,78	0,49
Chrom (Cr)	0,012665	0,006929	0,004938	-28,73	-61,01
Selen (Se)	0,000735	0,000761	0,000764	0,33	3,94
Mangan (Mn)	0,023872	0,011626	0,009160	-21,21	-61,63
Vanadium (V)	0,002021	0,001851	0,001756	-5,14	-13,12
Zink (Zn)	0,036195	0,042993	0,039252	-8,70	8,45
Antimon (Sb)	0,002443	0,001760	0,001750	-0,55	-28,34
Kupfer (Cu)	0,015945	0,010686	0,024696	131,10	54,88
Zinn (Sn)	0,002471	0,001925	0,001730	-10,10	-29,97
<i>Summe o.g. metallische Spurenelemente</i>	<i>0,170969</i>	<i>0,140468</i>	<i>0,157745</i>	<i>12,30</i>	<i>-7,73</i>
<i>Σ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn)</i>	<i>0,087463</i>	<i>0,047839</i>	<i>0,071192</i>	<i>48,82</i>	<i>-18,60</i>
<i>Σ (Cd, Tl)</i>	<i>0,003973</i>	<i>0,003717</i>	<i>0,003957</i>	<i>6,47</i>	<i>-0,39</i>

Tabelle 4-3: Emissionsfaktoren für metallische Spurenelemente und ihre prozentuelle Änderung in 2021 bezogen auf 2020 bzw. 2019

4.2.3 Emissionskonzentrationen ausgewählter Schadstoffe

Im Jahresvergleich 2021 mit 2020 verbesserten sich die auf 10,0 Vol.-% O₂ im Abgas bezogenen - als Jahresmittelwerte ausgewiesenen - Emissionskonzentrationen u.a. für Schwefeldioxid, für ofengängigen Staub und für Stickstoffoxide (berechnet als NO₂) (Tabelle 4-4).

Es verschlechterten sich im Jahresvergleich 2021 mit 2020 die auf 10,0 Vol.-% O₂ im Abgas bezogenen - als Jahresmittelwerte ausgewiesenen - Emissionskonzentrationen u.a. für Summe metallischer Spurenelemente (Cd, Tl, Be, As, Co, Ni, Pb, Hg, Cr, Se, Mn, V, Zn, Sb, Cu und Sn) und für organischen Gesamtkohlenstoff (TOC) (Tabelle 4-4).

Emissionskonzentration (Jahresmittelwert, 10,0 Vol.-% O ₂)	2019 [mg/m ³ (Vn)tr.]	2020 [mg/m ³ (Vn)tr.]	2021 [mg/m ³ (Vn)tr.]	2021/2020 Änderung [%]	2021/2019 Änderung [%]
Staub (TSP aus den Ofenlinien)	3,21	2,91	2,50	-13,93	-22,04
Stickstoffoxide (als NO ₂)	250,9	280,0	275,0	-1,78	9,63
Schwefeldioxid (SO ₂)	26,5	27,1	20,5	-24,15	-22,42
organischer Gesamtkohlenstoff (TOC)	18,2	19,0	20,4	7,35	12,03
Σ (Cd, Tl, Be, As, Co, Ni, Pb, Hg, Cr, Se, Mn, V, Zn, Sb, Cu, Sn)	0,072121	0,058369	0,064332	10,22	-10,80
Σ (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V, Sn)	0,036895	0,019879	0,029034	46,05	-21,31
Σ (Cd, Tl)	0,001676	0,001544	0,001614	4,50	-3,70

Tabelle 4-4: Emissionskonzentrationen ausgewählter Luftschadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie und ihre prozentuelle Änderung in 2021 bezogen auf 2020 bzw. 2019 (Jahresmittelwerte, 10,0 Vol.-% O₂)

5 Tabellenverzeichnis

1.)	Tabelle 2-1: erfaßte Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen	4
2.)	Tabelle 3-1: Gesamtübersichtstabelle - Emissionen und Produktionsmittel der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 2016 bis 2021	7
3.)	Tabelle 4-1: Produktionsdaten für Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Jahresvergleich 2021 mit 2020	27
4.)	Tabelle 4-2: Emissionsänderungen bei ausgewählten Schadstoffen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Bilanzjahr 2021 bezogen auf 2020	28
5.)	Tabelle 4-3: Emissionsfaktoren für metallische Spurenelemente und ihre prozentuelle Änderung in 2021 bezogen auf 2020 bzw. 2019	29
6.)	Tabelle 4-4: Emissionskonzentrationen ausgewählter Luftschadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie und ihre prozentuelle Änderung in 2021 bezogen auf 2020 bzw. 2019 (Jahresmittelwerte, 10,0 Vol.-% O ₂)	30

6 Abbildungsverzeichnis

1.)	Abbildung 2-1: Anlagenspiegel der österreichischen Zementwerke mit Ofenbetrieb (Stichtag: 31.12.2021)	5
2.)	Abbildung 3-1: Rohmehleinsatzmenge, Klinkerproduktionsmenge und Zementproduktionsmenge der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021 (ohne Mahlwerke)	8
3.)	Abbildung 3-2: Klinkerfaktor und Rohmehlfaktor im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021	8
4.)	Abbildung 3-3: Entwicklung des Klinkerbrandfaktors / $[t_{kl}/h_{OB}]$ in den Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021	9
5.)	Abbildung 3-4: Einsatzmengen konventioneller Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021	9
6.)	Abbildung 3-5: Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021	10
7.)	Abbildung 3-6: Entwicklung des thermischen und elektrischen Energieeinsatzes in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021	10
8.)	Abbildung 3-7: Ersatzbrennstoffenergieanteil am thermischen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021	11
9.)	Abbildung 3-8: Brennstoffwärmemengen aus der Verfeuerung von Ersatzbrennstoffen in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 1988 bis 2021	11
10.)	Abbildung 3-9: auf die Tonne Zement bzw. auf die Tonne Klinker bezogener spezifischer Brennstoffenergieeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021	12
11.)	Abbildung 3-10: über den Bilanzzeitraum 2019, 2020 und 2021 mengengewichtete Mittelwerte von Heizwerten unterschiedlicher Drehofenbrennstoffe (im Einsatzzustand) mit werksspezifischen Minimal- und Maximalwerten	12
12.)	Abbildung 3-11: mittlerer spezifischer Energieeinsatz je Tonne Zement in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 2016 bis 2021	13
13.)	Abbildung 3-12: Wärmeabgabe an externe Verbraucher aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2005 bis 2021	13
14.)	Abbildung 3-13: Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 2016 bis 2021	14

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 2016 bis 2021	15
16.)	Abbildung 3-15: Einsatzmengen sekundärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 2016 bis 2021	16
17.)	Abbildung 3-16: Spezifizierung der im Zeitraum von 2016 bis 2021 in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) verwendeten sonstigen sekundären Rohstoffmassenströme	17
18.)	Abbildung 3-17: Einsatzmengen primärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Zeitraum von 2016 bis 2021 (ohne Mahlwerke)	18
19.)	Abbildung 3-18: Einsatzmengen primärer Zumahlstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 2016 bis 2021 (ohne Mahlwerke)	18
20.)	Abbildung 3-19: Einsatzmengen sekundärer Zumahlstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 2016 bis 2021 (ohne Mahlwerke)	19
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 2016 bis 2021	19
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 (2016 - 2021, ohne Mahlwerke)	20
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 (2016 - 2021, ohne Mahlwerke)	20
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 2016 bis 2021 (ohne Mahlwerke)	21
25.)	Abbildung 3-24: zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an Kohlenstoffdioxid aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021 (nach EZG)	21
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 2016 bis 2021 (nach EZG)	22
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 2016 bis 2021 (nach EZG)	22
28.)	Abbildung 3-27: auf GJ Brennstoffwärmemenge bezogene, relative CO ₂ -Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021 (nach EZG)	23
29.)	Abbildung 3-28: klinkerbezogene Emissionsfaktoren diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 2016 bis 2021	24
30.)	Abbildung 3-29: Ressourcenschonungsfaktor für Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Vergleichszeitraum 2016 bis 2021	25
31.)	Abbildung 3-30: Staubmassenstrom (TSP) aus "gefaßten Quellen, ausgenommen Ofenanlagen" nach "Zementverordnung" § 7 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021	25
32.)	Abbildung 3-31: staubförmige Emissionen unter Berücksichtigung von Staubemissionen aus "gefaßten Quellen, ausgenommen Ofenanlagen" nach "Zementverordnung" § 7 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2016 bis 2021	26