

Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie II

Jahresreihe 1994 - 1996

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. Ing. E.h. Albert Hackl
Zivilingenieur für Gas- und Feuerungstechnik - Weitra/Wien

Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerd Mausnitz
Universitätsassistent am Institut für
Verfahrens-, Brennstoff- und Umwelttechnik - TU-Wien

Wien, im Juli 1997

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
2.	Datenerfassung	4
2.1	Erfasste Schadstoffe	4
2.2	Erfassungszeitraum	4
2.3	Erfasste Anlagen	5
3.	Datenermittlung	7
4.	Beurteilung der Datenverfügbarkeit	9
5.	Ergebnisse	10
6.	Kommentar zur Entwicklung von 1994 bis 1996	20
6.1	Produktionsdaten	20
6.2	Energieträger	20
6.3	Sekundäre Einsatzstoffe	21
6.4	Emissionen	22
6.4.1	Staub	22
6.4.2	Stickstoffoxide	24
6.4.3	Schwefeldioxid	24
6.4.4	Halogenverbindungen	24
6.4.5	Gesamtkohlenstoff (TOC)	25
6.4.6	Metallische Spurenelemente	25
6.4.7	Kohlenoxide	25
7.	Zusammenfassung	26
8.	Abbildungsverzeichnis	27
9.	Tabellensverzeichnis	28
10.	Literaturverzeichnis	28

1. Einleitung

Emissionsbilanzen für luftverunreinigende Stoffe ermöglichen das Ausmaß der Luftbelastung zu bewerten und helfen Konzepte zur Verminderung dieser Belastung zu entwickeln und diese umzusetzen. Dabei ist zu berücksichtigen, daß eine Emissionsbilanz ohne die Erfassung von prozeßbedingten Emissionen - also eine ausschließlich auf pyrogenen Schadstofffreisetzungen beruhende Bilanz - nur als Teilbilanz beurteilt werden kann, die über die tatsächliche Emissionssituation nur unzureichend Auskunft gibt.

Generell gestaltet sich die Ermittlung von prozeßspezifischen Emissionen aufgrund einer Vielzahl von Einflußfaktoren schwierig. Prozeßbedingte Emissionen der Industrie variieren wegen der unterschiedlichen Zusammensetzung der Einsatzstoffe, der verschiedenen Erzeugungsverfahren - sie bedienen sich unterschiedlicher technischer Anlagen -, sowie der differentiellen Wertstoffspezifikation selbst innerhalb eines speziellen Industriezweiges.

Nur wenige Branchen der österreichischen Industrie haben bisher branchendeckende Emissionsbilanzen für pyrogene und prozeßbezogene Emissionen zusammengestellt und veröffentlicht. Das gleiche gilt für die zeitliche Fortschreibung dieser Emissionsbilanzen. Die österreichische Zementindustrie hat in einer ersten Studie [1] für die Jahre 1988 bis einschließlich 1993 branchenspezifische Emissionsbilanzen für pyrogene und prozeßbezogene Emissionen Anfang 1995 vorgelegt. In dieser Studie sind auch enthalten die für diesen Zeitraum geltenden Energieverbräuche an konventionellen Energieträgern sowie an Ersatz-Brennstoffen, desgleichen werden Einsatzmengen für Sekundärrohstoffe und Sekundärzumahlstoffe angegeben. Mit diesen Daten konnte die Position der österreichischen Zementindustrie bei der thermischen und stofflichen Verwertung von Abfallstoffen, Sekundärrohstoffen und Reststoffen dargestellt werden.

In Fortschreibung dieser ersten Studie wird nun ein Bericht vorgelegt, der den Zeitraum 1994 bis einschließlich 1996 umfaßt. Dieser Zeitraum ist bezüglich der Emissions- und Energiedaten u. a. geprägt durch:

- die analytisch-meßtechnische Ausstattung der Werke, gemäß der Zementverordnung 1993 [3],
- logistische und technische Vorbereitungen auf die Einhaltung bestimmter Emissionsgrenzwerte, gemäß der Zementverordnung 1993 [3],
- die für die österreichische Zementindustrie ungünstige Marktsituation 1995, die einen signifikanten Produktionsrückgang bedingt hat,
- die Fortführung des Trends fossile Brennstoffe durch Ersatz-Brennstoffe zu ersetzen,
- die Stärkung des Einsatzes von Sekundärroh- und -zumahlstoffen,
- die stark verbesserte Absicherung der Emissionsdaten, im besonderen bei den kontinuierlich zu messenden Schadstoffen,
- die Stilllegung des Ofenbetriebes in zwei Werken.

2. Datenerfassung

2.1 Erfaßte Schadstoffe

Unter Berücksichtigung der für die Zementindustrie relevanten Schadstoffpotentiale wurden in Übereinstimmung mit der Studie I [1] Emissionsdaten für 23 Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen erhoben, darunter finden sich 13 metallische Spurenelemente, sowie Emissionsangaben über das Treibhausgas Kohlendioxid, unterteilt in pyrogenes CO₂ und prozeßbezogenes CO₂.

Im einzelnen wurden folgende Emissionskomponenten erfaßt:

- Staubförmige Emissionen
- Stickstoffoxide (als NO₂)
- Schwefeldioxid (SO₂)
- Cadmium (Cd)
- Thallium (Tl)
- Beryllium (Be)
- Arsen (As)
- Cobalt (Co)
- Nickel (Ni)
- Blei (Pb)
- Quecksilber (Hg)
- Chrom (Cr)
- Selen (Se)
- Mangan (Mn)
- Vanadium (V)
- Zink (Zn)
- Chlorverbindungen (als HCl)
- Fluorverbindungen (als HF)
- organischer Gesamtkohlenstoff (TOC)
- Kohlenmonoxid (CO)
- CO₂ pyrogen
- CO₂ decarbonatis

2.2 Erfassungszeitraum

In Fortschreibung des in der Studie I [1] untersuchten Erfassungszeitraumes von 1988 bis einschließlich 1993 wurden nun die Daten für die Folgejahre 1994 bis einschließlich 1996 erhoben. Dadurch ist es möglich, eine Trendanalyse zu erstellen, Mittelwertbildungen auf eine breitere Basis zu beziehen und die Aussagequalität von weniger systematischen Einflußgrößen unabhängiger zu machen.

2.3 Erfasste Anlagen

Es wurden alle Produktionsanlagen der Zementindustrie in Österreich erfasst. Es sind dies die folgenden Werke:

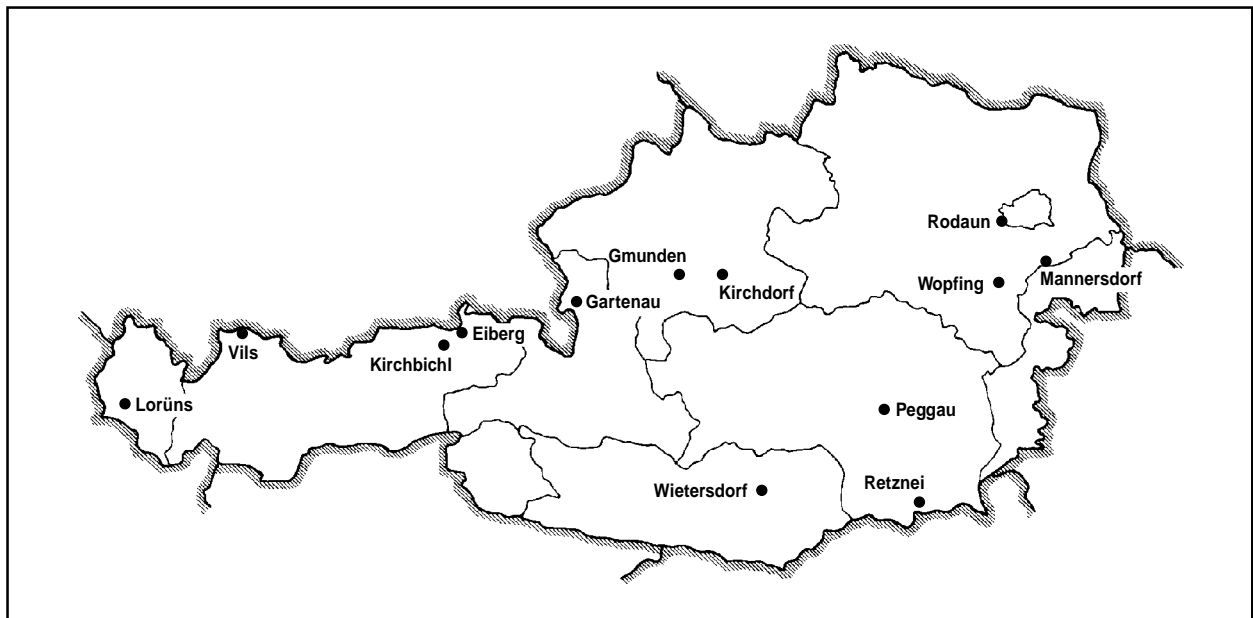
- Zementwerk Leube Ges.m.b.H. Gartenau (Gartenau / Salzburg)
- Gmundner Zementwerke Hans Hatschek AG (Gmunden)
- Kirchdorfer Zementwerk Hofmann Ges.m.b.H. (Kirchdorf / Krems)
- SPZ Zementwerk Eiberg GmbH & Co KG (Kufstein)
- Perlmooser Zementwerke AG (Betriebsstandort: Kirchbichl)
- Perlmooser Zementwerke AG (Betriebsstandort: Mannersdorf)
- Perlmooser Zementwerke AG (Betriebsstandort: Retznei)
- Perlmooser Zementwerke AG (Betriebsstandort: Rodaun)
- Vorarlberg Cement Lorüns GmbH (Lorüns)
- Schretter & Cie (Vils)
- Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH (Peggau)
- Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH (Wietersdorf)
- Wopfinger Stein- und Kalkwerke Schmid & Co (Waldegg)

Die geographische Lage dieser Werke ist auf der nachfolgenden Österreichkarte ersichtlich (Abb. 1):

Das Zementwerk *Rodaun* der PERLMOOSER ZEMENTWERKE AG wurde bis zur Stilllegung des Ofenbetriebes am 18. August 1995 in der Bilanzierung berücksichtigt. Gleichfalls wurde das Zementwerk *Lorüns* der VORARLBERG CEMENT LORÜNS GMBH bis zur Einstellung des Klinkerbrandes am 29. Februar 1996 miterfasst.

Die werkspezifischen anlagentechnischen Kenndaten der bilanzierten österreichischen Zementwerke können der aktualisierten Tabelle 1 (Seite 6) entnommen werden.

▼ *Abbildung 1: Werksstandorte der österreichischen Zementindustrie nach [2]*



Anlagenbetreiber	Standort	Anlagentechnik	Lieferant / Zustellung	Klinkerkühler	Entstaubung	Brennstoffe	Klinkerkapazität		
							installiert (01.01.1994) [t/Jahr]	installiert (31.12.1996) [t/Jahr]	
SPZ Zementwerk Eiberg GmbH & Co KG	Kufstein	2strang. 4stufig. WT-DO mit Calz. Ausbr.	KHD (DOI 1960 / 76)	1 Rostkühler	2 E-Filter, Schlauchf.	SK, Ö, R, (AÖ)	400.000	400.000	
Zementwerk Leube Ges.m.b.H. Gartenau	Gartenau	2 vierstufige WT-DO, DOII mit Vorcalz.	KHD (DOI 1960, DOII 1967)	2 Schrägrostkühler	2 E-Filter	SK, BK, Ö	576.000	576.000	
Gmundner Zementwerke Hans Hatschek AG	Gmunden	5stufiger WT-DO	Polysius (DOIV 1972 / 92)	Satellitenkühler	2 E-Filter in Serie	BK, Ö, G, R, AÖ, LM	512.000	512.000	
Kirchdorfer Zementwerk Hofmann Ges.m.b.H.	Kirchdorf	2 vierstufige WT-DO	KHD (DOI 1957/58 DOII 1962)	2 Schrägrostkühler	3 E-Filter	SK, G	368.000	368.000	
Perimooser Zementwerke AG	Kirchbichl	Lepolverfahren 2 DO	Polysius (DOI 1952, DOII 1956)	2 Rohrkühler	je 1 E-Filter u. 1Tuchf.	SK, Ö	275.000	275.000	
Vorarlberg Cement Lorüns GmbH	Lorüns ⁽¹⁾	4stufiger WT-DO	KHD/VOEST (1981)	Rohrkühler	1 E-Filter	SK, Ö	106.000		
Perimooser Zementwerke AG	Mannersdorf	2strang. 5stufig. WT-DO mit Vorcalzinator	VOEST (DOIX 1984)	1 Rostkühler	5 E-Filter	SK, BK, Ö, K, (AÖ)	768.000	768.000	
Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH	Peggau	Lepolverfahren 2 DO	Polysius (DOI 1961, DOII 1979)	2 Rostkühler	je 1 E-Filter	SK, PK, G, AÖ, LM	442.000	442.000	
Perimooser Zementwerke AG	Reitznei	4stufiger WT-DO	Polysius (DOV 1967)	Rostkühler	2 E-Filter	SK, PK, Ö, R, K, (AÖ)	384.000	384.000	
Perimooser Zementwerke AG	Rodaun ⁽²⁾	4stufiger WT-DO	KHD (DOIV 1972)	Rohrkühler	1 E-Filter	SK, Ö, R, (AÖ)	624.000		
Schretter & Cie	Vils	4stufiger WT-DO (zus. 1Lepolofen)	Polysius (DOI 1961, DOII 1973)	2 Rostkühler	Multiklon u. E-Filter	BK, Ö, R	256.000	256.000	
Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH	Wietersdorf	Lepolverfahren 1 DO	Polysius (DOIII 1967)	Rostkühler	1 E-Filter	SK, PK, Ö, R, K	320.000	320.000	
Wopfinger Stein- und Kalkwerke Schmid & Co.	Wopfung	5stufiger WT-DO mit Vorcalzinator	Polysius (1980) (1996)	Rostkühler	E-Filter u. Kiesbettf.	Ö, G, P, K	240.000	240.000	
Symbolik:	SK Steinkohle BK Braunkohlenstaub LM Lösungsmittel K Kunststoffabfälle P Papierfasereststoff AÖ Altöl (intern anfallendes und zugelieferetes)	G Erdgas (AÖ) Altöl (nur internes) PK Petrolkoks R Altrefinen Ö Heizöl (S)	(1) Drehrohrofen stillgelegt am 29.02.1996 (2) Drehrohrofen stillgelegt am 18.08.1995				Summe	5.271.000	4.541.000

▲ Tabelle 1: Anlagentechnische Kenndaten zu den österreichischen Zementwerken

3. Datenermittlung

Die Ermittlung der Daten erfolgte für jedes der erfaßten Werke in individueller Weise durch Besichtigung der Werksanlagen, Erfassung und Auswertung der werkseigenen Aufzeichnungen sowie der im Auftrag des jeweiligen Werkes durchgeführten Messungen, Analysen und Untersuchungen von unabhängigen Instituten und wissenschaftlichen Einrichtungen (Tabelle 2). Die so erfaßten und in ihrer Dokumentation überprüften werksspezifischen Analysedaten - sie liegen je nach Schadstoff entweder als mehrmals jährlich durchgeführte Einzelmessungen (Tabelle 3), oder als Halbstundenmittelwerte bei installier-

CEF-Austria Zivilingenieurbüro Dipl.-Ing. Dr. Dieter Wewerka (Graz) FTU Forschungsgesellschaft Technischer Umweltschutz (Wien) TÜV Bayern Austria (Bruck/Mur) TÜV Österreich (Wels) TÜV Österreich (Wien)
--

▲ **Tabelle 2:** *Mit den Messungen beauftragte autorisierte Institutionen des BMWA*

▼ **Tabelle 3:** *Anzahl der in die Datenerfassung aufgenommenen Einzelmessungen der österreichischen Zementwerke für den Vergleichszeitraum 1994-1996 (exkl. Werte aus der kontinuierlichen Meßdatenerfassung KMDE)*

X	Emission	Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen	
		1994	1994	1995*	1995*	1996**	1996**	1994-1996	
		[-]	[%]	[-]	[%]	[-]	[%]	[-]	
	* inkl. Rodaun bis 18.08.1995								
	** inkl. Lorüns bis 29.02.1996								
1	Staubförmige Emissionen	36	7,3	39	7,0	30	6,8	105	
2	Stickstoffoxide (als NO ₂)	35	7,1	41	7,3	28	6,3	104	
3	Schwefeldioxid (SO ₂)	35	7,1	43	7,7	28	6,3	106	
4	Cadmium (Cd)	28	5,7	23	4,1	19	4,3	70	
5	Thallium (Tl)	25	5,1	23	4,1	19	4,3	67	
6	Beryllium (Be)	21	4,3	23	4,1	19	4,3	63	
7	Arsen (As)	17	3,5	19	3,4	17	3,8	53	
8	Cobalt (Co)	17	3,5	19	3,4	17	3,8	53	
9	Nickel (Ni)	17	3,5	29	5,2	19	4,3	65	
10	Blei (Pb)	21	4,3	29	5,2	19	4,3	69	
11	Quecksilber (Hg)	21	4,3	21	3,7	21	4,7	63	
12	Chrom (Cr)	16	3,3	25	4,5	18	4,1	59	
13	Selen (Se)	3	0,6	6	1,1	3	0,7	12	
14	Mangan (Mn)	7	1,4	8	1,4	12	2,7	27	
15	Vanadium (V)	8	1,6	15	2,7	12	2,7	35	
16	Zink (Zn)	14	2,8	23	4,1	12	2,7	49	
17	chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	30	6,1	23	4,1	25	5,6	78	
18	fluorhaltige Verbindungen (als HF)	32	6,5	27	4,8	24	5,4	83	
19	org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	24	4,9	36	6,4	28	6,3	88	
20	Kohlenmonoxid (CO)	33	6,7	35	6,2	29	6,5	97	
23+24	Kohlendioxid (CO ₂)	52	10,6	54	9,6	45	10,1	151	
	Summe 1-24								
		[-]							
		[%]	32,87		37,47		29,66	1497	
								100,00	

ter kontinuierlicher Emissionsdatenerfassung (KMDE Tabelle 4) vor - wurden für jedes einzelne Werk zu mittleren Jahresemissionskonzentrationen zusammengefaßt. Gemeinsam mit den durchschnittlichen Mengen an trockenem Abgas im Normzustand (273,15K und 1.013,25hPa) errechnen sich für jeden einzelnen Schadstoff werkseigene Emissionsmassenströme und infolge spezifische Emissionswerte (Emissionsfaktoren) - relativiert auf die Tonne Klinker (bzw. Zement). Als Bezugssauerstoffkonzentration finden - verordnungsgemäß [3] - 10,0Vol.-% O₂ Berücksichtigung.

▼ **Tabelle 4:** *Anzahl jener österreichischen Zementwerke, die über KMDE verfügen*

X	Emission	Werksanzahl die über KMDE verfügen		
		1994	1995*	1996**
		[-]	[-]	[-]
	* inkl. Rodaun bis 18.08.1995			
	** inkl. Lorüns bis 29.02.1996			
1	Staubförmige Emissionen	10 von 13	11 von 13	11 von 12
2	Stickstoffoxide (als NO ₂)	11 von 13	11 von 13	11 von 12
3	Schwefeldioxid (SO ₂)	10 von 13	10 von 13	11 von 12
11	Quecksilber (Hg)	-	-	1 von 12
19	org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	2 von 13	2 von 13	3 von 12
20	Kohlenmonoxid (CO)	3 von 13	3 von 13	3 von 12

In jenen Positionen, in welchen werksspezifische Daten in unzureichendem Maß vorlagen, mußten Analogieberechnungen in gleicher Weise wie in der Studie I [1] vorgenommen werden. Zu diesem Zweck wurde werksübergreifend für jeden in der Studie erfaßten Schadstoff alle verfügbaren Meßwerte (1988 bis 1996) einer der folgenden vier Kategorien zugeteilt:

- Zementerzeugung nach dem Lepolverfahren mit Altreifenaufgabe,
- Zementerzeugung nach dem Lepolverfahren ohne Altreifenaufgabe,
- Zementerzeugung mit Wärmetauscheranlagen und Altreifenaufgabe,
- Zementerzeugung mit Wärmetauscheranlagen ohne Altreifenaufgabe.

Anschließend wurde für jede dieser Gruppen ein mittlerer gruppenspezifischer Emissionsfaktor unter Ausschluß jener werkspezifischen Einzelwerte ermittelt, welche aufgrund der speziellen Rohstoffsituation des Betriebsstandortes Ausnahmefälle darstellten.

Der gruppenspezifische Emissionsfaktor eines Schadstoffes findet nur für jene Produktionsanlagen Anwendung, die von 1994 bis 1996 keinerlei werkspezifische Analysen für den speziellen Schadstoff aufweisen konnten. So machte die unzureichende Datenverfügbarkeit bei der Gesamtbilanzierung gewisser metallischer Spurenelementemissionen (u.a. Se) den Einsatz von Emissionsfaktoren aus Analogieberechnungen erforderlich.

Gesondert sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, daß bei der vorliegenden Emissionsbilanzierung von leichtflüchtigen Schwermetallen, im speziellen von Quecksilber, Cadmium und Thallium, neben den staubförmig gebundenen Schwermetallanteilen auch dampfförmige Emissionsanteile mitberücksichtigt wurden.

Die Gesamtdarstellung der Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie erfolgt in gewohnter Manier durch Addition der Emissionskennzahlen aller Betriebsstandorte (mit Ofenbetrieb), bei gleichzeitiger Wahrung der gewünschten Vertraulichkeit werkspezifischer Einzelwerte.

Die Qualität der erfaßten und errechneten Daten ergibt sich bei analytisch, meßtechnisch erfaßten Daten aus der Genauigkeit der zur Anwendung gebrachten Meß- bzw. Analyseverfahren. Für die wesentlichen Verfahren liegen Ö-Normen vor, in welchen Geräte, Probenahme, Messung und Auswertung sowie Justierung und Überprüfung der Geräte festgelegt sind und dafür zur Anwendung gelangen. Bei jenen Daten, die auf Grund von Analogrechnungen ermittelt wurden, liegt bei schlüssiger Vergleichbarkeit der Rahmenbedingungen eine mögliche Unschärfe in der meist nicht genügend kontrollierbaren Qualität der Bezugsdaten. Die angegebenen mittleren Gesamtemissionsfaktoren - diese sind Mittelwerte, gebildet aus den für jedes der 13 Werke ermittelten werkspezifischen Emissionsfaktoren - können als durchaus repräsentativ für die pyrogenen Emissionen der österreichischen Zementindustrie angesehen werden. Ein Vergleich mit den in der Studie I [1] publizierten Ergebnissen ist aufgrund des unverändert gebliebenen Ermittlungsverfahrens gewährleistet.

4. Beurteilung der Datenverfügbarkeit

Im Berichtszeitraum 1994 bis einschließlich 1996 hat sich die Datenlage bezüglich der Emissionsmessung stark verbessert. Über die Spanne der drei Berichtsjahre standen für die erfaßten Emissionskomponenten insgesamt 1497 Einzelmeßwerte zur Verfügung (Tabelle 3, Seite 7). Für den Zeitbereich 1991 bis 1993, dargestellt in der ersten Studie über die Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie vom Februar 1995 [1], waren Ergebnisse von 1197 Einzelmessungen vorhanden. Da in beiden untersuchten Bereichen die gleichen Schadstoffe erfaßt sind, ergibt sich eine Zunahme der Einzelmessungen um ca. 25%. Im Teilbereich der Spurenelemente und ihrer Verbindungen liegt eine solche Zunahme der Einzelmessungen um ca. 40% vor.

Für die kontinuierliche Emissionsdatenerfassung sind ab 29. Jänner 1996 alle in Betrieb stehenden Ofenanlagen mit kontinuierlich arbeitenden Meßgeräten für Staub und Stickstoffoxide ausgerüstet worden. Seit 12. August 1996 verfügen alle österreichischen Zementwerke mit Ofenbetrieb über eine kontinuierliche Schwefeldioxidmessung. Darüber hinausgehend werden in drei Werken zusätzlich organischer Gesamtkohlenstoff und Kohlenmonoxid, in einem Werk Gesamt-Quecksilber (dampfförmig und adsorptiv gebundenes) gemessen (Tabelle 4, Seite 7).

5. Ergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle 5 werden für alle österreichischen Zementwerke

- I Anlagendaten,
- II Produktionsdaten,
- III Konventionelle Energieträger,
- IV Ersatzbrennstoffe,
- V Energieeinsatz,
- VI Sekundärrohstoffe,
- VII Sekundärzumahlstoffe,
- VIII Abgasparameter sowie
- IX Emissionsrelevante Daten

zusammengefaßt (Gesamtübersichtsbogen über den Vergleichszeitraum von 1994 bis 1996) und in den anschließenden Diagrammen graphisch aufbereitet.

▼ **Tabelle 5: Gesamtübersicht**

Emissionen und Produktionsmittel der österreichischen Zementindustrie										
I Anlagendaten										
Anlagenzahl	Österreichweit waren 1996 (1994 bzw. 1995) 5 (5) Lepolöfen mit 1,053.000 (1,053.000), 7 (9) WT-DO mit 1,818.000 (2,682.000) sowie 4 (3) WT-DO + Kalzinator mit 1,776.000 (1,536.000) t/a betriebsbereit.									
Klinkerkapazität / [t/a]	Mit der 1996 (1994 bzw. 1995) installierten Gesamtanlagenkapazität von ca. 4,647.000 t/a (ca. 5,271.000 t/a) wurden die unter II angeführten Jahresmengen produziert.									
II Produktionsdaten										
		1994	1995	1996						
Rohmehleinsatz	[t/a]	6.032.917	4.671.693	4.688.132						
Klinkerproduktion	[t/a]	3.791.131	2.929.973	2.915.956						
Zementproduktion	[t/a]	4.762.651	3.839.415	3.779.074						
Ofenbetriebsstunden	[h _{OB} /a]	85.502	71.331	67.310						
Rohmehlfaktor	[t _{RM} /t _{Kl}]	1,59	1,59	1,61						
Klinkerfaktor	[t _{Kl} /t _{Ze}]	0,80	0,76	0,77						
III Konventionelle Energieträger (KET)										
		1994	1995	1996						
	Hu/[MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu/[MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu/[MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	
A) Steinkohle	29,41	141.666	4.165.741	29,75	155.028	4.611.916	29,70	181.944	5.403.080	
B) Braunkohlenstaub	21,90	548	12.001	22,18	8.475	187.976	21,97	8.700	191.176	
C) Heizöl L (0,2 m% S)	41,41	554	22.941	40,54	369	14.939	41,43	814	33.719	
D) Heizöl M (0,6 m% S)	41,25	59	2.434	41,22	37	1.521	41,22	62	2.548	
E) Heizöl S (1,0-3,5 m% S)	39,54	159.716	6.315.746	39,20	79.544	3.118.130	39,44	54.720	2.158.188	
F) Erdgas/[1000m ³ (Vn)/a]; Hu/[MJm ⁻³ (Vn)]	36,47	13.032,753	475.325	36,47	9.916,408	361.645	36,43	8.124,862	296.016	
G) sonstige (1995: nur Anthrazit)		0	0	26,13	935	24.432		0	0	
Summe A) bis G)			10.994.188			8.320.558			8.084.726	
IV Ersatz-Brennstoffe (EBS)										
		1994	1995	1996						
	Hu/[MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu/[MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu/[MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	
H) Altreifen	25,44	27.349	695.751	25,31	20.532	519.720	25,19	25.110	632.549	
I) Kunststoffabfälle	29,10	382	11.116	31,80	5.712	181.626	29,30	16.370	479.632	
J) Petrolkoks	30,55	11.426	349.056	28,35	6.768	191.857	32,15	4.095	131.654	
K) Altöl	38,27	25.047	958.575	36,99	28.675	1.060.796	34,60	25.719	889.735	
L) Lösungsmittel	24,88	6.561	163.234	29,39	4.267	125.421	27,70	2.673	74.039	
M) Tallölpech	37,30	1.329	49.572	37,20	362	13.466	37,00	91	3.367	
N) Papierfaserreststoff	3,14	15.270	47.948	3,14	21.500	67.510	3,14	25.250	79.285	
O) sonstige	1,26	6.720	8.441	1,26	5.950	7.473	1,26	4.823	6.058	
Summe H) bis O)			2.283.693			2.167.871			2.296.319	

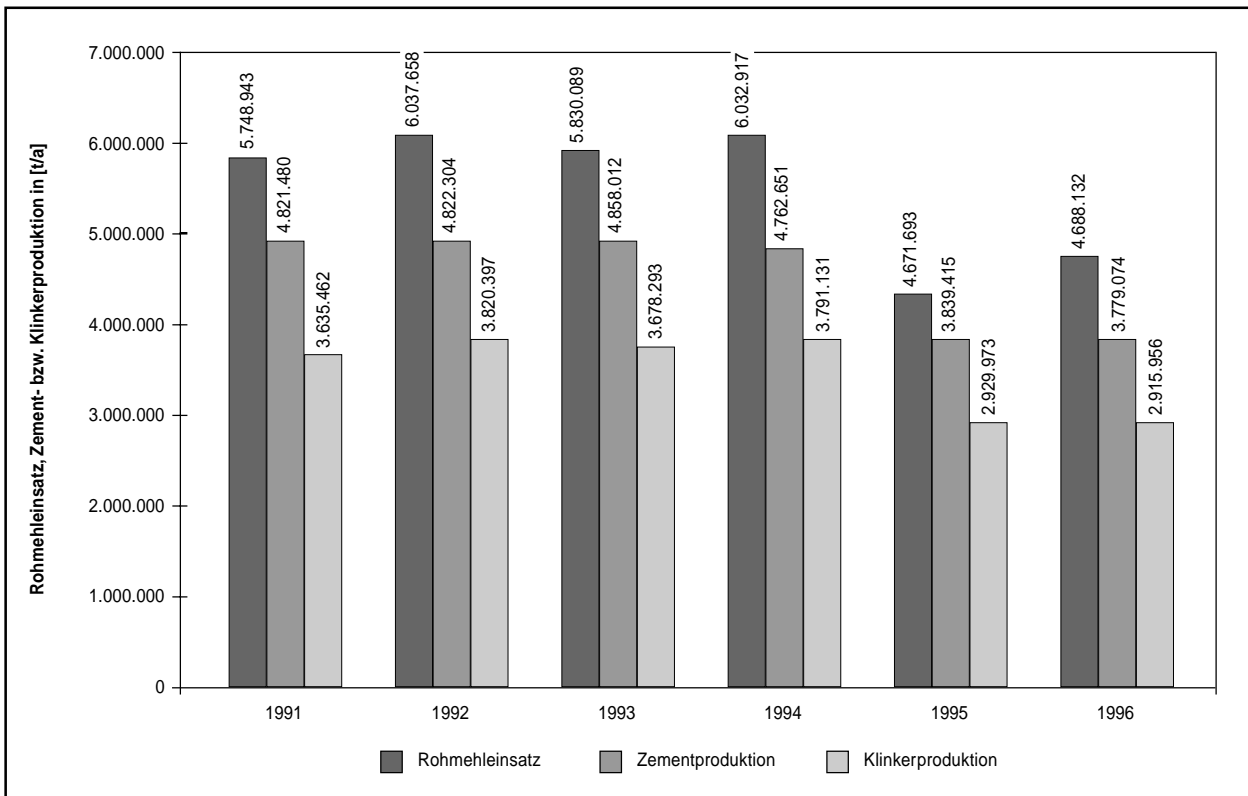
V	Energieeinsatz		1994	1995	1996
a)	Σ Energieeinsatz KET	[GJ/h _{OB}]	128,6	116,6	120,1
b)	Σ Energieeinsatz EBS	[GJ/h _{OB}]	26,7	30,4	34,1
	Summe a) u. b)	[GJ/h _{OB}]	155,3	147,0	154,2
	EBS-Anteil an (III+IV)	[%]	17,20	20,67	22,12
	spez. Energieeinsatz	[GJ/t _{Klinker}]	3,502	3,580	3,560

VI	Sekundärrohstoffe		1994	1995	1996
	LD - Schlacke	[t/a]	32.846	26.770	22.746
	Gießereisand	[t/a]	1.601	6.782	7.019
	sonstige	[t/a]	53.887	46.577	40.983

VII	Sekundärzumahlstoffe		1994	1995	1996
	Hochfenschlacke	[t/a]	576.356	468.829	417.562
	REA - Gips	[t/a]	39.716	48.173	60.674
	Flugasche	[t/a]	78.261	89.557	74.642
	sonstige	[t/a]	0	0	0

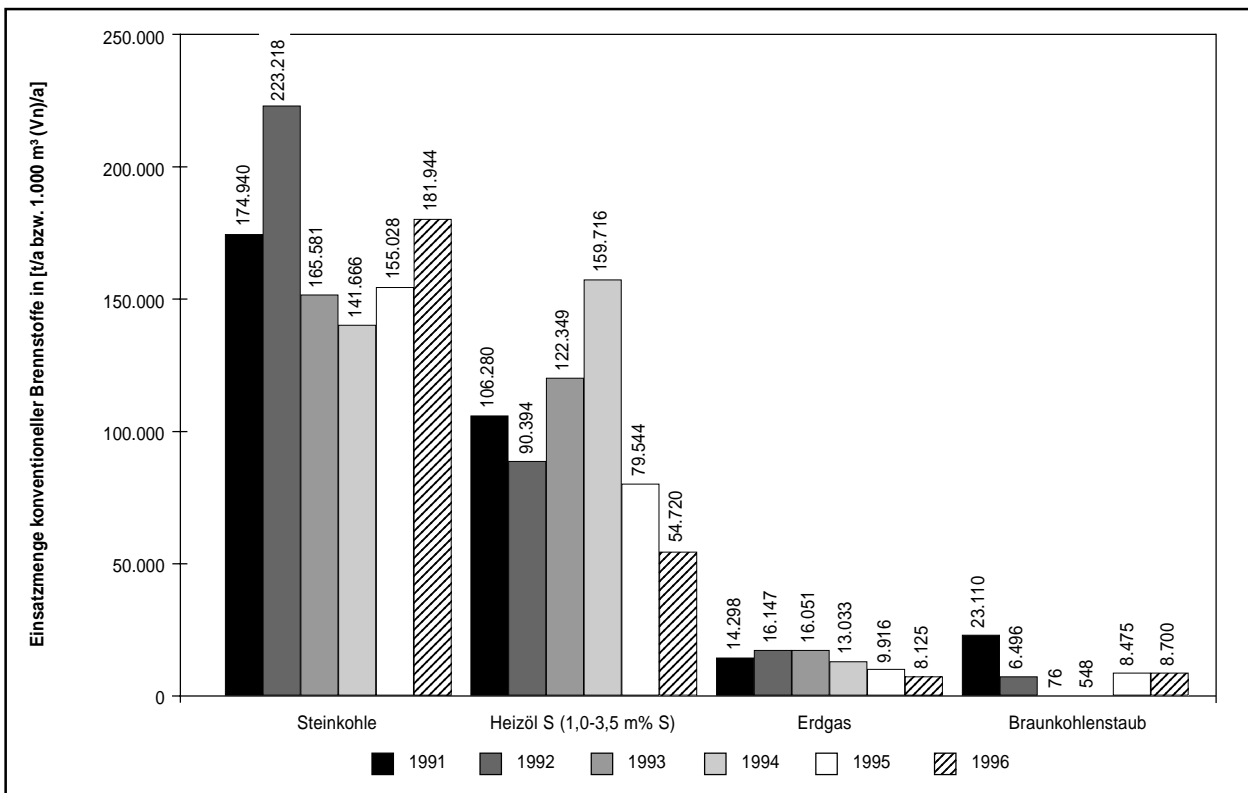
VIII	Abgasparameter		1994	1995	1996
	Bez.-O ₂ / O ₂ gemessen	[Vol.-%]	10,00	10,13	10,00
	Abgasnormvolumen V _(tr.,Vn,bez)	[1000m ³ (Vn)/a]	8.756.028	7.056.235	6.927.328

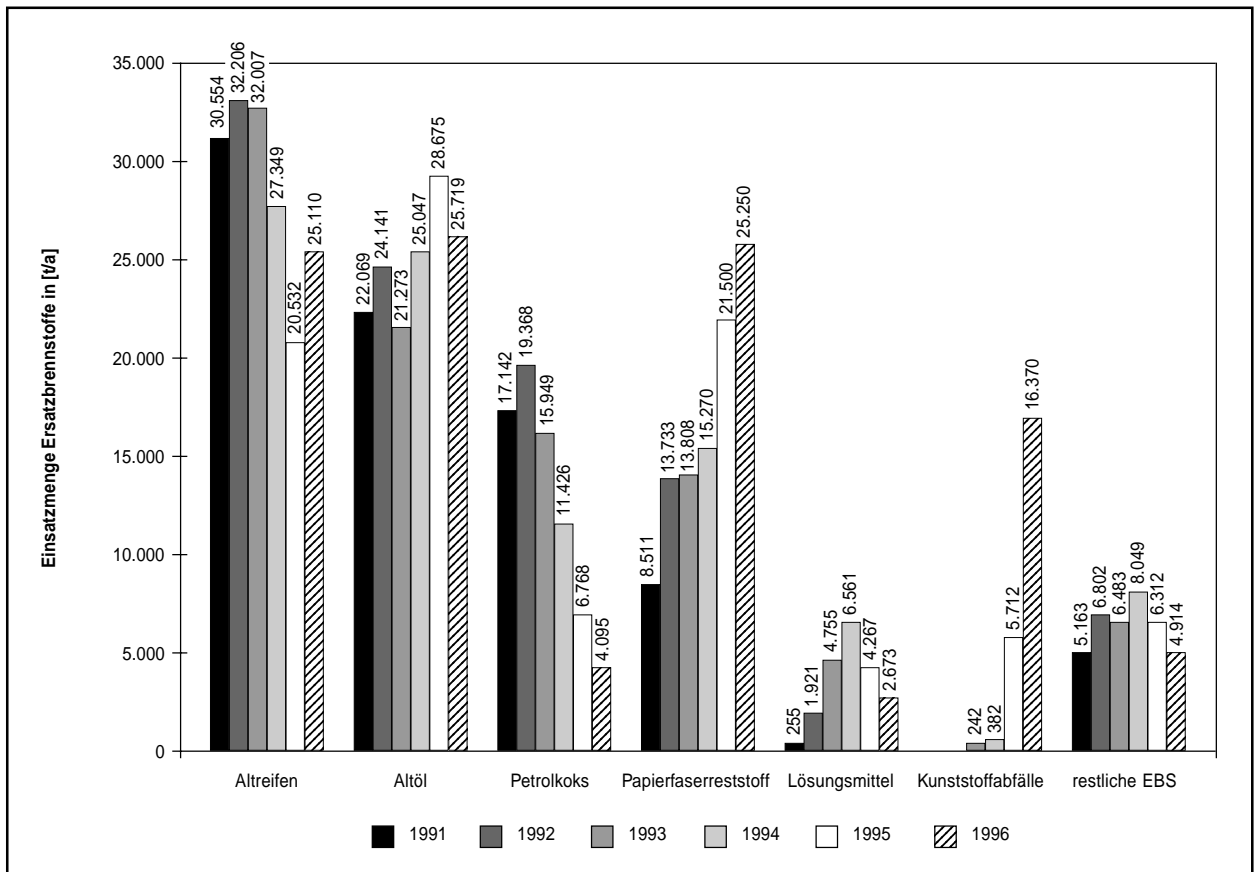
IX Emissionsrelevante Daten	E-faktor	1994		1995		1996		E-faktor		
		Massenstrom	E-faktor	Massenstrom	E-faktor	Massenstrom	E-faktor			
		[t/a]	[g/t _{ke}]	[t/a]	[g/t _{ke}]	[t/a]	[g/t _{ke}]			
1	Staubförmige Emissionen	34,89	166,146	43,83	36,98	142,001	48,46	39,11	147,790	50,68
2	Stickstoffoxide (als NO ₂)	1.310,27	6.240,371	1.646,04	1.282,67	4.924,717	1.680,81	1.247,39	4.713,988	1.616,62
3	Schwefeldioxid (SO ₂)	228,01	1.085,915	286,44	201,54	773,784	264,09	326,96	1.235,605	423,74
4	Cadmium (Cd)	0,017643	0,084029	0,022165	0,013845	0,053156	0,018142	0,012620	0,047691	0,016355
5	Thallium (Tl)	0,013871	0,066062	0,017425	0,021007	0,080653	0,027527	0,015731	0,059448	0,020387
6	Beryllium (Be)	0,003611	0,017199	0,004537	0,007820	0,030025	0,010247	0,006324	0,023899	0,008196
	Summe 4-6	0,035125	0,167289	0,044127	0,042672	0,163834	0,055917	0,034675	0,131038	0,044938
7	Arsen (As)	0,009253	0,044069	0,011624	0,015546	0,059688	0,020371	0,012166	0,045977	0,015767
8	Cobalt (Co)	0,028175	0,134187	0,035395	0,015600	0,059896	0,020442	0,013253	0,050082	0,017175
9	Nickel (Ni)	0,019850	0,094539	0,024937	0,012369	0,047488	0,016208	0,009411	0,035565	0,012197
10	Blei (Pb)	0,044957	0,214115	0,056478	0,024944	0,095770	0,032686	0,037246	0,140757	0,048271
	Summe 7-10	0,102235	0,486909	0,128434	0,068459	0,262841	0,089708	0,072076	0,272382	0,093411
11	Quecksilber (Hg)	0,025776	0,122761	0,032381	0,019979	0,076708	0,026180	0,018716	0,070731	0,024256
12	Chrom (Cr)	0,007777	0,037039	0,009770	0,009396	0,036075	0,012312	0,007442	0,028125	0,009645
13	Selen (Se)	0,000198	0,000942	0,000248	0,000189	0,000724	0,000247	0,000191	0,000721	0,000247
14	Mangan (Mn)	0,061590	2,293332	0,077373	0,070113	0,269194	0,091876	0,058367	0,220574	0,075644
15	Vanadium (V)	0,016050	0,076439	0,020163	0,015828	0,060771	0,020741	0,016341	0,061754	0,021178
16	Zink (Zn)	0,094132	0,448318	0,118254	0,044731	0,171740	0,058615	0,062605	0,236587	0,081135
	Summe 11-16	0,205522	0,978832	0,258190	0,160236	0,615212	0,209972	0,163662	0,618492	0,212106
	Summe Spurenelemente (4-16)	0,342883	1,633030	0,430750	0,271366	1,041888	0,355596	0,270413	1,021912	0,350455
17	chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	5,646	26,888	7,092	4,066	15,610	5,328	4,374	16,530	5,669
18	fluorhaltige Verbindungen (als HF)	0,605	2,883	0,760	0,411	1,577	0,538	0,463	1,750	0,600
19	org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	43,117	205,349	54,166	42,503	163,185	55,695	51,665	195,248	66,958
20	Kohlenmonoxid (CO)	2.143,2	10.207,546	2.692,5	1.931,8	7.416,923	2.531,4	2.114,9	7.992,466	2.740,9
23	ber. pyrogenes CO ₂	228.631,5	1.088.892	287.220,9	225.835,0	867.074	295.932,5	227.912,0	861.296	295.373,6
24	ber. CO ₂ (Decarbonatisierung)	441.404,4	2.102.255	554.519,4	424.889,2	1.631.326	556.771,6	432.446,5	1.634.247	560.449,9
	Summe 23 u. 24	670.035,9	3.191.147	841.740,3	650.724,2	2.498.400	852.704,1	660.358,5	2.495.544	855.823,5



▲ Abbildung 2: Rohmehleinsatz, Zement- bzw. Klinkerproduktion der österreichischen Zementindustrie von 1991 bis 1996

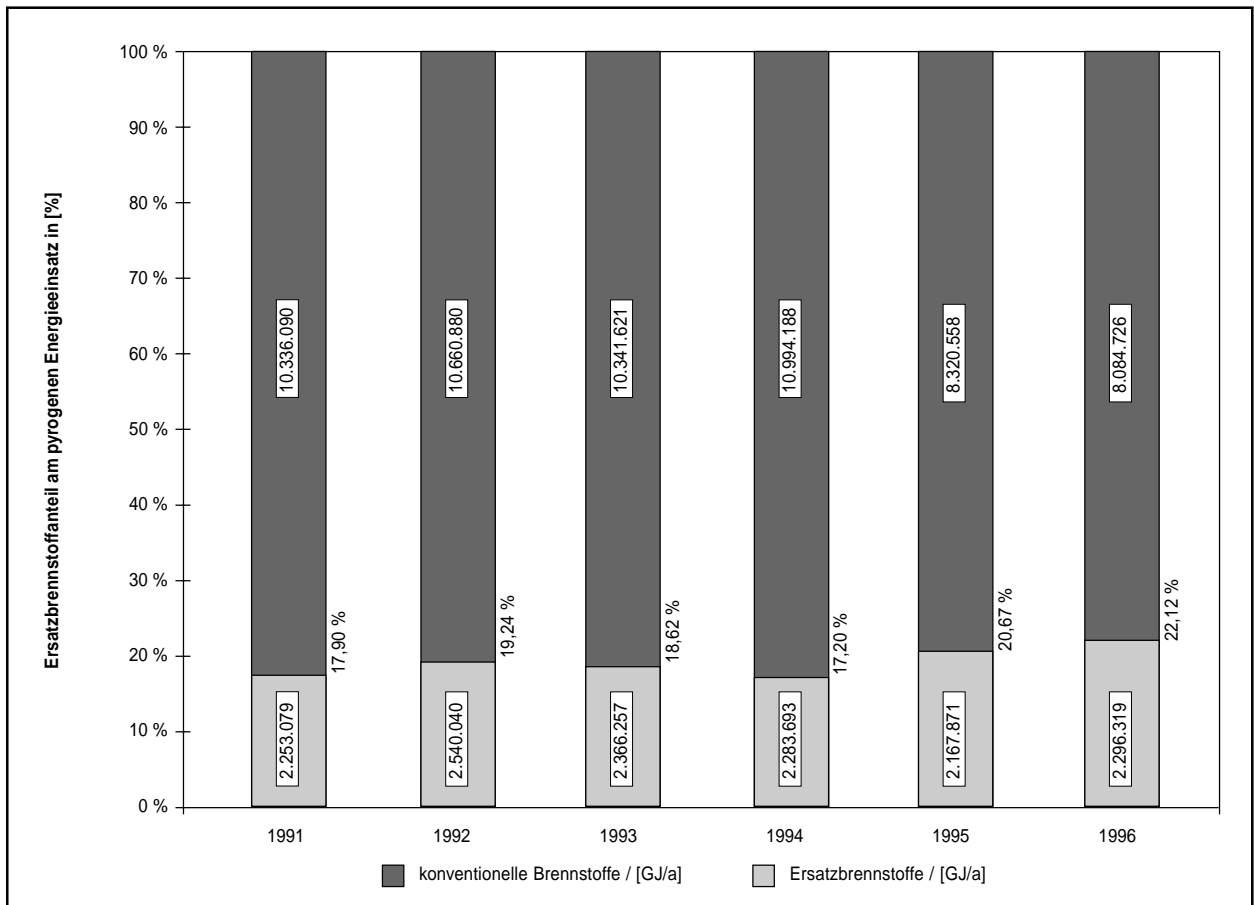
▼ Abbildung 3: Einsatzmengen wichtiger konventioneller Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie von 1991 bis 1996

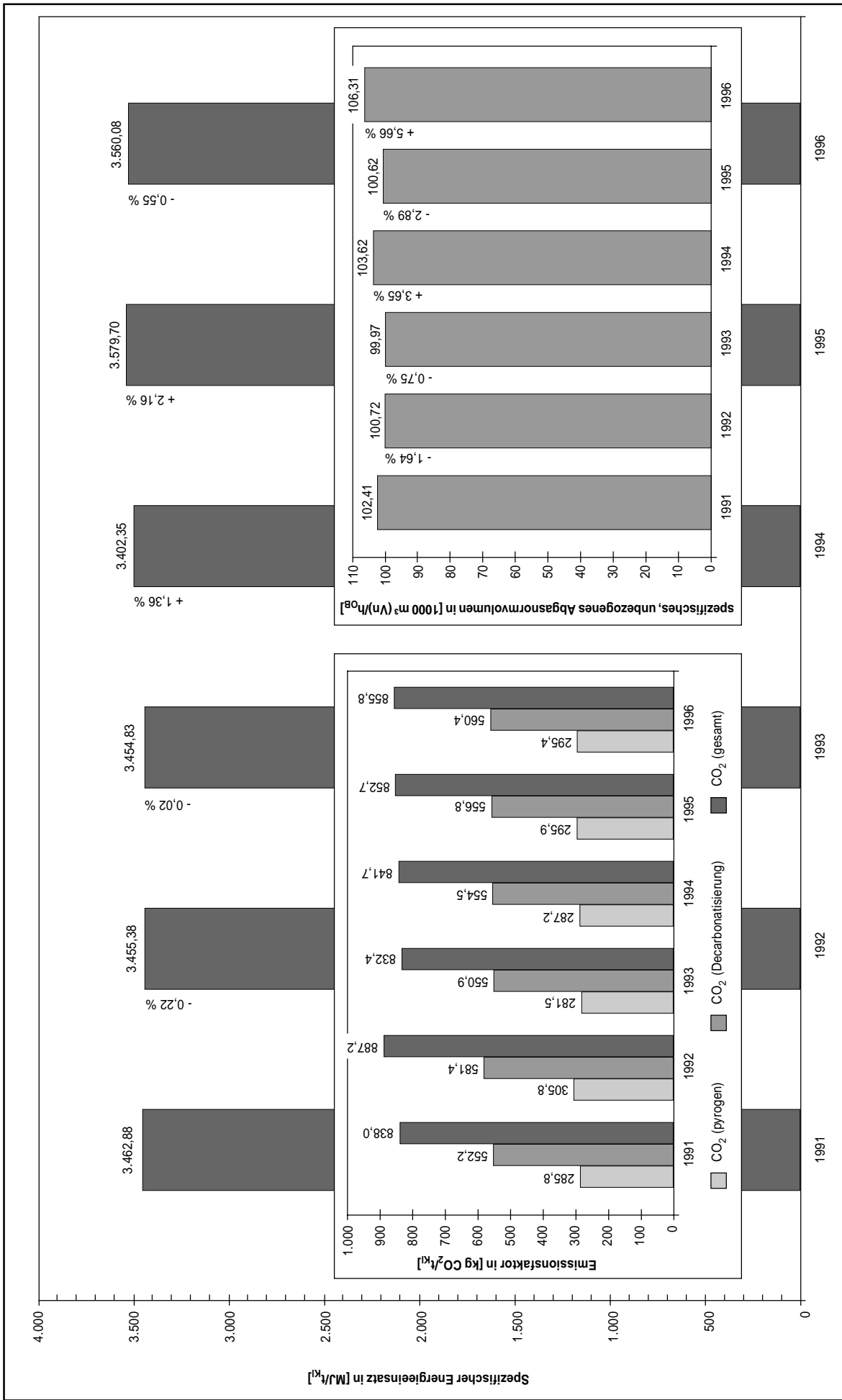




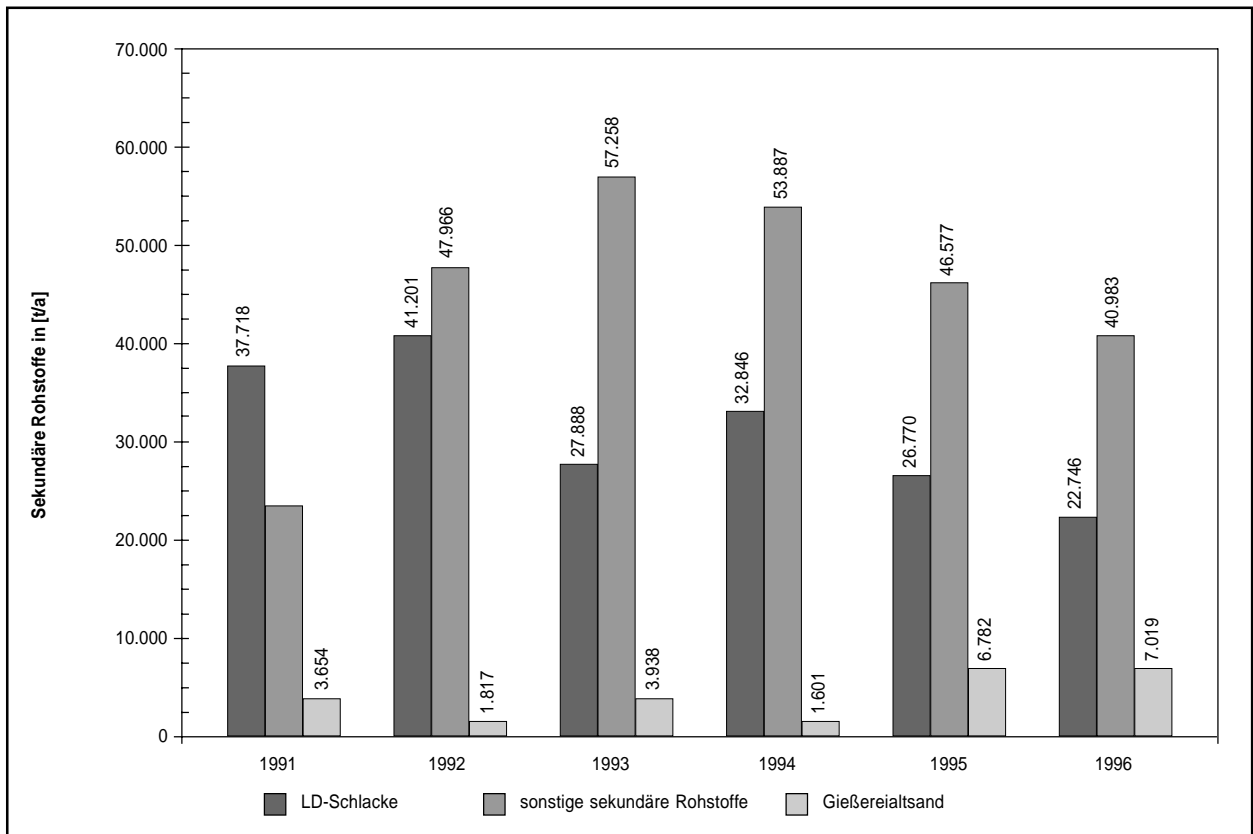
▲ Abbildung 4: Einsatzmengen von Ersatz-Brennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1991 bis 1996

▼ Abbildung 5: Ersatz-Brennstoff-Anteil am pyrogenen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Zeitraum von 1991 bis 1996

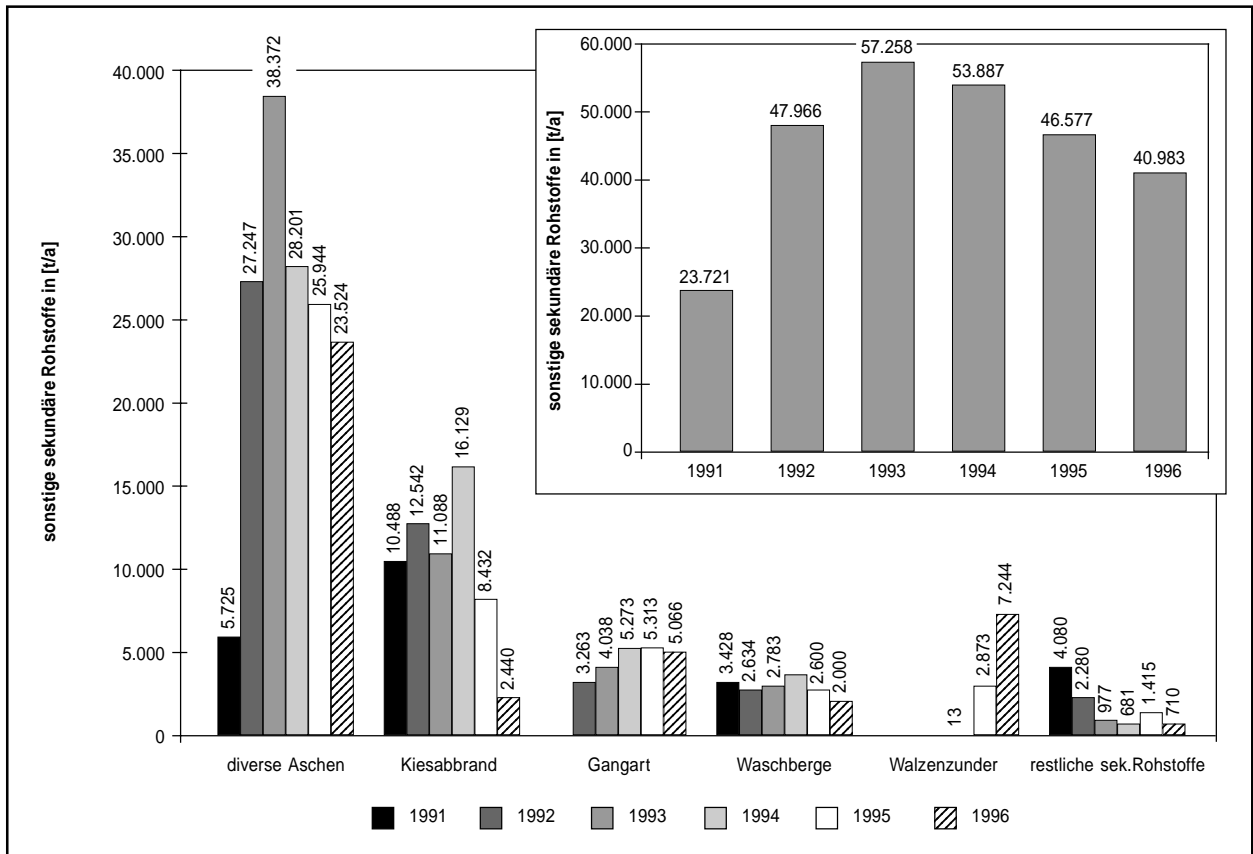


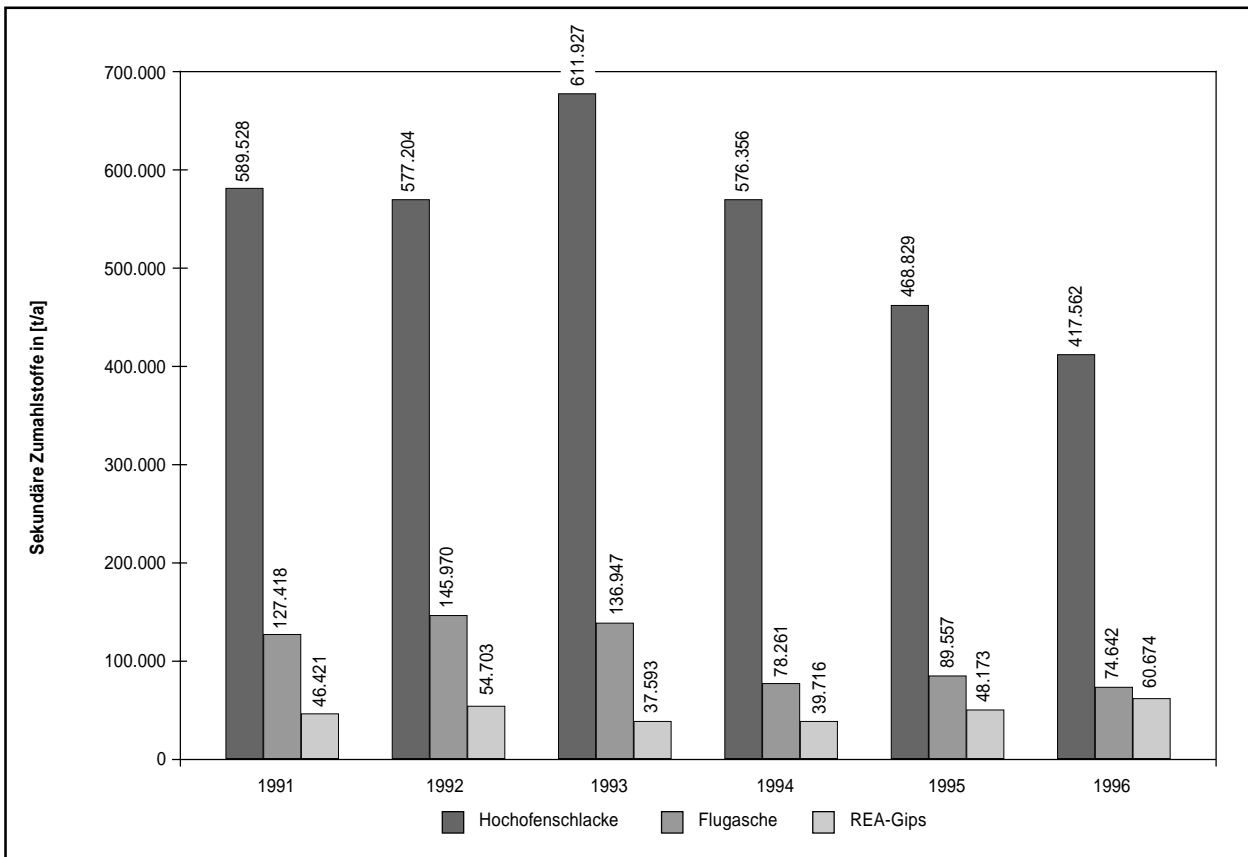


▲ **Abbildung 6: Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes (exklusive elektrischer Energieeinsatz), Darstellung des spezifischen CO₂-Emissionsmassenstroms und des spezifischen, unbezogenen Gesamtgasnormvolumens in Anlagen der österreichischen Zementindustrie jeweils für den Zeitraum von 1991 bis 1996**



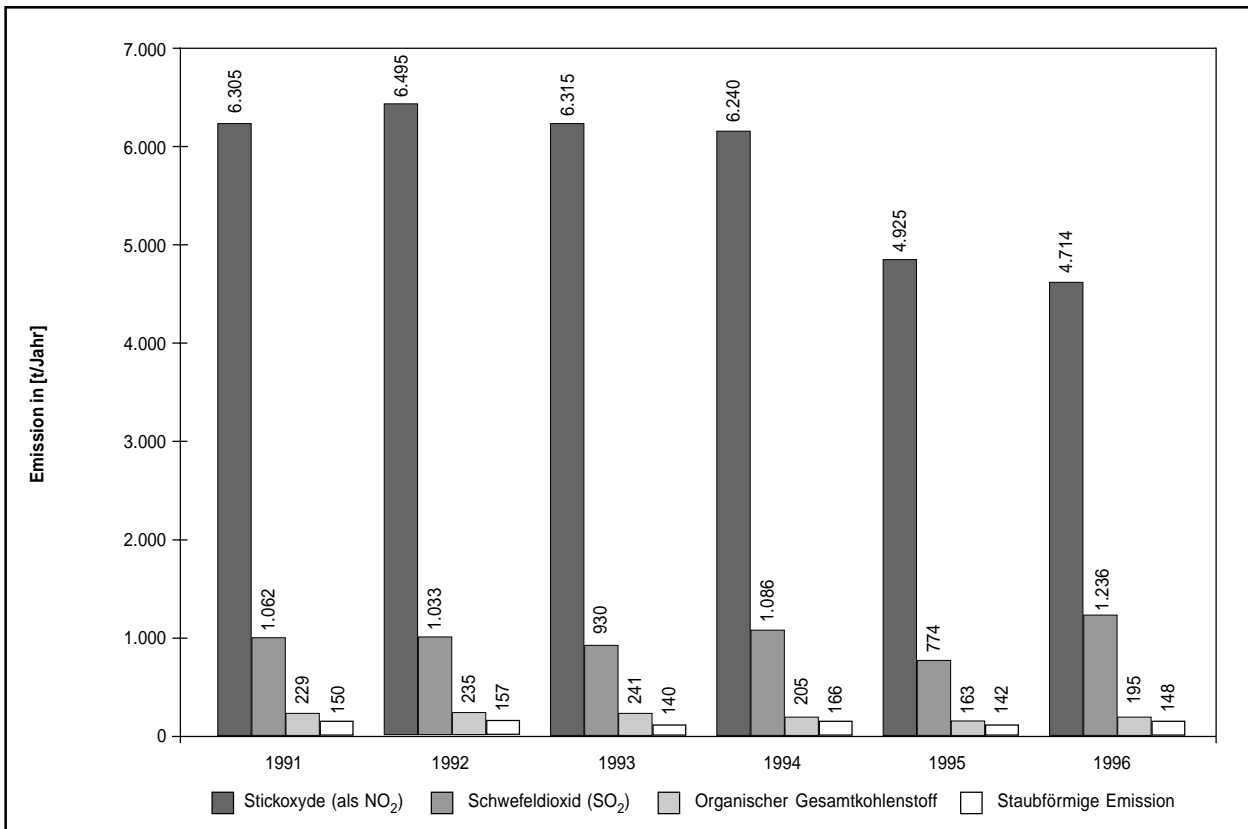
▲ Abbildung 7: Einsatzmengen sekundärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1991 bis 1996

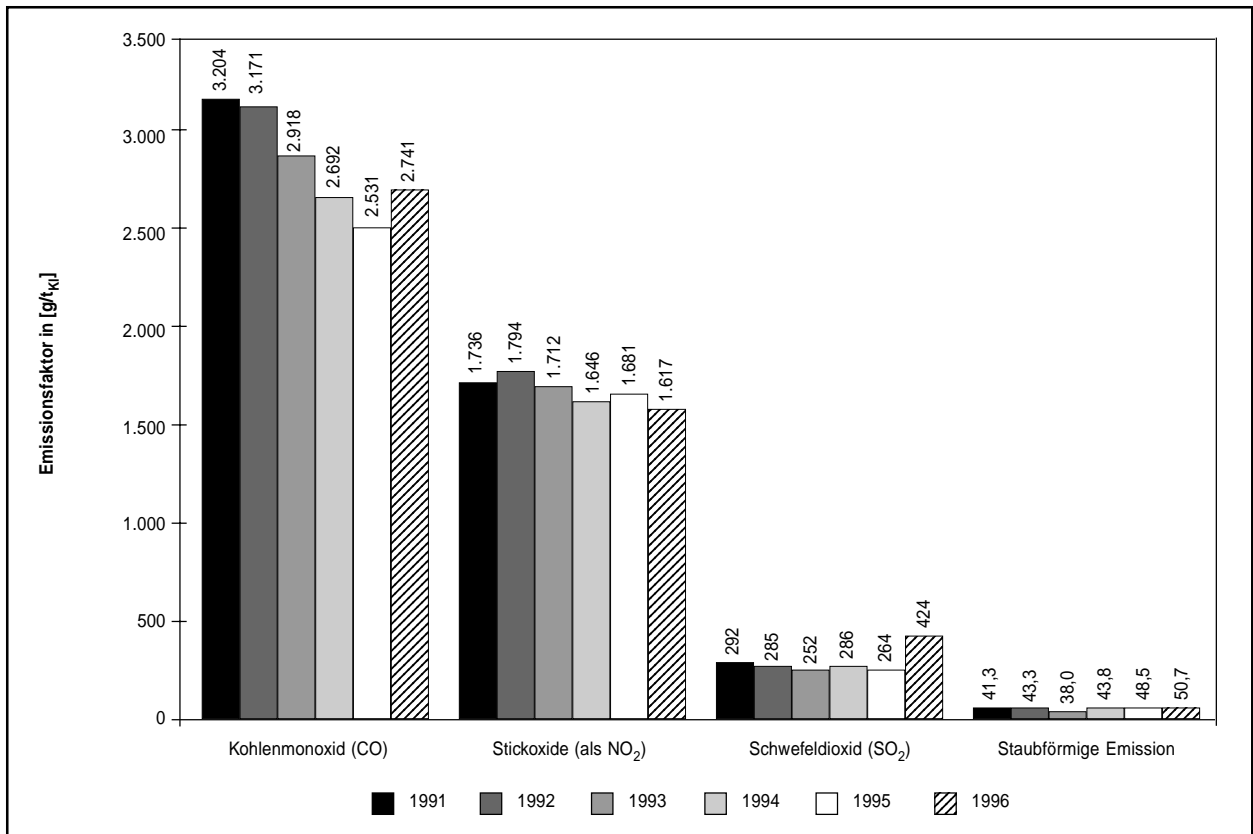




▲ *Abbildung 9: Einsatzmengen sekundärer Zumaehstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1991 bis 1996*

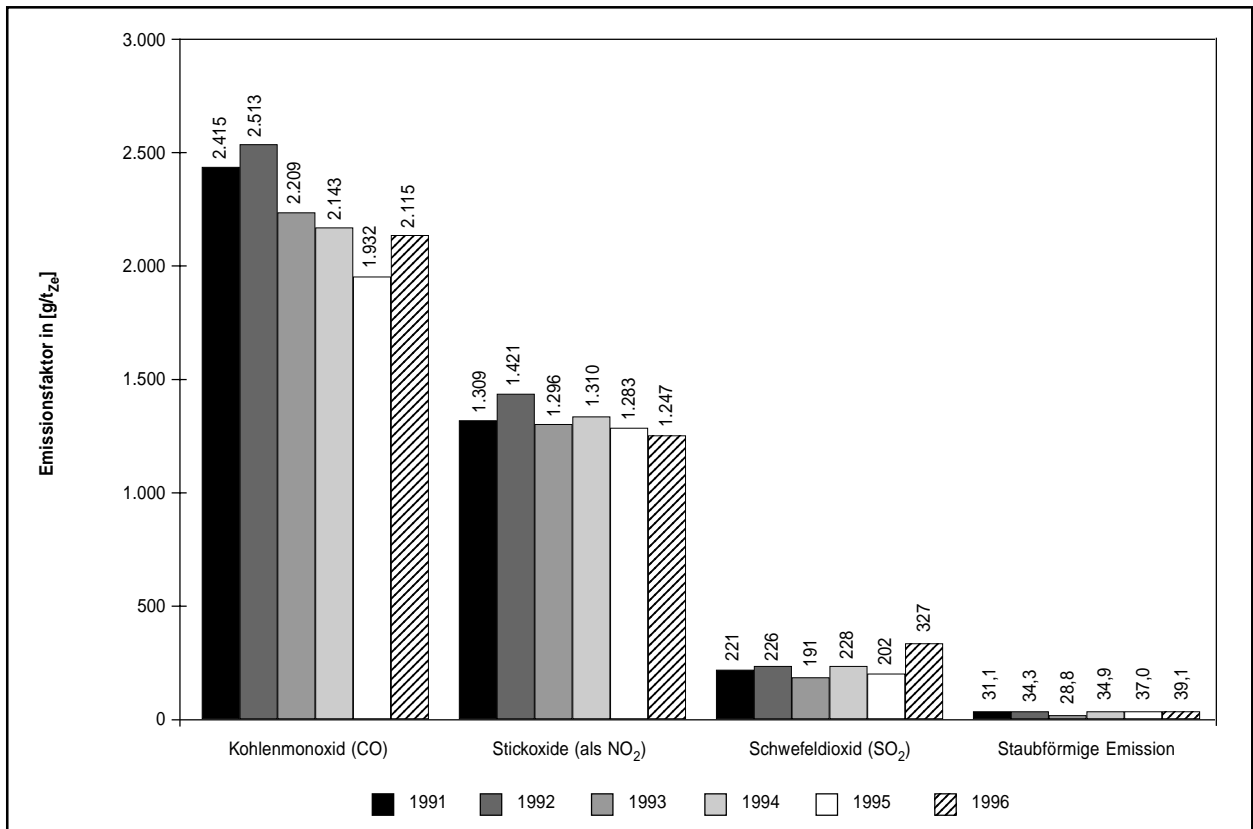
▼ *Abbildung 10: Jährliche Emissionen an Stickoxiden (als NO₂), an Schwefeldioxid, an organischem Gesamtkohlenstoff und an Staub aus österreichischen Zementwerken (1991 - 1996)*

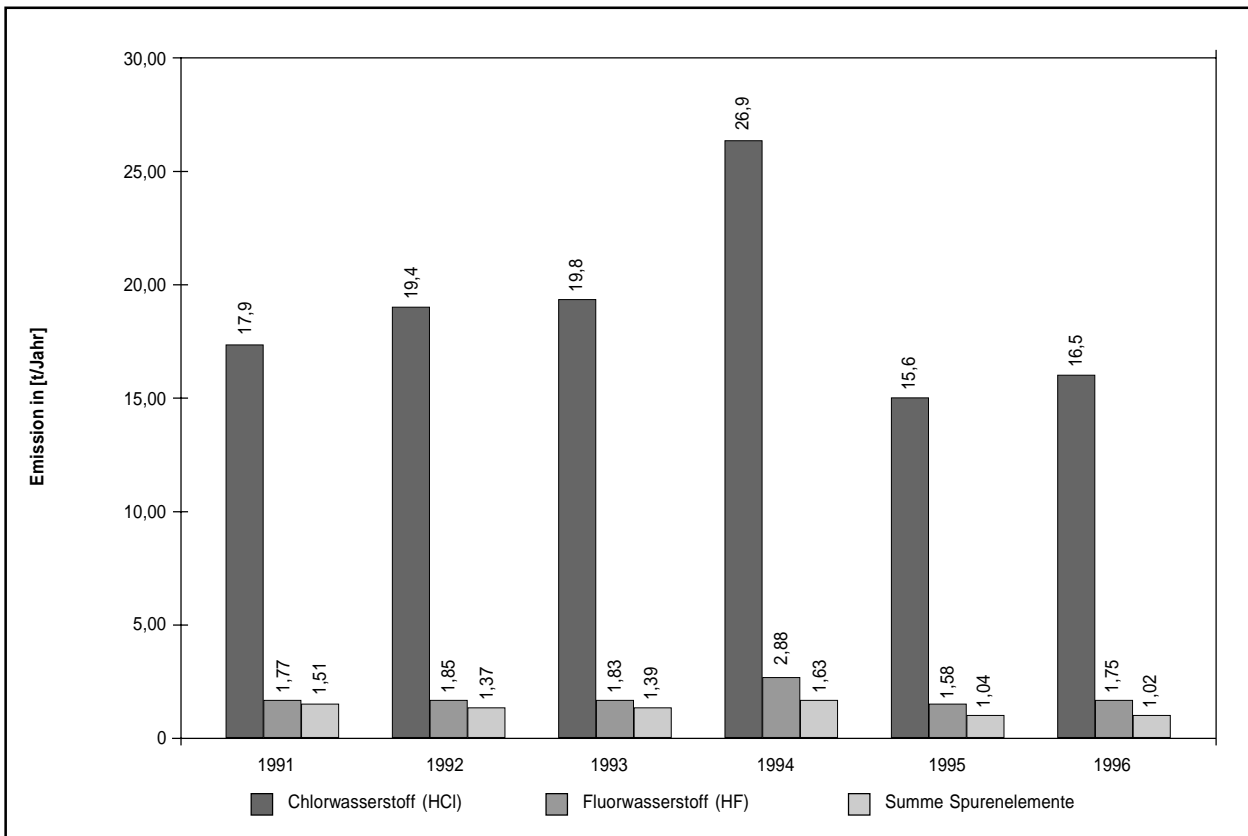




▲ Abbildung 11: Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO₂), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Klinker (1991 - 1996)

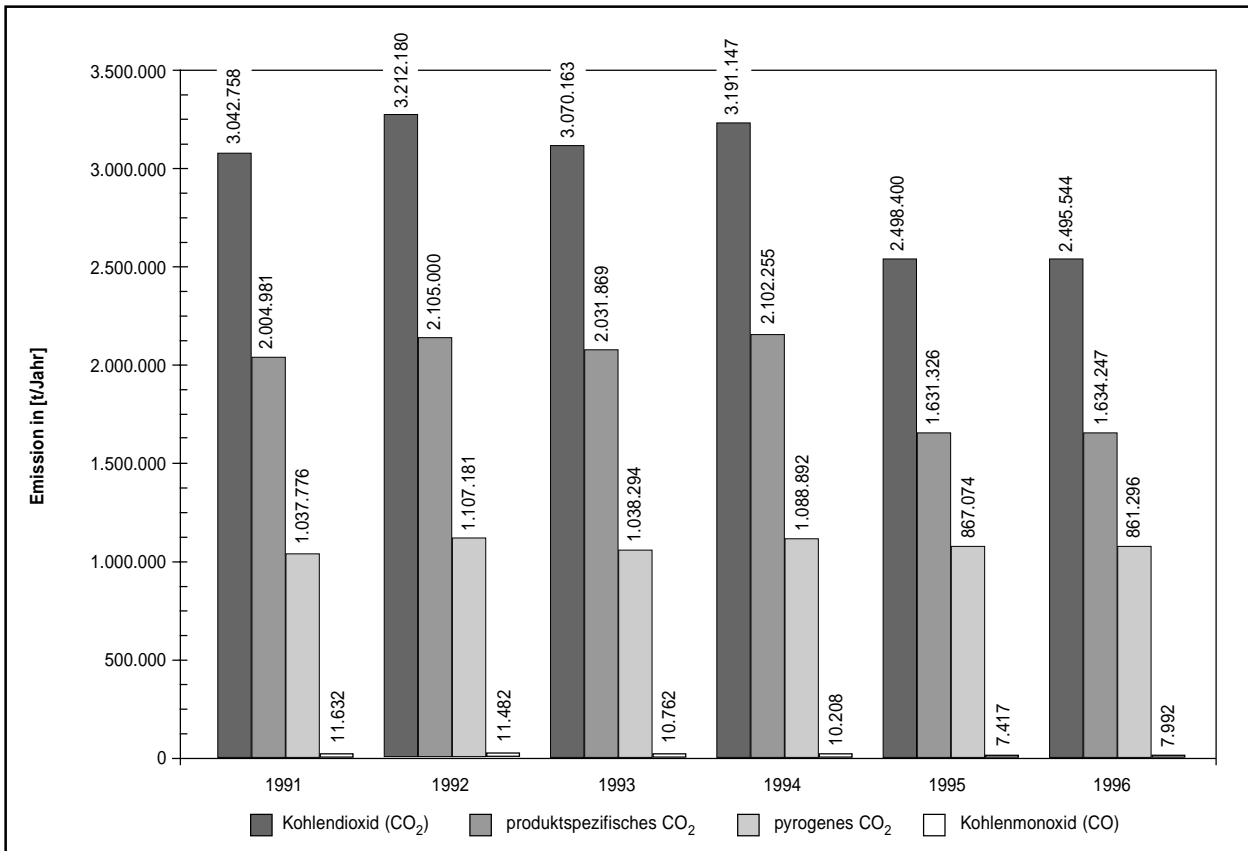
▼ Abbildung 12: Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO₂), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Zement (1991 - 1996)

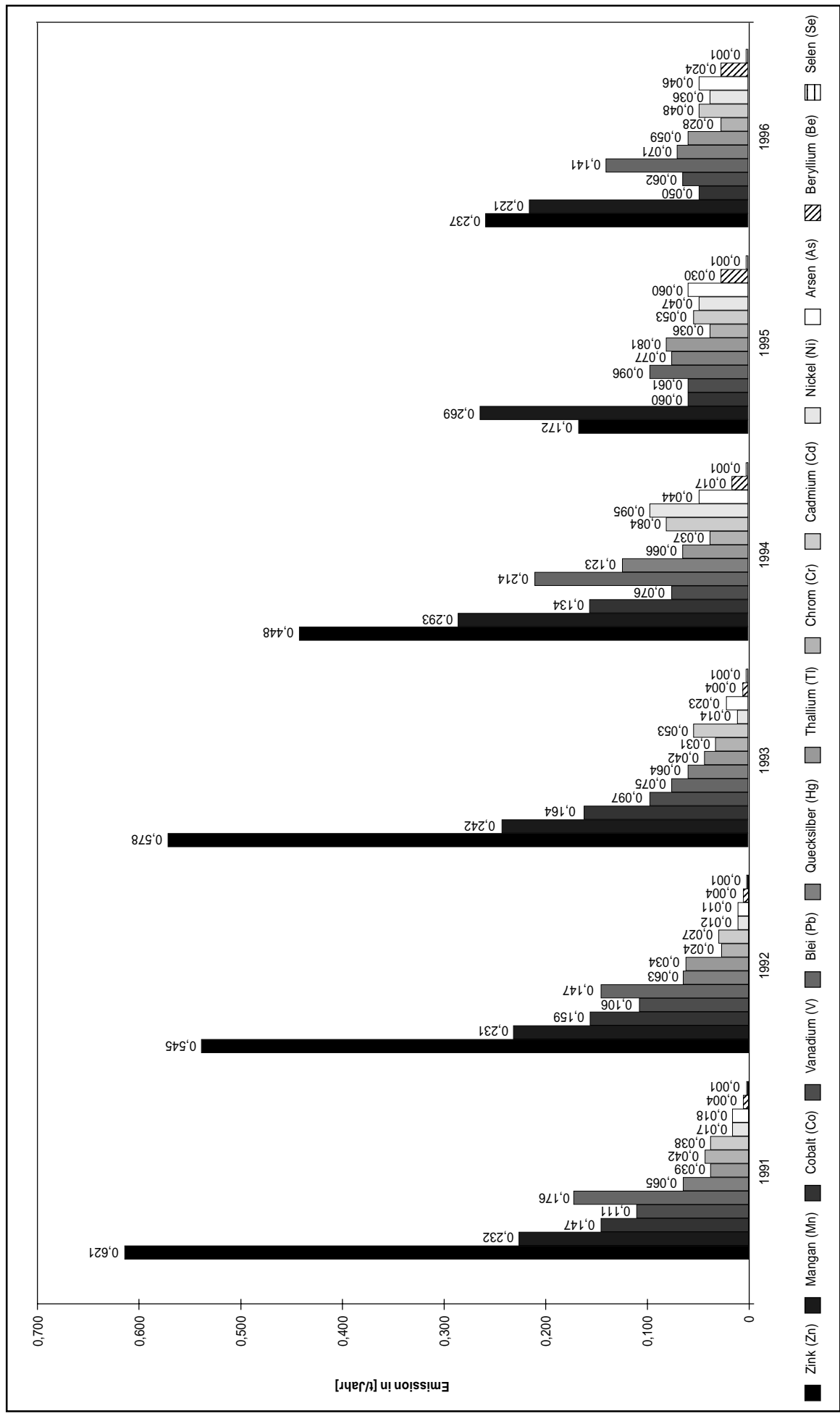




▲ **Abbildung 13:** Entwicklung der jährlichen Emissionen an chlor- und fluorhaltigen Verbindungen (ausgewiesen als HCl bzw. HF) sowie der jährlichen Gesamtemissionen an Spurenelementen jeweils für den Zeitraum von 1991 bis 1996

▼ **Abbildung 14:** Entwicklung der jährlichen Emissionen an Kohlendioxid und Kohlenmonoxid für den Zeitraum von 1991 bis 1996





▲ Abbildung 15: Emissionen diverser Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Zeitraum 1991 bis 1996

6. Kommentar zur Entwicklung von 1994 bis 1996

Im folgenden werden die in den Tabellen und Diagrammen ausgewiesenen Zahlen für die Jahre 1994, 1995 und 1996 in ihrem Verlauf über diese Spanne von drei Jahren kommentiert.

6.1 Produktionsdaten

Die Produktionsdaten zeigen, daß die Zementproduktion im Betrachtungszeitraum um etwas mehr als 20% abgenommen hat. Weitgehend analog dazu haben auch Rohmehleinsatz, Ofenbetriebsstunden, Klinkerproduktion und Gesamtenergieeinsatz abgenommen (Abbildung 2, Seite 12 bzw. Tabelle 5, Seite 10/11).

Die installierte Ofenkapazität wurde bis Ende 1996 um ca. 14% reduziert (Tabelle 2, Seite 7). Daraus folgt, daß die in Betrieb gestandenen Öfen - zumindest teilweise - nicht ganzjährig mit voller Leistung gefeuert worden sind. Dies wirkt sich u.a. auch auf Ofenbetriebsstunden und Gesamtenergieeinsatz aus.

Generell ist anzumerken, daß durch die Verringerung der Zahl der in Betrieb stehenden Öfen, der Einfluß eines oder einiger weniger Öfen (Werke) auf das Gesamtergebnis verstärkt wirkt.

6.2 Energieträger

Für die Trendanalyse des Energieträgereinsatzes wurden für die einzelnen konventionellen und ebenso für die Ersatz-Brennstoffe Massenprozente (bei Erdgas Mengenprozente) herangezogen. Die Änderungen in der Summe der Energieeinsätze wurden auf GJ bezogen.

Im Bereich der konventionellen Brennstoffe stehen Zunahmen bei den festen Brennstoffen Abnahmen bei Heizölen und bei Erdgas gegenüber, die in einem um rund 26,5% verringerten Einsatz fossiler Brennstoffe resultieren (Abbildung 3, Seite 12).

Eine Übersicht über die wichtigsten von der österreichischen Zementindustrie eingesetzten Ersatz-Brennstoffe gibt die nebenstehende Tabelle 6. Der mengenmäßige Einsatz ist in Abbildung 4 (Seite 13) dargestellt.

Im Gegensatz zu Studie I [1] wird nun Petrolkoks - gemäß ÖNORM S 2100 - nicht als konventioneller Brennstoff, sondern als Ersatz-Brennstoff bilanziert.

Bei den Ersatz-Brennstoffen erfolgte im Jahresvergleich 1994/96 ein reduzierter Einsatz von Altreifen um 8,2%, von Petrolkoks um 64,2% und von Lösungsmittel um 59,3%. Zugenommen hat der Einsatz von Altölen um 2,7%, Papierfaserreststoffen um 65,4% und besonders stark der Einsatz von Altkunststoffen. Der summierte Energieeinsatz an Ersatz-Brennstoffen hat um rund 0,6% zugenommen.

Der gesamte Energieeinsatz aus konventionellen und Ersatz-Brennstoffen hat durch die verringerte Klinkerproduktion um knapp 22% abgenommen.

Im Vergleich von 1994 und 1996 hat sich der Anteil der Ersatz-Brennstoffe an der Deckung des gesamten Energiebedarfes von 17,2% auf 22,1% erhöht; dementsprechend konnte der Anteil fossiler Brennstoffe von 82,8% auf 77,9% reduziert werden (Abbildung 5, Seite 13).

Tabelle 7 zeigt, daß durch den Einsatz von Ersatz-Brennstoffen in Anlagen der österreichischen Zementindustrie beträchtliche Mengen an fossilen Brennstoffen substituiert und damit natürliche Ressourcen geschont werden konnten. Hinzu kommt, daß neben der Nutzung des Energieinhaltes auch nicht energetisch zu nutzende Inhaltsstoffe der Ersatz-Brennstoffe eine chemische, somit stoffliche Verwertung im zu erzeugenden Produkt fanden.

Aus den Gesamtwerten der österreichischen Zementindustrie für Klinkerproduktion, Ofenbetriebsstunden und Gesamtenergieeinsatz - konventionelle Brennstoffe und Ersatz-Brennstoffe zusammengenommen - lassen sich spezifische Energiekennwerte errechnen, die eine Aussage über den Ausnutzungsgrad der eingesetzten pyrogenen Energie ermöglichen. Es sind dies neben der spezifischen Klinkerproduktion (Tonne produzierten Klinkers je Ofen-

Ersatz-Brennstoffe	Altöl Altreifen Kunststoffabfälle Petrolkoks Papierfaserreststoff Lösungsmittel
--------------------	--

▲ Tabelle 6: in der österreichischen Zementindustrie verwendete Ersatz-Brennstoffe (geordnet nach Energieeinsatz 1996)

▼ Tabelle 7: durch den Einsatz von Ersatz-Brennstoffen im Jahr 1996 substituierte Menge an konventionellen Brennstoffen

1996	Energieeinsatz durch Ersatz-Brennstoffe:	2.296.319 [GJ/a]
	gleichbedeutend	
	einer Einsatzmenge an Steinkohle von (mittlerer Heizwert 29,70 [MJ/kg])	77.317 [t/a]
	oder einer Einsatzmenge an Braunkohle von (mittlerer Heizwert 21,97 [MJ/kg])	104.521 [t/a]
	oder einer Einsatzmenge an Heizöl S von (mittlerer Heizwert 39,44 [MJ/kg])	58.223 [t/a]
	oder einer Einsatzmenge an Erdgas von (mittlerer Heizwert 36,43 [MJm ⁻³ (Vn)])	63.033.741 [m ³ (Vn)/a]

betriebsstunde) im besonderen der spezifische Ofenenergieeinsatz (Energieeinsatz pro Ofenbetriebsstunde) und der spezifische Produktenergieeinsatz (Energieeinsatz je Tonne erzeugten Klinkers).

Für die Berichtsjahre 1994, 1995 und 1996 sind diese Daten in der nachfolgenden Tabelle 8 und in Abbildung 6 (Seite 14) angegeben.

Vergleicht man diese Daten in Bezug auf das Basisjahr 1994, so zeigt sich für diese drei Jahre die folgende Tendenz:

In Ergänzung hierzu wurden diese Werte auch als Mittelwerte aus den drei Berichtsjahren verglichen mit den Mittelwerten, die sich aus den Daten der Jahre 1991 bis 1993 - ermittelt in Studie I [1] - errechnen.

Im Berichtszeitraum haben die spezifische Klinkerproduktion und der spezifische Ofenenergieeinsatz abgenommen. Berücksichtigt man, daß der Rohmehlfaktor zwar zugenommen hat, dies jedoch fast ausschließlich auf den Beitrag aus einem Werk zurückzuführen ist, so läßt sich die Abnahme der spezifischen Klinkerproduktion ableiten aus einem kleineren Materialdurchsatz pro Ofenbetriebsstunde ableiten. Dies nimmt auch Einfluß auf den Rückgang des spezifischen Ofenenergieeinsatzes.

Vergleichsjahr		1994	1995	1996
Klinkerproduktion	$[t_{kl}/a]$	3.791.131	2.929.973	2.915.956
Ofenbetrieb	$[h_{OB}/a]$	85.502	71.331	67.310
Gesamtenergieeinsatz	$[GJ/a]$	13.277.881	10.488.429	10.381.046
spezifische Klinkerproduktion	$[t_{kl}/h_{OB}]$	44,34	41,08	43,32
spezifischer Ofenenergieeinsatz	$[GJ/h_{OB}]$	155,29	147,04	154,23
spezifischer Produktenergieeinsatz	$[GJ/t_{kl}]$	3,50	3,58	3,56
Rohmehlfaktor	$[t_{Rm}/t_{kl}]$	1,59	1,59	1,61

▲ **Tabelle 8:** Produktionsdaten und Energieeinsatz (exklusive elektrischer Energie) der österreichischen Zementwerke für den Vergleichszeitraum von 1994 bis 1996

Jahresvergleich		1994/95	1994/96	Tendenz
spezifische Klinkerproduktion	$[t_{kl}/h_{OB}]$	-7,36	-2,30	abnehmend
spezifischer Ofenenergieeinsatz	$[GJ/h_{OB}]$	-5,31	-0,69	abnehmend
spezifischer Produktenergieeinsatz	$[GJ/t_{kl}]$	2,21	1,65	steigend
Rohmehlfaktor	$[t_{Rm}/t_{kl}]$	0,20	1,03	steigend

▲ **Tabelle 9:** spezifische Produktionsdaten, spezifische Energieeinsätze sowie Rohmehlfaktor im Jahresvergleich 1994/95 und im Jahresvergleich 1994/96

Bilanzzeitraum		1991-1993	1994-1996	Änderung [%]
spezifische Klinkerproduktion	$[t_{kl}/h_{OB}]$	43,32	42,91	-0,94
spezifischer Ofenenergieeinsatz	$[GJ/h_{OB}]$	149,79	152,19	1,60
spezifischer Produktenergieeinsatz	$[GJ/t_{kl}]$	3,46	3,55	2,59
Rohmehlfaktor	$[t_{Rm}/t_{kl}]$	1,58	1,60	0,99

▲ **Tabelle 10:** Vergleich von 3-Jahres-Mittelwerten relevanter spezifischer Kenndaten

Dem steht gegenüber eine Zunahme des spezifischen Produktenergieeinsatzes, die mit der Abnahme der spezifischen Klinkerproduktion zunächst keinen unmittelbaren Zusammenhang erkennen läßt.

Um diese Situation besser erfassen und klären zu können, wurden die spezifischen Kenndaten für alle österreichischen Zementwerke separat errechnet und miteinander verglichen. Aufgrund der gewünschten Vertraulichkeit werden diese Werte hier nicht angegeben.

Eine Analyse zeigt, daß der gesamtösterreichische Wert für den spezifischen Produktenergieeinsatz vor allem von einem relativen Ansteigen der werksspezifischen Produktenergieeinsatzwerte einiger Werke, die Ersatz-Brennstoffe, im besonderen Kunststoffabfälle und Altöle zur thermischen Verwertung bringen, geprägt wird.

Da es sich bei beiden Abfallarten um heizwertreiche Ersatz-Brennstoffe handelt, sind als mögliche Gründe für diesen Effekt zu nennen:

- Qualität des Ersatz-Brennstoffes im Zustand der Anlieferung bzw. der Verfeuerung,
- Änderung der feuerungstechnischen Bedingungen, verursacht durch die Qualität der Ersatz-Brennstoffe,
- feuerungstechnische Faktoren, bedingt durch die Art der Aufgabe der Ersatz-Brennstoffe.

Generell ist dazu anzumerken, daß der Einsatz eines neuen (Ersatz-) Brennstoffes im praktischen Ofenbetrieb eine Phase der Anpassung an und Adjustierung auf die neuen Betriebszustände benötigt.

Es wird empfohlen, mögliche Einflußfaktoren zu überprüfen und durch geeignete organisatorische Maßnahmen (Anlieferung, Kontrolle und Lagerung von Ersatz-Brennstoffen) sowie feuerungstechnische Adaptierungen eine Minimierung dieses Effektes zu erreichen.

Im Zusammenhang mit Emissionsmassenströmen soll auch darauf hingewiesen werden, daß letztlich die Ofenbetriebsstunde für die Emissionen von Bedeutung ist, da auch bei einem - theoretisch angenommenen - Nulldurchsatz an Rohmehl pyrogene Emissionen aus der Verfeuerung von Brennstoffen freigesetzt werden.

6.3 Sekundäre Einsatzstoffe

Der Einsatz sekundärer Rohstoffe (Abbildung 7 und Abbildung 8, Seite 15) hat mit knapp 20% in Summe etwas weniger abgenommen als die Klinkerproduktion. Reduzierten Einsätzen von LD-Schlacke um 30,8% und anderen steht eine starke Zunahme beim Einsatz von Gießereialsanden gegenüber.

Bei den sekundären Zumahlstoffen (Abbildung 9, Seite 16) ist der etwa gleich große Einsatzrückgang von 20,4% wie bei den sekundären Rohstoffen zu verzeichnen. Abgenommen haben in diesem Bereich die Verwendung von Hochofenschlacke um 27,6% und Flugasche um 4,6%, deutlich zugenommen hat der Einsatz von REA-Gips um 52,8%.

Die Verwendung sekundärer Einsatzstoffe ist somit in ihren beiden Bereichen, den sekundären Rohstoffen und den sekundären Zumahlstoffen in der Größenordnung des Produktionsrückganges zurückgenommen worden, wobei dies für die Zumahlstoffe in genauer Übereinstimmung mit dem Rückgang der Zementproduktion zutrifft.

Eine Übersicht über die von der österreichischen Zementindustrie verwendeten sekundären Roh- und sekundären Zumahlstoffe gibt Tabelle 11.

Die im Bilanzjahr 1996 als sekundäre Rohstoffe beim Klinkerbrand verwendeten Si-hältigen Materialien (Gießereialsand, Spezialschlacken, und -aschen,...) ersetzen jährlich ungefähr 16.000 Tonnen Quarzsand (SiO_2). Diese Menge wäre aus natürlichen Lagerstätten bereitzustellen. Gleichwohl läßt sich die durch stoffliche Verwertung von Fe-hältigen, sekundären Rohstoffen (Kiesabbrand, Walzenzunder, LD-Rückstände,...) gemeinsam mit Altreifen (Karkasse) 1996 erzielte Ressourcenschonung mit ca. 18.000 Tonnen hämatitischem Eisenerz (Fe_2O_3) quantifizieren.

Sekundärrohstoffe	LD-Schlacke diverse Aschen Walzenzunder Gießereialsand Spezialschlacken Kiesabbrand Waschberge
Sekundärzumahlstoffe	Hochofenschlacke Flugasche REA-Gips

▲ *Tabelle 11: Übersicht über die Sekundärroh- und -zumahlstoffe in der österreichischen Zementindustrie (geordnet nach Einsatzmenge 1996)*

6.4 Emissionen

Für einzelne Emissionskomponenten wurden die prozentuellen Änderungen für den Massenstrom (Tabelle 12), den Emissionsfaktor für Zement und den Emissionsfaktor für Klinker (Tabelle 13) gerechnet.

In Tabelle 14 wird die Streubreite für die von den einzelnen Werken erhobenen Emissionsdaten - maximaler und minimaler Wert - dargestellt und der aus den 12 Einzelwerten sich ergebende arithmetische Mittelwert für das Jahr 1996 angegeben. Die letzte Spalte der Tabelle zeigt die Grenzwerte nach der österreichischen Zementverordnung 1993 [3].

Zur Beurteilung und Einschätzung von Mittelwerten ist auszuführen, daß ein Mittelwert, gebildet aus den spezifischen Werten einer Anzahl von Anlagen, um so bessere Qualität besitzt, je größer die Zahl der erfaßten Anlagen ist. Es ist auch zu beachten, daß ein anlagenspezifischer Wert einen Mittelwert über eine bestimmte Zeit und - bedingt durch die zeitlich und örtlich differenten Transportvorgänge (Anbackungen) im Drehrohr - nicht einen völlig homogenen Prozeßablauf darstellt. Die emissionstechnische Aussage eines Mittelwertes bedarf daher der ergänzenden Berücksichtigung der Maximal- und der Minimalwerte sowie der zeitlichen Basis.

Für schwingende Prozeßabläufe sind daher Emissionsgrenzwerte auf der Basis von Halbstundenmittelwerten schwieriger einzuhalten als solche auf Stundenbasis.

Aus der in Tabelle 5 (Seite 10/11) zusammengestellten Übersicht über die pyrogenen Emissionen der Zementindustrie der Jahre 1994 bis einschließlich 1996 können folgende Entwicklungen erkannt werden:

6.4.1 Staub

Die in diesem Bericht erfaßte und dargestellte Staubemission stammt ausschließlich aus dem Ofenbetrieb. Nicht erfaßt sind jene Emissionen, die aus der Lagerung und der Handhabung von Einsatzstoffen und Produkten als diffuse Emissionen oder als Restemission aus Staubabscheidern von Mahl-, Lager-, Transport- und Abfülleinrichtungen auftreten. In diesem Zusammenhang soll darauf hingewiesen werden, daß nach §5 Z.3 der Zementverordnung [3] mittels Einzelmessungen in regelmäßigen, fünf Jahre nicht übersteigenden Zeitabständen der Gehalt an Gesamtstaub bei sonstigen definierten Emissionsquellen zu bestimmen ist.

Die Abnahme des Massenstroms der Staubemission beträgt mit rund 11% nur etwa die Hälfte des Rückganges der Klinkerproduktion und erhöht somit die Emissionsfaktoren für Klinker und für Zement um jeweils 15,7 bzw. 12,1% (Tabelle 12 bzw. Tabelle 13).

Dieses Ergebnis ist dahingehend zu interpretieren, daß es nicht zu einer Verschlechterung der technischen Abscheideleistung gekommen ist, sondern die Berechnungsunterlagen eine Qualitätsverbesserung erfahren haben. Waren 1994 vom Gesamtbestand der Anlagen 76,9% mit kontinuierlichen Emissionsmeßgeräten für Staub ausgerüstet, ist dieser Prozentsatz 1996 auf 100% gestiegen. Mit diesem hohen Erfassungsgrad durch kontinuierliche Messung sind die Ergebnisse sehr gut abgesichert und zeigen die tatsächlichen Verhältnisse besser, als die zu einem Viertel auch mit diskontinuierlich gemessenen Werten gewonnenen Ergebnisse des Jahres 1994.

Vergleichsjahr	1994	1995	1996	Δ 1996/94
Komponente	Emission [t / Jahr]	Emission [t / Jahr]	Emission [t / Jahr]	Änderung [%]
Staub	166,146	142,001	147,790	- 11,05
Stickstoffoxide (als NO ₂)	6.240,371	4.924,717	4.713,988	- 24,46
Schwefeldioxid (SO ₂)	1.085,915	773,784	1.235,605	13,78
chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	26,888	15,610	16,530	- 38,52
fluorhaltige Verbindungen (als HF)	2,883	1,577	1,750	- 39,30
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	205,349	163,185	195,248	- 4,92
Kohlenmonoxid (CO)	10.207,546	7.416,923	7.992,466	- 21,70
pyrogenes Kohlendioxid (CO ₂)	1.088.892	867.074	861.296	- 20,90
prozeßbedingtes Kohlendioxid (CO ₂)	2.102.255	1.631.326	1.634.247	- 22,26
Summe Kohlendioxid (CO ₂)	3.191.147	2.498.400	2.495.544	- 21,80
Quecksilber (Hg)	0,122761	0,076708	0,070731	- 42,38
Chrom (Cr)	0,037039	0,036075	0,028125	- 24,07
Cadmium (Cd)	0,084029	0,053156	0,047691	- 43,25
Arsen (As)	0,044069	0,059688	0,045977	4,33
Blei (Pb)	0,214115	0,095770	0,140757	- 34,26
Summe metallische Spurenelemente	1,633030	1,041888	1,021912	- 37,42

▲ Tabelle 12: Emissionen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (1994-1996) und ihre prozentuellen Änderungen in 1996 bezogen auf 1994

Vergleichsjahr	1994	1996	Δ 1996/94	1994	1996	Δ 1996/94
	E-Faktor [g/t _{Klinker}]	E-Faktor [g/t _{Klinker}]	Änderung [%]	E-Faktor [g/t _{Zement}]	E-Faktor [g/t _{Zement}]	Änderung [%]
Staub	43,83	50,68	15,65	34,89	39,11	12,10
Stickstoffoxide (als NO ₂)	1.646,04	1.616,62	- 1,79	1.310,27	1.247,39	- 4,80
Schwefeldioxid (SO ₂)	286,44	423,74	47,94	228,01	326,96	43,40
chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	7,092	5,669	- 20,07	5,646	4,374	-22,52
fluorhaltige Verbindungen (als HF)	0,760	0,600	- 21,09	0,605	0,463	- 23,51
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	54,166	66,958	23,62	43,117	51,665	19,83
Kohlenmonoxid (CO)	2.692,5	2.740,9	1,80	2.143,2	2.114,9	- 1,32
pyrogenes Kohlendioxid (CO ₂)	287.220,9	295.373,6	2,84	228.631,5	227.912,0	- 0,31
prozeßbedingtes Kohlendioxid (CO ₂)	554.519,4	560.449,9	1,07	441.404,4	432.446,5	- 2,03
Summe Kohlendioxid (CO ₂)	841.740,3	855.823,5	1,67	670.035,9	660.358,5	- 1,44
Quecksilber (Hg)	0,032381	0,024256	- 25,09	0,025776	0,018716	- 27,39
Chrom (Cr)	0,009770	0,009645	- 1,27	0,007777	0,007442	- 4,30
Cadmium (Cd)	0,022165	0,016355	- 26,21	0,017643	0,012620	- 28,47
Arsen (As)	0,011624	0,015767	35,64	0,009253	0,012166	31,48
Blei (Pb)	0,056478	0,048271	- 14,53	0,044957	0,037246	- 17,15
Summe metallische Spurenelemente	0,430750	0,350455	- 18,64	0,342883	0,270413	- 21,14

▲ Tabelle 13: die auf die Tonne Klinker bzw. auf die Tonne Zement bezogenen Emissionsmassenströme diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie für die Vergleichsjahre 1994 und 1996, sowie die prozentuellen Änderungen in 1996 bezogen auf 1994.

Schadstoff	mittlere Emissionskonzentration [mg/m ³ (Vn)tr.]	maximale Emissionskonzentration [mg/m ³ (Vn)tr.]	minimale Emissionskonzentration [mg/m ³ (Vn)tr.]	Grenzwert [mg/m ³ (Vn)tr.]
Staubförmige Emissionen	21,33	47,16	3,70	50 ^{a)}
Stickstoffoxide (als NO ₂)	680,49	963,75	371,00	500 ^{b)} / 1.000 ^{c)}
Schwefeldioxid (SO ₂)	178,37	1.134,72	2,90	200 ^{a)} / 400 ^{d)}
As, Co, Ni, Pb (insgesamt)	0,039320	0,108506	0,002382	1,0 ^{a)}
Cadmium (Cd)	0,006884	0,058945	<0,000100	0,1 ^{a)}
Thallium (Tl)	0,008582	0,013998	<0,000100	0,1 ^{a)}
Beryllium (Be)	0,003450	0,005668	0,000272	0,1 ^{a)}
Cd, Tl, Be (insgesamt)	0,018916	0,078611	0,000454	0,2 ^{a)}
Quecksilber (Hg)	0,010210	0,017112	0,002991	-
Chlorwasserstoff (HCl)	2,386	4,230	<0,100	-
Fluorwasserstoff (HF)	0,253	0,409	0,119	-
Kohlenmonoxid (CO)	1.153,76	3.211,74	185,71	-
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	28,185	64,500	13,000	-

Symbolik: ^{a)} für Neuanlagen gültig ab 29.01.1993, für Altanlagen gültig ab 29.01.1998
^{b)} für Neuanlagen gültig ab 29. 01. 1993
^{c)} für Altanlagen gültig ab 31. 12. 1996
^{d)} beim Vorliegen S-hältiger Rohstoffe

Die o.g. Zeitpunkte des Inkrafttretens der Grenzwerte gelten nur für Zementwerke die dem Gewerberecht unterliegen, sie gelten jedoch nicht für jene Zementwerke, die dem Bergrecht unterliegen.

▲ Tabelle 14: Streubreite der mittleren Emissionskonzentrationen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie berechnet für das Jahr 1996 (Bezugssauerstoffkonzentration: 10,0 Vol.-%)

Die mittlere Emissionskonzentration 1996 für Staub, als Mittelwert aus allen Werken errechnet, liegt bei 42,7% des Emissionsgrenzwertes, der Maximalwert bei 94,3% (Tabelle 14, Seite 23).

Um einen Überblick zu geben, welchen Weg die Österreichische Zementindustrie in der Zeit seit dem Wiederbeginn nach Ende des zweiten Weltkrieges in Richtung ihres Beitrages zur Luftreinhaltung bei Staub zurückgelegt hat, soll in der Tabelle 15 die Entwicklung seit 1950 gerafft gezeigt werden.

Jahr	Zementproduktion in Österreich	Staubemission in Massenprozent der Jahresproduktion
	[Mt]	[m%]
1950	1,30	1,9
1970	4,00	0,062
1995	3,84	0,0037

▲ Tabelle 15: Anteil der Staubemission an der Zementjahresproduktion für die Jahre 1950, 1970

In den Jahren nach 1950 konnte mit der Installierung von modernen Elektrofiltern die Staubemission bis 1970 um zwei Zehnerpotenzen abgesenkt werden. In den vergangenen 25 Jahren bis 1995 konnte die Staubemission durch apparative und betriebstechnische Verbesserungen nochmals um eine Zehnerpotenz verringert werden.

6.4.2 Stickstoffoxide

Der Massenstromwert der Stickoxide hat überproportional um 24,5% abgenommen. Dementsprechend konnten auch die spezifischen Emissionsfaktoren für Zement um 4,8%, für Klinker um 1,8%, gesenkt werden.

Diese Reduktion ist darauf zurückzuführen, daß primäre Maßnahmen zur verminderten Bildung von Stickoxiden, d.h. feuerungstechnische Maßnahmen, in verstärktem Ausmaß und verbesserter Wirkung zum Einsatz gebracht wurden. Da im Temperaturbereich der Klinkerbrandöfen das thermisch gebildete NO_x gegenüber dem Brennstoff-NO_x stark dominant ist, sind die Änderungen im Brennstoffeinsatz und damit in ihrem Stickstoffgehalt von untergeordneter Bedeutung und die feuerungstechnischen Primärmaßnahmen, die auf die reduzierte Bildung von thermischem NO_x wirken, für diese Emissionsverminderung hauptverantwortlich.

Die aus allen Werken errechnete mittlere NO_x-Emissionskonzentration 1996 liegt bei 68% des für Altanlagen geltenden Emissionsgrenzwertes, der maximale Meßwert bei 96,4%.

Seit der Stilllegung des Ofenbetriebes im Werk Lorüns im Februar 1996 sind alle 11 Zementwerke mit kontinuierlich arbeitenden Meßgeräten für NO_x ausgerüstet.

6.4.3 Schwefeldioxid

Im Bereich der gasförmigen Schadstoffe ist SO₂ der einzige, für den der Massenstrom beträchtlich, um 13,8%, zugenommen hat. Dies bewirkt auch eine starke Erhöhung der Emissionsfaktoren, für Zement um 43,4%, für Klinker um 47,9%.

Dieser Anstieg ist auf den Einfluß eines einzelnen Werkes, dessen Rohstoff einen sehr hohen Schwefelgehalt aufweist zurückzuführen. Diese Tatsache spiegelt sich auch im Mittelwert für die SO₂-Emissionskonzentration aus allen österreichischen Werken und der Spreizung zwischen den Werten der minimalen und der maximalen Emissionskonzentration wider. Der Minimalwert liegt bei 2,9 mg/m³(Vn), der Maximalwert bei 1.134,7 mg/m³(Vn), der gewichtete Mittelwert nur bei 178,4 mg/m³(Vn).

Dieser Mittelwert, der jedoch das hohe Emissionsniveau eines Werkes mit einschließt, liegt bei 89,2% des für Altanlagen gültigen Emissionsgrenzwertes. Die Emissionskonzentrationen jenes Werkes mit hohem Schwefelgehalt im Rohstoff liegen derzeit um das zwei- und mehrfache höher als der für mit solchen Rohstoffen arbeitende Werke geltende Emissionsgrenzwert. Das Werk hat die logistischen Vorarbeiten für die technische Lösung dieses Problems abgeschlossen.

Seit 12. August 1996 sind alle 11 österreichischen Zementwerke mit kontinuierlich arbeitenden Meßgeräten für SO₂ ausgerüstet.

6.4.4 Halogenverbindungen

Sowohl für chlorhaltige (berechnet als HCl) als auch für fluorhaltige Verbindungen (berechnet als HF) haben die Emissionsmassenströme stark überproportional in der Größenordnung von rund 39% abgenommen. Dies bringt auch Verkleinerungen der Werte der Emissionsfaktoren sowohl für Klinker als auch für Zement, die im Bereich zwischen 20% und 23,5% liegen.

Es muß darauf hingewiesen werden, daß es sich bei diesen Emissionen wahrscheinlich um aus der Dampfphase kondensierte Feinststäube mit einem mittleren Partikeldurchmesser von kleiner 1µm handelt, die aus Alkalisulfaten, Alkalichloriden, Calcium- oder Alkalifluoriden bestehen, die von den in gasanalytischen Untersuchungen eingesetzten Membranfiltern unvollständig zurückgehalten werden und infolge ihrer Löslichkeit in den verwendeten Absorptionsflüssigkeiten Anteile an gasförmigen Chlor- und Fluorverbindungen im Abgas vortäuschen. Es ist wenig wahrscheinlich, daß HCl, HF oder andere gasförmige Halogenverbindungen emittiert werden.

Für chlor- und fluorhaltige Verbindungen sind in der Zementverordnung 1993 [3] keine Emissionsgrenzwerte vorgeschrieben.

6.4.5 Gesamtkohlenstoff (TOC)

Die nur geringfügige Abnahme des TOC-Massenstromes um 4,9% bewirkt eine Erhöhung der Emissionsfaktoren, für Zement um 19,8%, für Klinker um 23,6%. Ob und inwieweit neben den organischen Bestandteilen des Rohmaterials allenfalls eine Verschiebung in den Einsatzmengen der Energieträger hier von Einfluß ist, könnte durch eine weiterführende Untersuchung geklärt werden.

Für TOC ist in der Zementverordnung 1993 [3] kein Emissionsgrenzwert vorgeschrieben.

1996 waren 3 Zementwerke mit kontinuierlich arbeitenden Meßgeräten für TOC ausgerüstet.

6.4.6 Metallische Spurenelemente

Von den insgesamt in diesem Bericht erfaßten 13 metallischen Spurenelementen sind sieben in der Zementverordnung 1993 [3] angeführt und mit spezifischen und/oder Gruppen-Emissionsgrenzwerten versehen.

Für Cadmium, Thallium und Beryllium sind jeweils 0,1 mg/m³(Vn), für diese drei Schwermetalle zusammen ein Wert von maximal 0,2 mg/m³(Vn) vorgeschrieben.

Für Cadmium liegt die maximale gemessene Emissionskonzentration bei 58,9%, die mittlere Emissionskonzentration bei 6,9% des künftigen Emissionsgrenzwertes.

Bei Thallium liegt die maximale Konzentration bei 14%, der Mittelwert bei 8,6% des Grenzwertes.

Für Beryllium ergeben sich für die maximale Konzentration 5,7%, für den Mittelwert 3,5% des vorgesehenen Grenzwertes.

Für die Gruppe dieser drei Spurenmetalle zusammen errechnet sich, daß der maximale Konzentrationswert bei 39,3%, der mittlere Konzentrationswert bei 9,5% liegen.

Die zweite in der Zementverordnung angeführte Gruppe umfaßt Arsen, Cobalt, Nickel und Blei. Hier liegt die maximale Konzentration bei 10,9%, der Mittelwert bei 3,9% des Grenzwertes.

In Ergänzung der vorstehenden Darstellung soll auch der Trend der Werte für 1994 und 1996 für fünf ausgewählte Schwermetalle, Hg, Cr, Cd, As und Pb dargestellt werden, wobei wieder der Massenstrom und die Emissionsfaktoren für Zement und für Klinker verglichen werden (Tabelle 12 und Tabelle 13, Seite 23).

Es zeigt sich, daß nur bei Arsen ein Anstieg der Werte erfolgt ist, der jedoch bei weitem nicht ein Ausmaß erreicht, das die Erfüllung des künftigen Gruppengrenzwertes, in welchem Arsen eingeschlossen ist, gefährden könnte. In acht der zwölf österreichischen Zementwerke unterschritten 1996 die jeweiligen mittleren, werksspezifischen Emissionskonzentrationen für Arsen den aus den Einzelwerten errechneten sehr niedrigen arithmetischen Mittelwert von 6,637 µg/m³(Vn) tr. (10,0Vol.-% O₂) um bis zu zwei Zehnerpotenzen.

Bei den anderen vier Schwermetallen ist beim Massenstrom ein deutlich überproportionaler Rückgang zu verzeichnen, der je nach Metall zwischen 24,1% und 42,4% liegt. Dieser Rückgang wirkt sich auch auf die Absenkung der Emissionsfaktoren aus, die im geringsten bei Chrom beim Emissionsfaktor für Klinker mit 1,3%, am stärksten bei Cadmium im Emissionsfaktor für Zement mit 28,5% zum Tragen kommt.

Bei der Summe aller 13 erfaßten metallischen Spurenelemente ergibt sich mit 37,4% ebenfalls ein überproportionaler Rückgang des Emissionsmassenstromes. Bei den Emissionsfaktoren liegt die Reduzierung für Zement bei 21,1%, für Klinker bei 18,6%.

1996 war in einem Werk ein kontinuierlich arbeitendes Meßgerät zur Bestimmung von Gesamt-Quecksilber - erfaßt werden damit dampfförmiges und am Staub adsorptiv gebundenes Hg - installiert.

6.4.7 Kohlenoxide

Für die erfaßten Kohlenoxide liegen alle Werte für den Rückgang des Massenstromes im Bereich zwischen 20,9% und 22,3%, wobei der Wert für das prozeßbedingte CO₂ mit 22,3% gut mit der Abnahme der Klinkerproduktion um 23,1% übereinstimmt.

Eine ebenfalls gute Übereinstimmung ergibt sich für das pyrogene CO₂ mit einem Rückgang von 20,9% und für CO mit 21,7% auf Basis des verringerten Gesamt-Energieeinsatzes im Ausmaß von 21,8%, wobei für das CO auch die Abnahme im Rohmehleinsatz um 22,3% von Einfluß ist.

Zur Bestimmung der CO-Emissionen waren 1996 in drei Werken kontinuierlich arbeitende Meßgeräte installiert.

Für das aus prozeßbezogenem und pyrogenem zusammengenommene Gesamt-CO₂ erfolgte eine Massenstromverringering um 21,8%, die numerisch ident mit dem verringerten Gesamtenergieeinsatz ist.

Bei den Emissionsmassenströmen bezogen auf die Tonne Zement sind für das Gesamt-CO₂, wie auch für Kohlenmonoxid eine leichte Abnahme um 1,4% bzw. 1,3%, bei den Faktoren für Klinker ein leichter Anstieg um 1,7% bzw. 1,8% zu verzeichnen. Dieser Unterschied ist u.a. auf die Abnahme des Klinkerfaktors (t_{Kl}/t_{Ze}) von 1994 mit 0,80 auf 0,77 im Jahr 1996 zurückzuführen - ein Unterschied, der auch bei den produktbezogenen Emissionsfaktoren für Luftschadstoffe zum Tragen kommt.

7. Zusammenfassung

Zunächst kann festgestellt werden, daß in den drei Jahren 1994 bis einschließlich 1996 die Datenlage über die Emission von Luftschadstoffen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie eine wesentliche Verbesserung erfahren hat. So standen nun für die Berechnung der Emissionen für die erfaßten 13 Spurenmetalle über den Berichtszeitraum die Ergebnisse aus insgesamt 685 Messungen zur Verfügung.

Auch standen die Aufzeichnungen von kontinuierlich arbeitenden Meßgeräten für Staub, NO_x, SO₂, Hg, TOC und CO zur Verfügung. Diese Entwicklung sichert die Ergebnisse der Emissionsberechnungen in gesteigertem Maße ab.

Mit Ausnahme von SO₂, bei welchem der rohstoffverursachte Einfluß eines Werkes diesen Trend verhindert hat, ergab sich für die Schadstoffe NO_x, chlor- und fluorhaltige Verbindungen (gerechnet als HCl bzw. HF) in Relation zur Klinkerproduktion ein überproportionaler Rückgang der Emissionsmassenströme und damit auch ein deutlicher Rückgang bei den produktbezogenen Emissionsfaktoren.

Ebenso ist der Emissionsmassenstrom aus der Summe aller 13 erfaßten Spurenmetalle überproportional zurückgegangen, folglich reduzierten sich auch die relevanten Emissionsfaktoren. Dies gilt gleichermaßen für die meisten bilanzierten Schwermetalle im einzelnen.

In diesen Zusammenhang ist zu bemerken, daß die Konzentrationen für Spurenelemente sehr gering sind und durch Schwankungen des Gehaltes in primären und sekundären Einsatzstoffen sowie durch betriebstechnische Parameter in ihren jeweiligen Werten beeinflusst werden können.

Der unterproportionale Rückgang der Staubemission und damit das Ansteigen der Emissionsfaktoren ist als Ergebnis der nunmehr kontinuierlichen Messung dieser Komponente zu sehen. Dieser Effekt kann auch bei dem Verlauf für TOC neben Brennstoffverschiebungen Einfluß genommen haben.

Die Abnahme des Gesamt-CO₂ Massenstromes entspricht genau der Verringerung des Gesamtenergieverbrauches, wobei der Anteil des prozeßbedingten CO₂ am Rückgang der Gesamtemission etwas höher liegt als der des pyrogenen CO₂. Die CO₂-Emissionsfaktoren, bezogen auf die Tonne Zement, wurden etwas verkleinert, jene, bezogen auf die Tonne Klinker, etwas erhöht.

Zusammenfassend ergibt sich, daß innerhalb der Zeitspanne dieses Berichtes bei der Mehrheit der gasförmigen Schadstoffe, bei der Summe der erfaßten Spurenmetalle sowie den meisten der einzelnen Schwermetalle die Emissionsmassenströme wesentlich stärker abgenommen haben, als dies dem Rückgang der Klinkerproduktion entsprochen hätte. In all diesen Fällen ist daher auch bei den auf die Tonne Klinker bzw. auf die Tonne Zement bezogenen Emissionsfaktoren eine Verkleinerung eingetreten.

Der Anstieg in der SO₂-Emission ist auf den singulären Einfluß eines Werkes zurückzuführen und kein genereller Trend in den übrigen Werken der österreichischen Zementindustrie.

Der Anstieg der Emissionsfaktoren für Staub ist im wesentlichen durch die nun kontinuierliche Messung dieser Emission bedingt.

Die Gesamt-CO₂ Emissionen haben im Ausmaß des Produktionsrückganges abgenommen.

Durch gesteigerten Einsatz von Ersatz-Brennstoffen wurde der Verbrauch an fossilen Brennstoffen von 82,8% auf 77,9% des Gesamtenergiebedarfes reduziert.

8. Abbildungsverzeichnis

Abb.: 1	Werksstandorte der österreichischen Zementindustrie	5
Abb.: 2	Rohmehleinsatz, Zement- bzw. Klinkerproduktion der österreichischen Zementindustrie von 1991 bis 1996	12
Abb.: 3	Einsatzmengen wichtiger konventioneller Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie von 1991 bis 1996	12
Abb.: 4	Einsatzmengen von Ersatz-Brennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1991 bis 1996	13
Abb.: 5	Ersatz-Brennstoff-Anteil am pyrogenen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Zeitraum von 1991 bis 1996	13
Abb.: 6	Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes (exklusive elektrischer Energieeinsatz), Darstellung des spezifischen CO ₂ -Emissionsmassenstroms und des spezifischen, unbezogenen Gesamtabgasnormvolumens in Anlagen der österreichischen Zementindustrie jeweils für den Zeitraum von 1991 bis 1996	14
Abb.: 7	Einsatzmengen sekundärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1991 bis 1996	15
Abb.: 8	Spezifizierung der im Zeitraum von 1991 bis 1996 in Anlagen der österreichischen Zementindustrie verwendeten sonstigen sekundären Rohstoffmassenströme	15
Abb.: 9	Einsatzmengen sekundärer Zuschlagstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1991 bis 1996	16
Abb.: 10	Jährliche Emissionen an Stickoxiden (als NO ₂), an Schwefeldioxid, an organischem Gesamtkohlenstoff und an Staub aus österreichischen Zementwerken (1991 - 1996)	16
Abb.: 11	Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO ₂), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Klinker (1991 - 1996)	17
Abb.: 12	Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO ₂), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Zement (1991 - 1996)	17
Abb.: 13	Entwicklung der jährlichen Emissionen an chlor- und fluorhaltigen Verbindungen (ausgewiesen als HCl bzw. HF) sowie der jährlichen Gesamtemissionen an Spurenelementen jeweils für den Zeitraum von 1991 bis 1996	18
Abb.: 14	Entwicklung der jährlichen Emissionen an Kohlendioxid und Kohlenmonoxid für den Zeitraum von 1991 bis 1996	18
Abb.: 15	Emissionen diverser Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Zeitraum 1991 bis 1996	19

9. Tabellensverzeichnis

Tab.: 1	Anlagentechnische Kenndaten zu den österreichischen Zementwerken	6
Tab.: 2	Mit den Messungen beauftragte autorisierte Institutionen	7
Tab.: 3	Anzahl der in die Datenerfassung aufgenommenen Einzelmessungen der österreichischen Zementwerke für den Vergleichszeitraum 1994-1996	7
Tab.: 4	Anzahl jener österreichischen Zementwerke, die über KMDE verfügen	7
Tab.: 5	Gesamtübersicht	10-11
Tab.: 6	in der österreichischen Zementindustrie verwendete Ersatz-Brennstoffe (geordnet nach Energieeinsatz 1996)	20
Tab.: 7	durch den Einsatz von Ersatz-Brennstoffen im Jahr 1996 substituierte Menge an konventionellen Brennstoffen	20
Tab.: 8	Produktionsdaten und Energieeinsatz (exklusive elektrischer Energie) der österreichischen Zementwerke für den Vergleichszeitraum von 1994 bis 1996	21
Tab.: 9	spezifische Produktionsdaten, spezifische Energieeinsätze sowie Rohmehlfaktor im Jahresvergleich 1994/95 und im Jahresvergleich 1994/96	21
Tab.: 10	Vergleich von 3-Jahres-Mittelwerten relevanter spezifischer Kenndaten	21
Tab.: 11	Übersicht über die Sekundärroh- und -zumahlstoffe in der österreichischen Zementindustrie (geordnet nach Einsatzmenge 1996)	22
Tab.: 12	Emissionen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (1994 - 1996) und ihre prozentuellen Änderungen in 1996 bezogen auf 1994	23
Tab.: 13	die auf die Tonne Klinker bzw. auf die Tonne Zement bezogenen Emissionsmassenströme diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie für die Vergleichsjahre 1994 und 1996, sowie die prozentuellen Änderungen in 1996 bezogen auf 1994.	23
Tab.: 14	Streubreite der mittleren Emissionskonzentrationen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österrei- chischen Zementindustrie berechnet für das Jahr 1996 (Bezugssauerstoffkonzentration: 10,0 Vol.-%)	23
Tab.: 15	Anteil der Staubemission an der Zementjahresproduktion für die Jahre 1950, 1970 und 1995	24

10. Literaturverzeichnis

- [1] Hackl, A.; Mauschitz, G.: "Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie", Zement+Beton Handels- und Werbeges.m.b.H. Wien (1995) 48S.
- [2] "100 Jahre Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie", Zement+Beton Handels- und Werbeges.m.b.H. Wien (1994) 109 S.
- [3] "Verordnung des Bundesministeriums für wirtschaftliche Angelegenheiten über die Begrenzung der Emission von luftverunreinigenden Stoffen aus Anlagen zur Zementerzeugung", Österreichisches Bundesgesetzblatt Nr. 63/1993 (29.01.1993)
- [4] Schreiner, O.: "Industrieabgasreinigung in Österreich", in "Die Industrie", Heft 47, Wien (1973)

Herausgeber: Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H., A-1030 Wien, Reiserstraße 53
im Auftrag der österreichischen Zementindustrie
Titelbild (U1): Copyright by Kirchdorfer Zementwerk Hofmann GmbH
Druck: farbwerk digital offset GmbH & Co KG, A-1020 Wien, Obere Donaustraße 83