

Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie III

Jahresreihe 1997 - 1999

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

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

Weitra/Wien, im Mai 2001

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Datenerfassung	4
2.1 Erfaßte Schadstoffe und produktionsrelevante Daten	4
2.2 Erfassungszeitraum	4
2.3 Erfaßte Anlagen	4
3. Datenermittlung	7
4. Ergebnisse, numerische und graphische Darstellung	10
5. Kommentierung der Ergebnisse	28
5.1 Anlage- und Produktionsdaten	28
5.2 Energieeinsatz	28
5.2.1 Gesamtenergie	28
5.2.2 Konventionelle Energieträger	29
5.2.3 Ersatzbrennstoffe	29
5.2.4 Strom	30
5.3 Rohstoffe	31
5.3.1 Rohmehl	31
5.3.2 Sekundärrohstoffe	31
5.3.3 Sekundäre Zuschlagstoffe	31
5.4 Mahlwerke	32
5.5 Emissionen	33
5.5.1 Allgemeines	33
5.5.2 Massenströme der Zementwerke mit Ofenbetrieb	33
5.5.3 Staubemissionen	34
5.5.4 Emissionsfaktoren	35
5.5.5 Klimarelevante CO ₂ -Emissionen	37
6. Die Entwicklung von 1988 bis 1999	38
7. Zusammenfassung	41
8. Tabellensverzeichnis	42
9. Abbildungsverzeichnis	43
10. Literaturverzeichnis	44

1. Einleitung

Die österreichische Zementindustrie hat beispielgebend für andere Branchen der industriellen Produktion in Österreich, aber auch für die Zementindustrie in anderen Ländern der Europäischen Union es unternommen über ihre Emissionen in die Luft und den damit im ursächlichen Zusammenhang stehenden Produktions- und Betriebsdaten von unabhängiger dritter Seite Jahresbilanzen erstellen und kommentieren zu lassen. Mit dem hiermit vorliegenden dritten Bericht über die Jahre 1997, 1998 und 1999 liegt nun eine geschlossene Zeitreihe der Emissionsbilanzen von 1988 bis 1999, somit über 12 Jahre vor [1,2]. Dieser Zeitraum umfaßt einen Abschnitt der österreichischen Zementindustrie, der diesem Zweig der Industrie, im besonderen unter dem Aspekt der Wende in den mittel- und osteuropäischen Staaten sowie des Beitritts Österreichs zur Europäischen Gemeinschaft, die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, umweltbezogene Gesetze und Richtlinien im nationalen sowie im Gemeinschafts-Recht, technische Entwicklungen aber auch in den Eigentumsverhältnissen wesentliche Änderungen gebracht hat, resultierend zu einer Reduktion der Standorte mit Ofenbetrieb, sowie der Produktionsmengen geführt hat.

Im vergangenen Dezennium hat die österreichische Zementindustrie aber auch eine zusätzliche, neue Funktion übernommen. Mit dem Einsatz von geeigneten Ersatzbrennstoffen aus dem Abfallbereich konnte durch deren thermische und teilweise auch stoffliche Verwertung im Bereich bestimmter Abfälle eine wichtige Entsorgungsfunktion übernommen werden. Mit der Verwertung von Sekundärrohstoffen und von Sekundärzuzugstoffen wurde diese Funktion in auch ökologisch wertvoller Weise abgerundet.

Der vorliegende Bericht hat als primäres Ziel Information über die Emissionen an Luftschadstoffen zu geben. Diese Emissionen stammen zu einem Teil aus thermischen Prozessen mit Energieträgern, zum anderen Teil aus chemischen und physikalischen Vorgängen der Produktionsprozesse. Die Emissionen beider Quellbereiche, die pyrogenen und die durch die Produktion bedingten prozeßspezifischen, werden einer internationalen Konvention folgend in den nationalen und internationalen Emissionsbilanzen gemeinsam als produktionsprozeßbezogene Emissionen ausgewiesen. Auch die nationalen Emissionsbilanzen des Umweltbundesamts folgen dieser Konvention. Im Rahmen der bisher vorgelegten Emissionsberichte der österreichischen Zementindustrie [1,2] wurde nach den beiden Quellbereichen unterschieden und aus Gründen der Vergleichbarkeit dies auch im vorliegenden Bericht beibehalten.

Zum Terminus Emissionsbilanz ist zu bemerken, daß die Bezeichnung „Bilanz“ nicht völlig korrekt ist, da Bilanzen sowohl den Eintrag in als auch den Austrag aus einem System enthalten (Soll/Haben). In diesem Bericht wird mit den Emissionen und der Produktmenge nur der Austrag aus dem System dargestellt; der Eintrag bezieht sich jedoch auf Rohstoffe und Energien. Obwohl somit die formalen Voraussetzungen für Bilanzen nicht gegeben sind, wird im Folgenden der Terminus „Emissionsbilanzen“ beibehalten, da dieser Ausdruck für die Darstellung von Emissionszusammenstellungen in den Sprachgebrauch übergegangen ist. Da das Emissionspotential der einzelnen Energieträger nach Art und Menge sehr verschieden ist, wird auf diesen Zusammenhang und die zum Einsatz gebrachten Brennstoffe näher eingegangen und die thermische und stoffliche Nutzung von Abfall und industriellen Reststoffen im Sinne eines nachhaltigen Produktionsprozesses dargestellt. Der Bericht umfaßt somit die größten und wichtigsten Bereiche einer Gesamtbilanz für Material- und Energieflüsse in der österreichischen Zementindustrie. Da die Daten kollektivierte Werte für die Gesamtheit der österreichischen Zementindustrie darstellen, sind sie jedoch nicht geeignet auf einzelne Werke und deren spezifische Daten umgelegt zu werden.

Die meisten in diesem Bericht verwerteten Messungen kontinuierlicher und diskontinuierlicher Erfassung dienen ausschließlich dazu gesetzeskonform die Emissionen zu dokumentieren und über die Einhaltung der Grenzwerte zu informieren.

Durch die zusätzliche Erfassung der Mahlwerke sowie die der Zementverordnung folgende Erfassung der Staubemissionen auch aus „sonstigen definierten Quellen“ [3] ist ein direkter Vergleich mancher Angaben mit den Daten der Berichte I und II [1,2] nicht möglich.

2. Datenerfassung

2.1 Erfaßte Schadstoffe und produktionsrelevante Daten

Es wurden Emissionsdaten für 22 Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen erhoben. Darunter finden sich Emissionsangaben

- über klassische Luftschadstoffe,
- über 13 metallische Spurenelemente und
- über das klimarelevante Schadgas Kohlendioxid (CO₂), unterteilt in bei der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Brennstoffe entstehendes pyrogenes CO₂ und bei der Rohmehldecarbonatisierung freigesetztes prozeßspezifisches CO₂.

Damit wurden alle für die Zementindustrie relevanten Schadstoffpotentiale hinreichend berücksichtigt. Im Detail wurden folgende Emissionskomponenten erfaßt:

- | | |
|--|---------------------------------------|
| > Staubförmige Emissionen | > Chrom (Cr) |
| > Stickstoffoxide (als NO ₂) | > Selen (Se) |
| > Schwefeldioxid (SO ₂) | > Mangan (Mn) |
| > Cadmium (Cd) | > Vanadium (V) |
| > Thallium (Tl) | > Zink (Zn) |
| > Beryllium (Be) | > Chlorverbindungen (als HCl) |
| > Arsen (As) | > Fluorverbindungen (als HF) |
| > Cobalt (Co) | > organischer Gesamtkohlenstoff (TOC) |
| > Nickel (Ni) | > Kohlenmonoxid (CO) |
| > Blei (Pb) | > CO ₂ pyrogen |
| > Quecksilber (Hg) | > CO ₂ decarbonatis |

Die Emissionsbilanz wurde ergänzt um:

- > Produktionsdaten
- > Einsatzmengen an konventionellen Energieträgern
- > Einsatzmengen an Ersatzbrennstoffen
- > thermischen und elektrischen Energieverbrauch
- > Einsatzmengen an Sekundärrohstoffen
- > Einsatzmengen an Sekundärzumahlstoffen

2.2 Erfassungszeitraum

Die Datenerfassung erfolgte für einen Zeitraum von drei Jahren und umfaßt 1997, 1998 und 1999. In Fortschreibung der Datenreihen der Studie I mit dem Bilanzzeitraum 1988 bis einschließlich 1993 [1] und der Studie II mit dem Bilanzzeitraum 1994 bis einschließlich 1996 [2] liegt nun gemeinsam mit dieser Emissionsbilanz ein Erfassungszeitraum von zwölf Jahren vor. Trendanalysen und Mittelwertbildungen können somit auf einer breiteren Datenbasis abgestützt und Aussagequalitäten von weniger systematischen Einflußgrößen unabhängiger gemacht werden.

2.3 Erfaßte Anlagen

Es wurden alle Produktionsanlagen der Zementindustrie in Österreich erfaßt. Neben den Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung wurden erstmals auch jene zementerzeugenden Betriebe – als Mahlwerke bezeichnet – in die Bilanz mitaufgenommen, die über keine eigene Klinkererzeugung verfügen.

Als Zementwerke mit Ofenbetrieb sind anzuführen:

- > Zementwerk Leube Ges.m.b.H. (Gartenau / Salzburg)
- > Gmundner Zement Produktions- und Handels GmbH (Gmunden)
- > Kirchdorfer Zementwerk Hofmann Ges.m.b.H. (Kirchdorf / Krems)
- > Lafarge Perlmooser AG (Betriebsstandort: Kirchbichl - bis 16. 10. 1997)

- Lafarge Permooser AG (Betriebsstandort: Mannersdorf)
- Lafarge Permooser AG (Betriebsstandort: Retznei)
- Schretter & Cie (Vils)
- Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH (Peggau)
- Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH (Wietersdorf)
- Wopfinger Baustoffindustrie GmbH (Waldegg)

Zementerzeugende Mahlwerke, die über keine eigene Klinkerproduktion verfügen, sind:

- SPZ Zementwerk Eiberg GmbH & Co KG (Kufstein)
- Schretter & Cie (Betriebsstandort: Kirchbichl - ab 01. 04. 1999)
- Vorarlberger Cement Lorüns GmbH (Lorüns)

Das Zementwerk Eiberg der SPZ Zementwerk Eiberg GmbH & Co KG hat im Dezember 1996 seinen Ofenbetrieb eingestellt und wird in der vorliegenden Bilanzierung als Mahlwerk mitberücksichtigt.

Das Zementwerk Kirchbichl der Lafarge Permooser AG wurde bis zur Stilllegung seiner beiden Lepolöfen am 16. Oktober 1997 als Zementwerk mit eigener Klinkererzeugung mitberücksichtigt. Das Mahlwerk Kirchbichl wurde mit seiner Inbetriebnahme im April 1999 als Zementwerk ohne eigenem Klinkerbrand in der Bilanz erfaßt.

Die werkspezifischen Anlagendaten der österreichischen Zementwerke mit eigener Klinkerproduktion sind in Tabelle 1 (Seite 6) zusammengefaßt.

Die geographische Lage der Werksstandorte der österreichischen Zementindustrie kann der folgenden Abbildung 1 entnommen werden

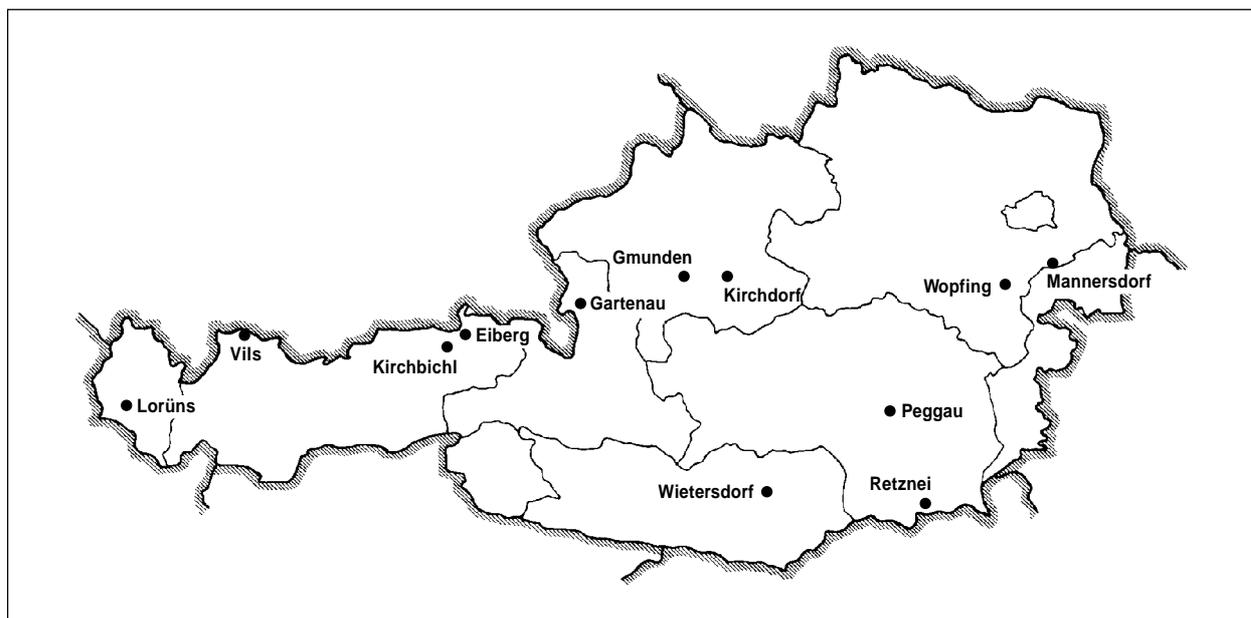


Abbildung 1: Werksstandorte der österreichischen Zementindustrie

Anlagenbetreiber	Standort	Anlagentechnik (31.12.1999)	Lieferant / Zustellung	Klinkerkühler (31.12.1999)	Entstaubung ⁽²⁾ (31.12.1999)	Brennstoffe ⁽³⁾ (im Bilanzzeitraum)	Klinker- kapazität installiert (01.01.1997) [t/Jahr]	Klinker- kapazität installiert (31.12.1999) [t/Jahr]	
Zementwerk Leube Ges.m.b.H.	Gartenau	2 vierstufige WT-DO, DOI mit Vorcalz.	KHD (DOI 1960, DOI 1967)	2 Schrägrostkühler	3 E-Filter	SK, Ö, R, K	576.000	576.000	
Gmundner Zement Produktions- und Handels GmbH	Gmunden	5stufiger WT-DO	Polysius (DOI 1972 / 92)	Satellitenkühler	2 E-Filter in Serie	Ö, R, K, AÖ, LM	512.000	512.000	
Kirchdorfer Zementwerk Hofmann Ges.m.b.H.	Kirchdorf	2 vierstufige WT-DO	KHD (DOI 1957/58 DOI 1962)	2 Schrägrostkühler	3 E-Filter	SK, G, K, AÖS	368.000	462.000	
Lafarge Perlmöoser AG	Kirchbichl ⁽¹⁾	Lepolverfahren 2 DO	Polysius (DOI 1952, DOI 1956)	2 Rohrkühler	je 1 E-Filter 1 Tuchf.	SK, Ö	275.000	-	
Lafarge Perlmöoser AG	Mannersdorf	2strang. 5stufig.WT-DO mit Vorcalz.	VOEST (DOI 1984)	1 Rostkühler	5 E-Filter	SK, PK, Ö, G, K, AÖ	768.000	809.000	
Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH	Peggau	Lepolverfahren 2 DO	Polysius (DOI 1961, DOI 1979)	2 Rostkühler	1 E-Filter	SK, PK, G, AÖ, LM	442.000	418.000	
Lafarge Perlmöoser AG	Retznei	4stufiger WT-DO	Polysius (DOV 1967)	Rostkühler	2 E-Filter	SK, PK, Ö, R, K	384.000	439.000	
Schretter & Cie	Vils	4stufiger WT-DO (zus. 1 Lepolofen)	Polysius (DOI 1961, DOI 1973)	2 Rostkühler	3 E-Filter	BK, Ö, R	256.000	240.000	
Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH	Wietersdorf	Lepolverfahren 1 DO	Polysius (DOI 1967)	Rostkühler	1 E-Filter u. 1 Tuchfilter	SK, Ö, G, R, K	320.000	338.000	
Wopfinger Baustoff- industrie GmbH	Wopfing	5stufiger WT-DO mit Vorcalzinator	Polysius (1980) (1996)	Rostkühler	2 E-Filter in Serie und 1 Kiesbetfilter	Ö, G, P, K	240.000	240.000	
Symbolik: SK Steinkohle BK Braunkohlenstaub LM Lösungsmittel K Kunststoffabfälle P Papierfaserreststoff AÖ Altöl (intern anfallendes und zugeliefertes)							Summe	4.141.000	4.034.000
(1) 2 Drehrohre stillgelegt am 16. Oktober 1997 (2) Entstaubungsanlagen für Drehrohrgase und für Kühlerabluft (bei Wärmetauscheröfen inkl. Rohmaterialtrocknungsanlagen) (3) Einsatzbereich Ofenlinie									

Tabelle 1: Anlagentechnische Kenndaten zu den österreichischen Zementwerken (Ofenlinie)

3. Datenermittlung

In Analogie zu den beiden Vorgängerstudien [1,2] erfolgt die Datenermittlung für jedes in der Bilanz berücksichtigte Zementwerk in individueller Weise durch Besichtigung der Produktionsanlagen und durch Erfassung und Auswertung der werkseigenen Aufzeichnungen. Darüber hinaus waren die im Auftrag des jeweiligen Werksbetreibers erstellten Prüfberichte und Gutachten von unabhängigen Instituten und wissenschaftlichen Einrichtungen eine wichtige Datengrundlage für die vorliegende Studie. Die so erfaßten und in ihrer Dokumentation überprüften werksspezifischen Analysedaten lagen je nach Schadstoff, entweder als mehrmals jährlich durchgeführte Einzelmessungen, oder als Halbstundenmittelwerte vor, sofern es sich um kontinuierlich erfaßte Schadstoffe handelte.

Die Einzelmeß- bzw. Halbstundenmittelwerte wurden für jedes einzelne Werk zu mittleren Jahresemissionskonzentrationen zusammengefaßt. Als Bezugssauerstoffkonzentration fand verordnungsgemäß [1] 10,0 Vol.-%

O₂ Berücksichtigung. Infolge errechneten sich gemeinsam mit den durchschnittlichen, trockenen Abgasnormvolumenströmen (273,15K; 101.326Pa) für jeden einzelnen Schadstoff werkseigene Emissionsmassenströme und auf die erzeugte Klinkermenge bzw. auf die erzeugte Zementmenge bezogene spezifische Emissionswerte (Emissionsfaktoren).

In jenen Positionen in welchen werksspezifische Daten in unzureichendem Maß vorlagen, mußten Analogieberechnungen in gleicher Weise wie in den Studien [1]

* inkl. Kirchbichl bis 16. Oktober 1997		Werksanzahl die über KMDE verfügen		
X	Emission	1997* [-]	1998 [-]	1999 [-]
1	Staubförmige Emissionen	10 von 10	9 von 9	9 von 9
2	Stickstoffoxide (als NO ₂)	10 von 10	9 von 9	9 von 9
3	Schwefeldioxid (SO ₂)	10 von 10	9 von 9	9 von 9
11	Quecksilber (Hg)	1 von 10	2 von 9	1 von 9
19	org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	2 von 10	2 von 9	2 von 9
20	Kohlenmonoxid (CO)**	4 von 10	4 von 9	4 von 9

** alle Werke erfassen CO als Prozeßleitgröße

Tabelle 2: Anzahl jener österreichischen Zementwerke, die über eine kontinuierliche Emissionsdatenerfassung (KMDE) verfügen

Tabelle 3: Anzahl der in die Datenerfassung aufgenommenen Einzelmessungen der österreichischen Zementwerke mit eigener Klinkerproduktion für den Vergleichszeitraum 1997 bis 1999 (exklusive Werte aus der kontinuierlichen Meßdatenerfassung KMDE)

* inkl. Kirchbichl bis 16. Oktober 1997		Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen
X	Emission	1997* [-]	1997* [%]	1998 [-]	1998 [%]	1999 [-]	1999 [%]	1997-1999 [-]
1	Staubförmige Emissionen	25	6,3	36	7,4	35	8,1	96
2	Stickstoffoxide (als NO ₂)	27	6,9	34	7,0	30	6,9	91
3	Schwefeldioxid (SO ₂)	27	6,9	48	9,9	30	6,9	105
4	Cadmium (Cd)	16	4,1	24	4,9	17	3,9	57
5	Thallium (Tl)	16	4,1	24	4,9	17	3,9	57
6	Beryllium (Be)	16	4,1	20	4,1	17	3,9	53
7	Arsen (As)	15	3,8	19	3,9	16	3,7	50
8	Cobalt (Co)	15	3,8	19	3,9	16	3,7	50
9	Nickel (Ni)	15	3,8	19	3,9	16	3,7	50
10	Blei (Pb)	16	4,1	18	3,7	17	3,9	51
11	Quecksilber (Hg)	25	6,3	24	4,9	25	5,8	74
12	Chrom (Cr)	14	3,6	18	3,7	14	3,2	46
13	Selen (Se)	1	0,3	2	0,4	3	0,7	6
14	Mangan (Mn)	8	2,0	11	2,3	9	2,1	28
15	Vanadium (V)	8	2,0	10	2,1	8	1,8	26
16	Zink (Zn)	12	3,0	15	3,1	19	4,4	46
17	chlorhältige Verbindungen (als HCl)	18	4,6	19	3,9	20	4,6	57
18	fluorhältige Verbindungen (als HF)	18	4,6	18	3,7	16	3,7	52
19	org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	35	8,9	38	7,8	44	10,2	117
20	Kohlenmonoxid (CO)	22	5,6	19	3,9	17	3,9	58
23+24	Kohlendioxid (CO ₂)	45	11,4	51	10,5	47	10,9	143
	Summe 1-24	[-] 394		486		433		1313
		[%] 30,01		37,01		32,98		100,00

und [2] vorgenommen werden. Zu diesem Zweck wurde werksübergreifend für jeden in der Studie erfaßten Schadstoff alle verfügbaren Meßwerte (1988 bis 1999) einer der folgenden drei Kategorien zugeteilt:

- Zementerzeugung nach dem Lepolverfahren,
- 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 betrieblichen Einsatzstoffsituation Ausnahmefälle darstellten.

Der gruppenspezifische Emissionsfaktor eines Schadstoffes fand für die Bilanzierung nur jener Produktionsanlagen Anwendung, die von 1997 bis 1999 keinerlei werkspezifische Analysen für den speziellen Schadstoff aufweisen konnten. Trotz einer in der letzten Periode deutlich verbesserten Datenverfügbarkeit mußte bei der Gesamtbilanzierung gewisser metallischer Spurenelemente (Selen, Vanadium, Mangan) auf den Einsatz von Emissionsfaktoren aus Analogierechnungen zurückgegriffen werden.

Gesondert sei darauf hingewiesen, daß bei der vorliegenden Emissionsbilanzierung von leichtflüchtigen Schwermetallen, im speziellen von Quecksilber, Cadmium und Thallium, neben den staubpartikelgebundenen Schwermetallemissionen auch dampfförmige Emissionsanteile mitberücksichtigt wurden.

Die Gesamtdarstellung der Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie erfolgte durch Addition der Emissionskennzahlen für alle Betriebsstandorte mit eigener Klinkerproduktion, getrennt von jenen Betriebsstandorten ohne eigener Klinkerproduktion (Mahlwerke), bei gleichzeitiger Wahrung der gewünschten Vertraulichkeit werkspezifischer Einzelwerte. Die Ermittlung der jährlichen Produktionsmengen, der jährlichen Mengen an Einsatzstoffen und des Jahresenergieeinsatzes erfolgte in gleicher Weise. Schließlich wurde die Bilanz der Zementwerke mit Ofenbetrieb mit der Mahlwerkebilanz zusammengeführt und das Ergebnis tabellarisch ausgewiesen.

Die „Zementverordnung“ [3] §5, Z. 3 sieht neben der kontinuierlichen Messung von Gesamtstaub (Ofenlinie), auch die periodische Ermittlung der Staubemissionen aus „allen sonstigen definierten Emissionsquellen“ vor. In der vorliegenden Studie wurde nun erstmals eine Quantifizierung dieser Emissionskategorie vorgenommen. Im Sinne dieser Studie umfaßt die Emissionskategorie Staubemissionen aus „allen sonstigen definierten Emissionsquellen“ alle Staubbefreiungen aus Anlagenteilen die den Einrichtungen zur Ofenabgasentstaubung vor- bzw. nachgeschaltet sind. Schwer erfaßbare, diffuse Staubemissionen (Winderosion an Halden und Fahrwegen, Schüttgutabwurf,...) fand keine Aufnahme in die Bilanz. Dieser Definition folgend, umfaßt die Bilanz im Ofen vorgeschalteten Bereich Staubemissionen aus lokalen Entstaubungseinrichtungen installiert in der Rohmaterialtrocknung, bei der Granulierung, in den Brennstoff- und Rohmehlmühlen, sowie in den Brennstoff- und Rohmateriallagern. Im Ofen nachgeschalteten Bereich wurden Staubemissionen aus lokalen Entstaubungseinrichtungen, die bei der Vermahlung, Lagerung und dem Transport von Klinker, Zumahlstoffen und Zement zum Einsatz kommen, mitberücksichtigt. Die vorliegende Bilanz weist diese Staubemissionskategorie für Zementwerke mit und ohne eigener Klinkererzeugung getrennt aus. Die allgemeine Datenlage hat eine Abschätzung der im vorgelagerten Rohmaterialbergbau anfallenden Staubemissionen nicht mit der nötigen statistischen Sicherheit zugelassen.

Um die Energiebilanz für die Zementerzeugung zu vervollständigen war es erforderlich neben dem fossilen Energieeinsatz in Zementwerken, wie bereits in den Studien [1] und [2] ausgewiesen, auch die verwendete Menge an elektrischer Energie zur Zementerzeugung zu erfassen. Dabei wurde der elektrische Energiebedarf aller für die Zementproduktion notwendigen Einrichtungen erfaßt. Strom für Beleuchtungszwecke, zur Raumheizung, zur Warmwasserbereitung, etc., bzw. Strommengen für die Produktion anderer Wertstoffe als Zement blieben – sofern nicht anders angegeben – unberücksichtigt. Die vorliegende Bilanz weist den elektrischen Energiebedarf für die Zementproduktion für Zementwerke mit und ohne eigener Klinkererzeugung getrennt aus.

Da in der vorliegenden Bilanz Emissionen und Produktionskennzahlen von Zementwerken ohne Ofenbetrieb, der elektrische Jahresenergieeinsatz in Zementwerken mit und ohne eigener Klinkererzeugung, sowie Staubemissionen aus „allen sonstigen definierten Emissionsquellen“ [3] in zementproduzierenden Anlagen in Österreich erstmals erhoben wurden, stehen dafür keine Vergleichszahlen aus den Berichtszeiträumen der Vorgängerstudien [1,2] zur Verfügung.

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

Analogierechnungen 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 Zementwerke mit Ofenbetrieb ermittelten werksspezifischen Emissionsfaktoren – können als durchaus repräsentativ für die Emissionen der österreichischen Zementindustrie angesehen werden. Ein Vergleich mit den in der Studie I [1] und Studie II [2] publizierten Ergebnissen ist aufgrund des unverändert gebliebenen Ermittlungsverfahrens – sofern Vergleichszahlen vorliegen – gewährleistet.

4. Ergebnisse, numerische und graphische Darstellung

In der nachfolgenden Tabelle 4 werden für alle österreichischen Zementwerke mit eigener Klinkererzeugung

- > I Anlagendaten
- > II Produktionsdaten
- > III Einsatzmengen an konventionellen Energieträgern
- > IV Einsatzmengen an Ersatzbrennstoffen
- > V thermischer Energieeinsatz
- > VI Einsatzmengen an Sekundärrohstoffen
- > VII Einsatzmengen an Sekundärzumahlstoffen
- > VIII Abgasparameter sowie
- > IX emissionsrelevante Daten

zusammengefaßt (Gesamtübersichtsbogen über den Vergleichszeitraum von 1997 bis einschließlich 1999) und in den anschließenden Diagrammen graphisch aufbereitet.

Zwecks besserer Vergleichbarkeit wurden einige Darstellungen mit Daten der Berichte [1] und [2] ergänzt.

Tabelle 4: Gesamtübersicht

Emissionen und Produktionsmittel der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke)										
I Anlagendaten										
Anlagenzahl	Österreichweit waren 1999 (1997) 3 (5) Lepolöfen mit 756.000 (1,037.000), 6 (6) WT-DO mit 1,861.000 (1,728.000) sowie 3 (3) WT-DO + Kalzinator mit 1,417.000 (1,376.000) t/a betriebsbereit									
Klinkerkapazität / [t/a]	Mit der 1999 (1997 bzw. 1998) installierten Gesamtanlagenkapazität von ca. 4,034.000 t/a (ca. 4,141.000 t/a) wurden die unter II angeführten Jahresmengen produziert.									
II Produktionsdaten										
		1997			1998			1999		
Rohmehleinsatz	[t/a]	5.056.336			4.559.323			4.589.924		
Klinkerproduktion	[t/a]	3.103.312			2.832.262			2.853.437		
Zementproduktion	[t/a]	3.909.083			3.668.076			3.658.102		
Ofenbetriebsstunden	[h _{OB} /a]	65.531			59.515			57.799		
Rohmehlfaktor	[t _{Rm} /t _{Kl}]	1,63			1,61			1,61		
Klinkerfaktor	[t _{Kl} /t _{Ze}]	0,79			0,77			0,78		
III Konventionelle Energieträger (KET)										
		1997			1998			1999		
		Hu/[MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu/[MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu/[MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]
A) Steinkohle		30,30	200.241	6.068.301	29,74	159.331	4.737.883	29,63	131.580	3.899.187
B) Braunkohlenstaub		21,98	7.434	163.407	22,19	4.335	96.176	22,12	10.673	236.119
C) Heizöl L (0,2 m% S)		41,13	1.386	57.008	39,11	455	17.795	41,47	433	17.957
D) Heizöl M (0,6 m% S)		40,10	246	9.865	38,80	64	2.483	29,80	20	596
E) Heizöl S (1,0-3,5 m% S)		39,63	51.791	2.052.295	39,56	46.243	1.829.162	39,23	42.746	1.677.122
F) Erdgas/[1000m ³ (Vn)/a]; Hu/[MJm ⁻³ (Vn)]		37,32	12.617,738	470.920	37,15	11.595,068	430.761	37,03	12.394,489	458.941
G) sonstige (1995: nur Anthrazit)			0	0		0	0		0	0
Summe A) bis G)				8.821.796			7.114.261			6.289.922
IV Ersatz-Brennstoffe (EBS)										
		1997			1998			1999		
		Hu/[MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu/[MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu/[MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]
H) Altreifen		26,35	19.572	515.804	27,30	21.792	594.971	27,28	26.949	735.165
I) Kunststoffabfälle		29,30	17.322	507.535	28,26	21.314	602.248	27,84	25.128	699.550
J) Petrolkoks		32,80	3.275	107.420	33,99	11.692	397.427	33,92	24.021	814.755
K) Altöl		37,57	22.781	855.875	38,02	28.279	1.075.301	37,62	26.607	1.000.884
L) Lösungsmittel		28,64	3.854	110.373	28,68	7.037	201.802	26,53	7.530	199.743
M) Tallölpech			0	0		0	0		0	0
N) Papierfaserreststoff		3,14	33.649	105.658	3,12	36.512	113.917	3,10	37.927	117.574
O) sonstige		1,38	3.885	5.364	11,80	6.381	75.273	12,04	10.339	124.461
Summe H) bis O)				2.208.029			3.060.938			3.692.130

V	Energieeinsatz		1997			1998			1999		
	a) Σ Energieeinsatz KET	[GJ/h _{OB}]	134,6			119,5			108,8		
	b) Σ Energieeinsatz EBS	[GJ/h _{OB}]	33,7			51,4			63,9		
	Summe a) u. b)	[GJ/h _{OB}]	168,3			171,0			172,7		
	EBS-Anteil an (III+IV)	[%]	20,02			30,08			36,99		
	spez. Energieeinsatz	[GJ/t _{Klinker}]	3,554			3,593			3,498		
VI	Sekundärrohstoffe		1997			1998			1999		
	LD - Schlacke	[t/a]	21.636			36.725			60.916		
	Gießereialsand	[t/a]	3.423			14.201			35.634		
	sonstige	[t/a]	56.464			89.720			162.410		
VII	Sekundärzumahlstoffe		1997			1998			1999		
	Hochfenschlacke	[t/a]	423.378			482.643			517.597		
	REA - Gips	[t/a]	51.195			62.069			61.063		
	Flugasche	[t/a]	72.788			53.715			39.188		
	sonstige	[t/a]	0			8.077			19.784		
VIII	Abgasparameter		1997			1998			1999		
	Bez.-O ₂ / O ₂ gemessen	[Vol.-%]	10,00	10,00	9,84	10,00	10,00	9,32	10,00	10,00	9,78
	Abgasnormvolumen V _(tr.,Vn,bez)	[1000m ³ (Vn)/a]	6.995.056			6.231.152			6.096.051		
IX	Emissionsrelevante Daten	1997			1998			1999			
		E-faktor	Massenstrom	E-faktor	E-faktor	Massenstrom	E-faktor	E-faktor	Massenstrom	E-faktor	
		[g/t _{ze}]	[t/a]	[g/t _{kl}]	[g/t _{ze}]	[t/a]	[g/t _{kl}]	[g/t _{ze}]	[t/a]	[g/t _{kl}]	
1	Staubförmige Emissionen	40,96	160,121	51,60	35,47	130,094	45,93	30,58	111,872	39,21	
2	Stickstoffoxide (als NO ₂)	1.136,26	4.441,718	1.431,28	1.063,55	3.901,171	1.377,40	1.081,74	3.957,122	1.386,79	
3	Schwefeldioxid (SO ₂)	333,58	1.304,004	420,20	112,13	411,311	145,22	48,07	175,837	61,62	
4	Cadmium (Cd)	0,009904	0,038715	0,012475	0,003742	0,013727	0,004847	0,005480	0,020047	0,007026	
5	Thallium (Tl)	0,019547	0,076410	0,024622	0,012389	0,045444	0,016045	0,013719	0,050186	0,017588	
6	Beryllium (Be)	0,006892	0,026943	0,008682	0,004012	0,014715	0,005195	0,004926	0,018021	0,006316	
	Summe 4-6	0,036343	0,142067	0,045779	0,020143	0,073886	0,026087	0,024126	0,088254	0,030929	
7	Arsen (As)	0,017788	0,069533	0,022406	0,017944	0,065820	0,023240	0,016417	0,060055	0,021047	
8	Cobalt (Co)	0,011806	0,046149	0,014871	0,005999	0,022004	0,007769	0,007803	0,028545	0,010004	
9	Nickel (Ni)	0,010251	0,040072	0,012913	0,008009	0,029377	0,010372	0,009702	0,035490	0,012438	
10	Blei (Pb)	0,032363	0,126510	0,040766	0,025708	0,094298	0,033294	0,024344	0,089053	0,031209	
	Summe 7-10	0,072207	0,282263	0,090956	0,057659	0,211499	0,074675	0,058266	0,213144	0,074697	
11	Quecksilber (Hg)	0,023066	0,090167	0,029055	0,019603	0,071905	0,025388	0,021237	0,077687	0,027226	
12	Chrom (Cr)	0,009095	0,035554	0,011457	0,006828	0,025046	0,008843	0,007720	0,028239	0,009897	
13	Selen (Se)	0,000221	0,000866	0,000279	0,000216	0,000794	0,000280	0,000221	0,000809	0,000284	
14	Mangan (Mn)	0,042685	0,166859	0,053768	0,040513	0,148605	0,052469	0,041509	0,151845	0,053215	
15	Vanadium (V)	0,014355	0,056113	0,018082	0,011671	0,042808	0,015115	0,012696	0,046445	0,016277	
16	Zink (Zn)	0,054434	0,212788	0,068568	0,064333	0,235978	0,083318	0,081950	0,299783	0,105060	
	Summe 11-16	0,143856	0,562346	0,181208	0,143164	0,525137	0,185413	0,165334	0,604808	0,211958	
	Summe Spurenelemente (4-16)	0,252406	0,986676	0,317943	0,220966	0,810522	0,286175	0,247726	0,906206	0,317584	
17	chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	3,634	14,207	4,578	4,037	14,808	5,228	3,739	13,679	4,794	
18	fluorhaltige Verbindungen (als HF)	0,284	1,108	0,357	0,303	1,112	0,393	0,293	1,073	0,376	
19	org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	64,044	250,355	80,673	50,115	183,825	64,904	59,577	217,939	76,378	
20	Kohlenmonoxid (CO)	1.976,1	7.724,591	2.489,1	2.056,7	7.544,230	2.663,7	2.086,5	7.632,654	2.674,9	
23	ber. pyrogenes CO ₂	225.534,0	881.631	284.093,6	218.749,1	802.388	283.303,0	216.790,1	793.040	277.924,6	
24	ber. CO ₂ (Decarbonatisierung)	450.468,2	1.760.917	567.431,7	430.639,5	1.579.618	557.723,3	433.984,2	1.587.558	556.367,1	
	Summe 23 u. 24	676.002,2	2.642.548	851.525,3	649.388,6	2.382.007	841.026,3	650.774,3	2.380.598	834.291,6	
(1) ohne Staubemissionen aus "sonstigen definierten Quellen" (Zementverordnung §5 Z.3)											

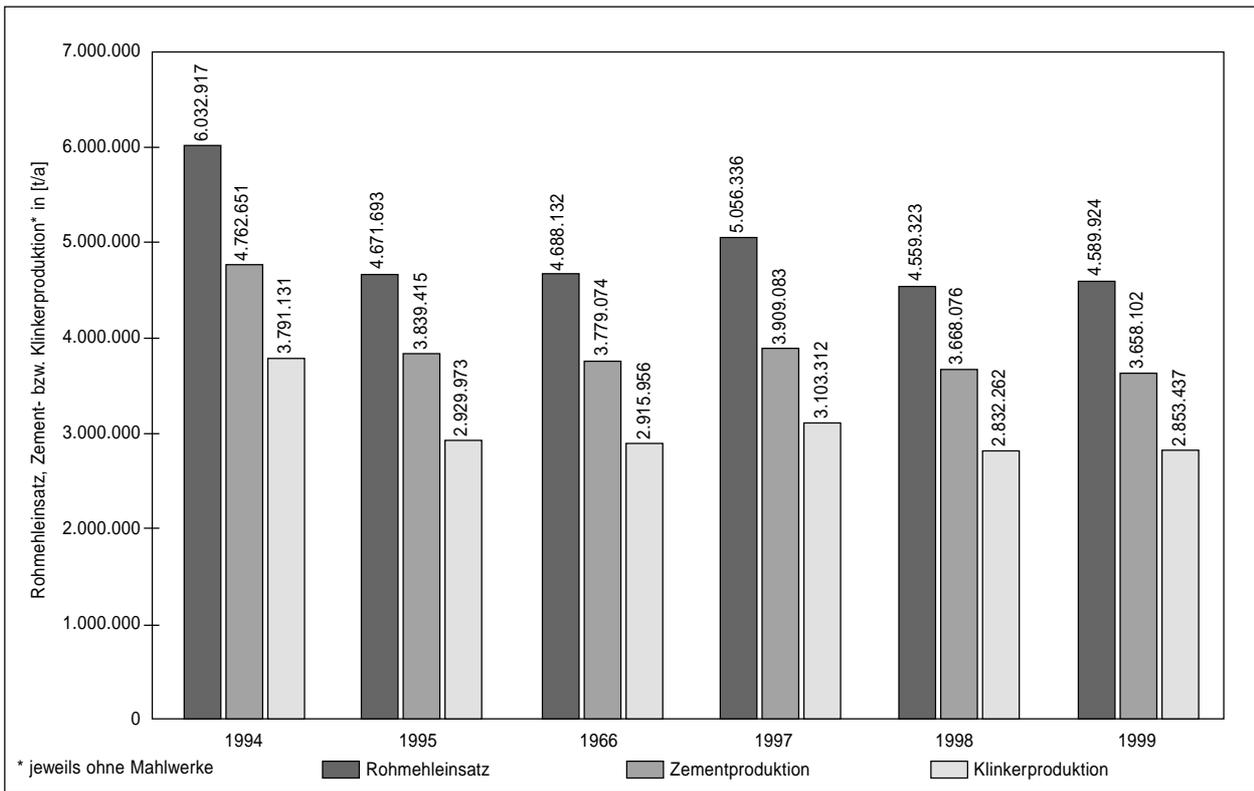


Abbildung 2: Rohmehleinsatz, Zement- bzw. Klinkerproduktion der österreichischen Zementindustrie von 1994 bis 1999 (ohne Mahlwerke)

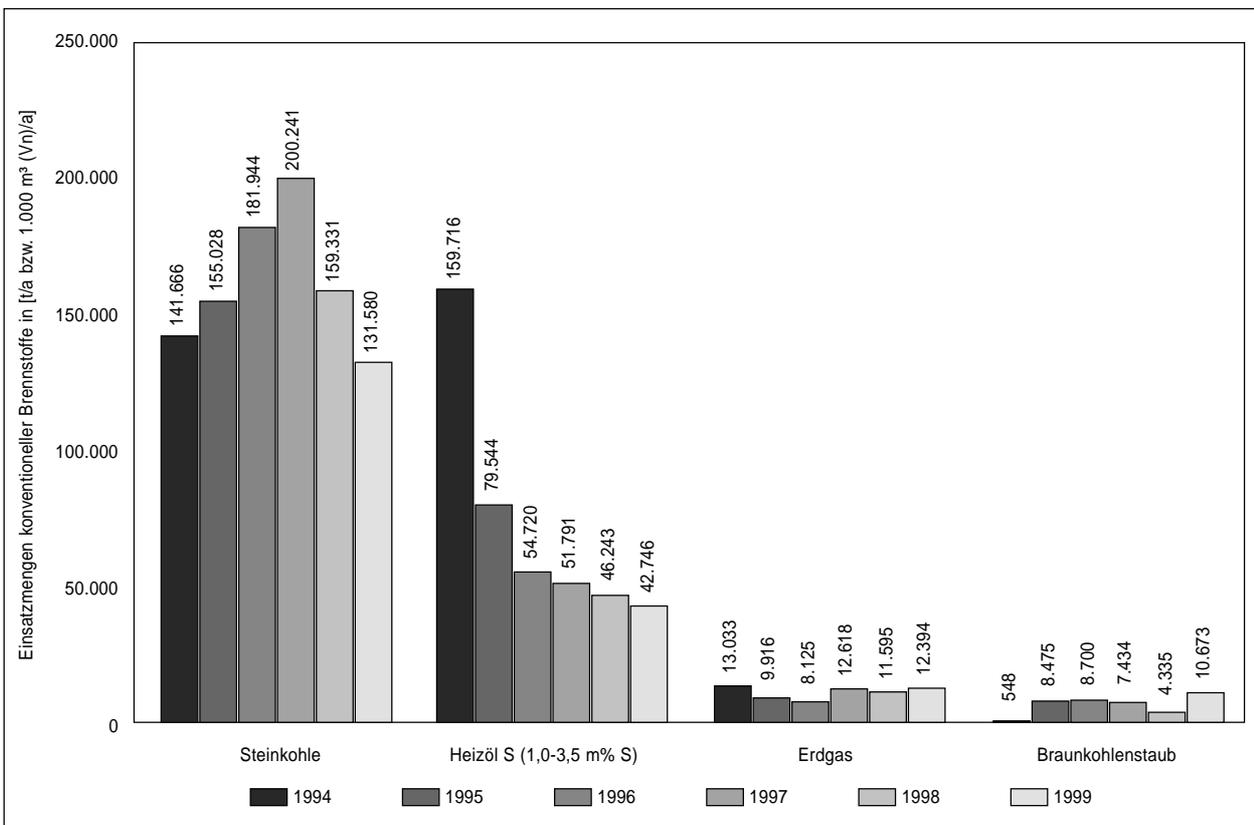
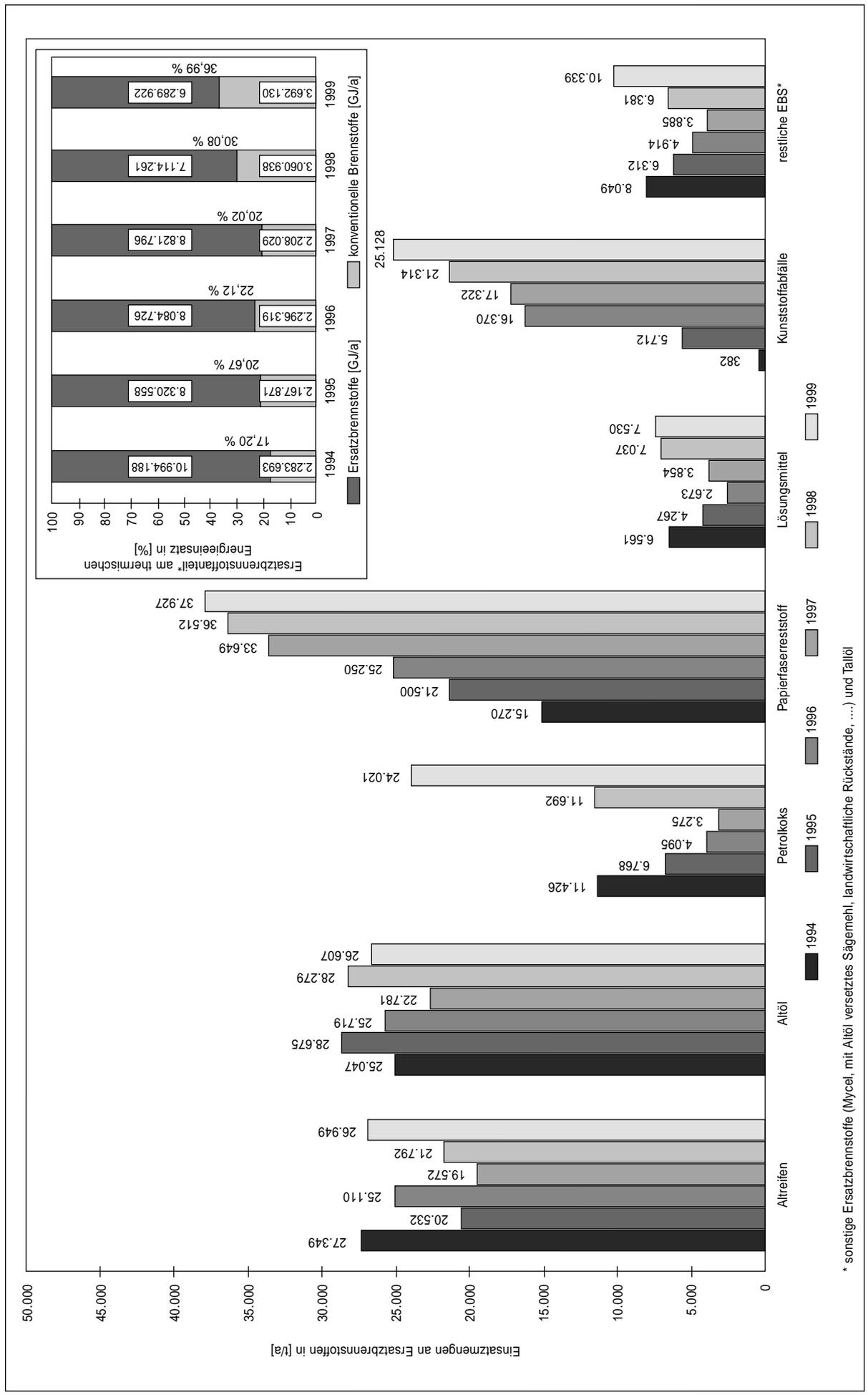


Abbildung 3: Einsatzmengen wichtiger konventioneller Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie (1994 bis 1999)



* sonstige Ersatzbrennstoffe (Mycel, mit Altöl versetztes Sägemehl, landwirtschaftliche Rückstände, ...) und Tallöl

Abbildung 4: Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) und Ersatzbrennstoffanteil am pyrogenen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1994 bis 1999 (Hinweis: Petrolkoks wurde als Ersatzbrennstoff bewertet)

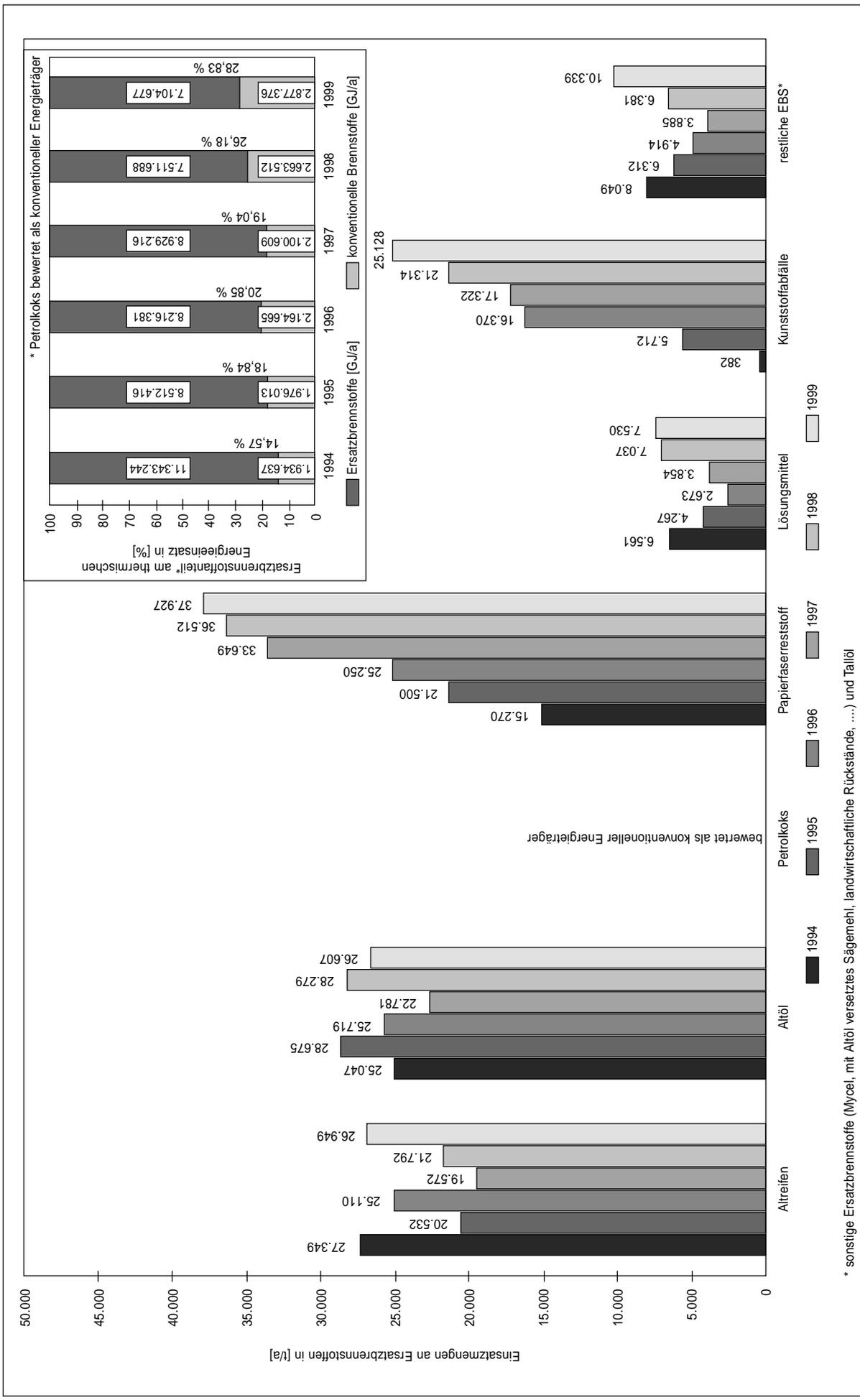


Abbildung 5: Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) und Ersatzbrennstoffanteil am pyrogenen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1994 bis 1999 (Hinweis: Petrolkoks wurde hier nicht als Ersatzbrennstoff, sondern als konventioneller Energieträger bewertet)

* sonstige Ersatzbrennstoffe (Mycel, mit Altöl versetztes Sägemehl, landwirtschaftliche Rückstände, ...) und Tallöl

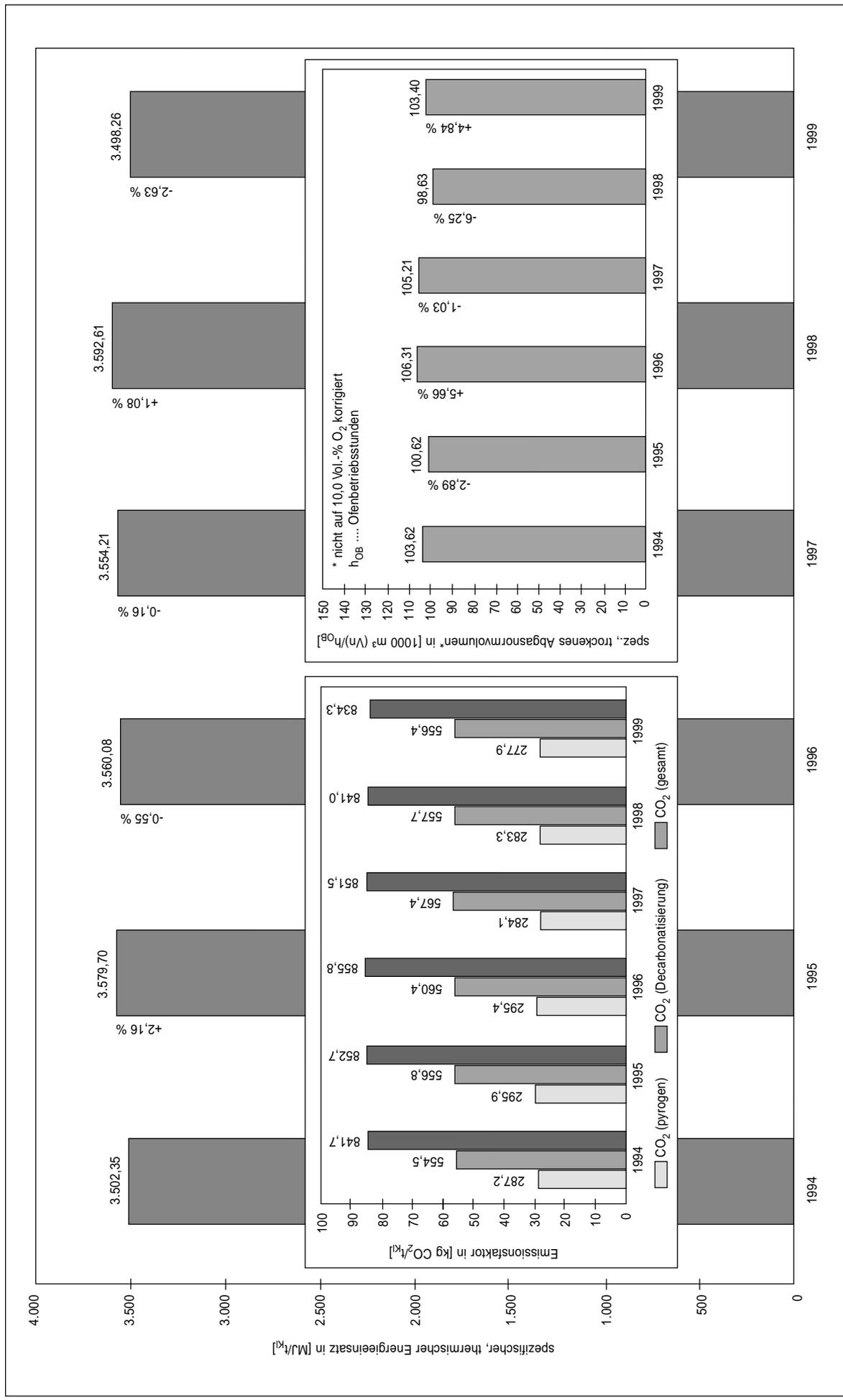


Abbildung 6: Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes (exklusive elektrischer Energieeinsatz) bzw. Darstellung des spezifischen CO₂-Emissionsmassenstroms und des spezifischen, trockenen Gesamtabgasnormvolumens (nicht auf 10,0 Vol.-% O₂ bezogen) in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkerherzeugung jeweils für den Zeitraum 1994 bis 1999

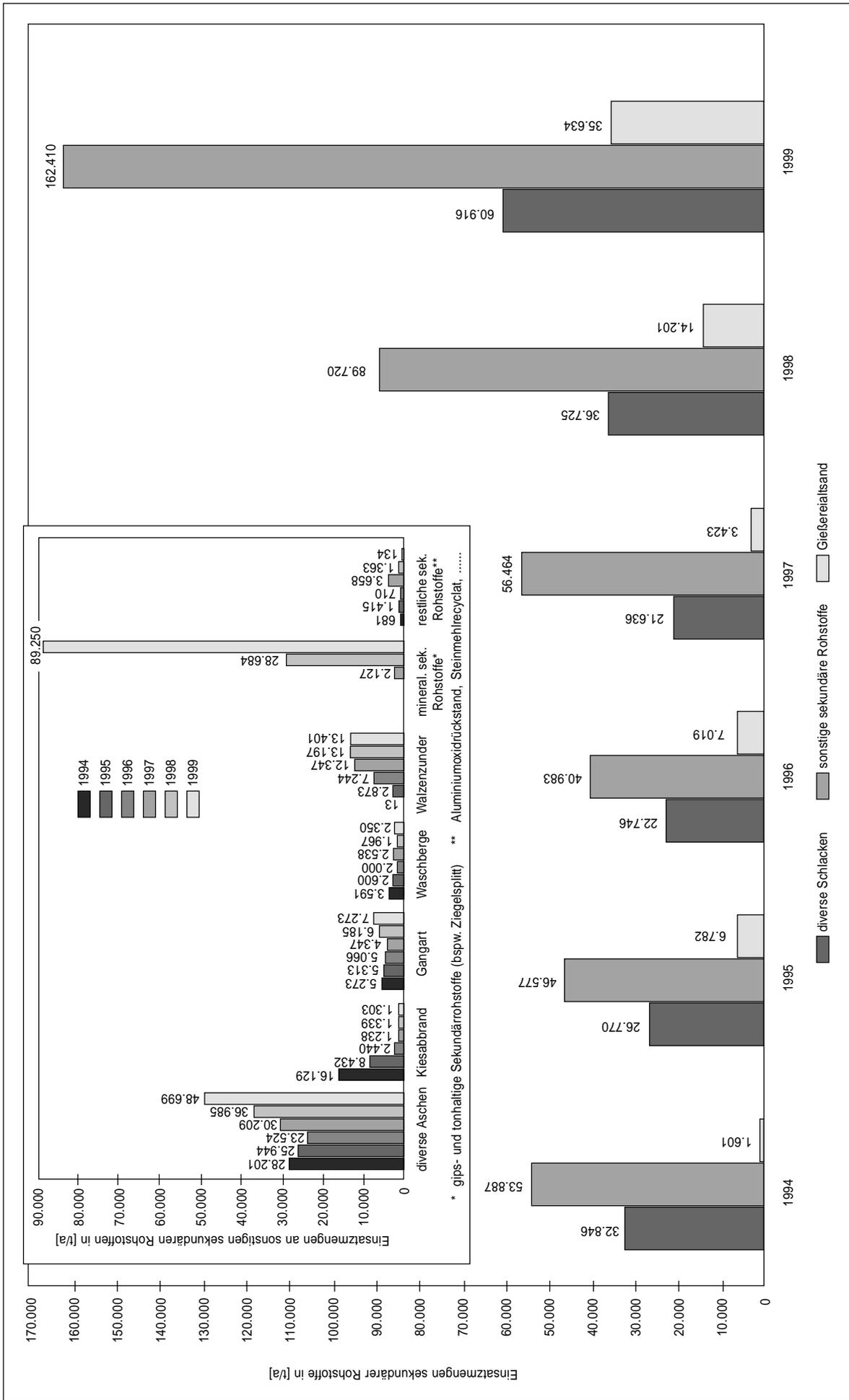


Abbildung 7: Einsatzmengen sekundärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 1994 bis 1999

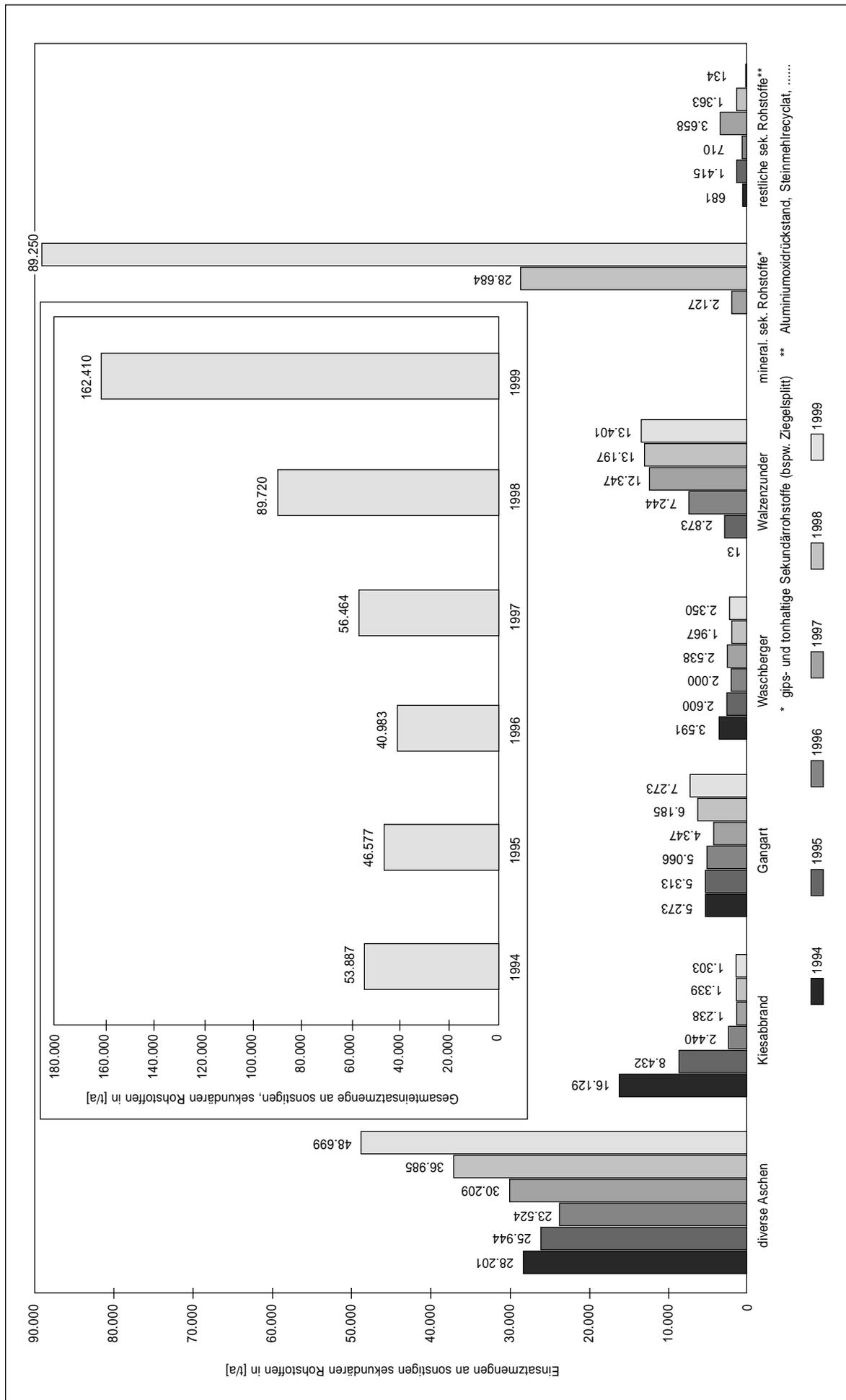


Abbildung 8: Spezifizierung der im Zeitraum von 1994 bis 1999 in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) verwendeten sonstigen sekundären Rohstoffmassenströme

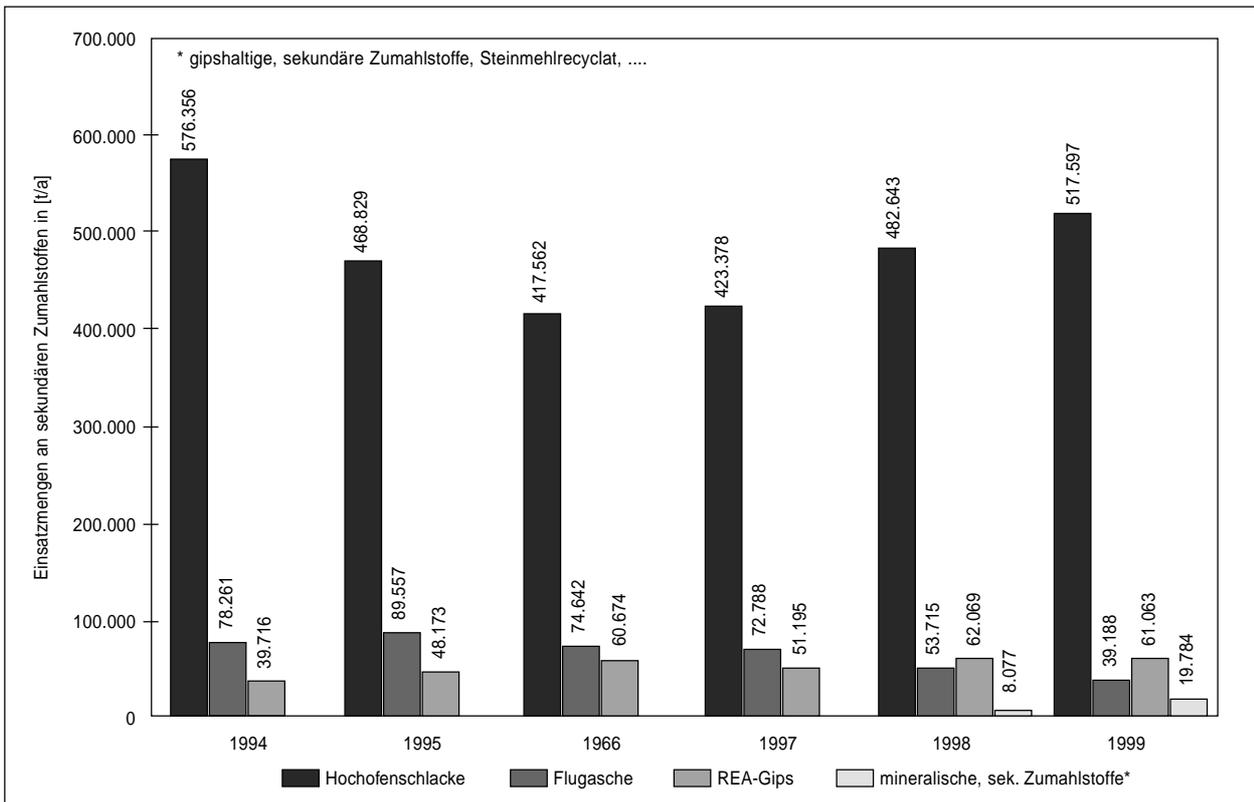


Abbildung 9: Einsatzmengen sekundärer Zumahlstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1994 bis 1999 (ohne Mahlwerke)

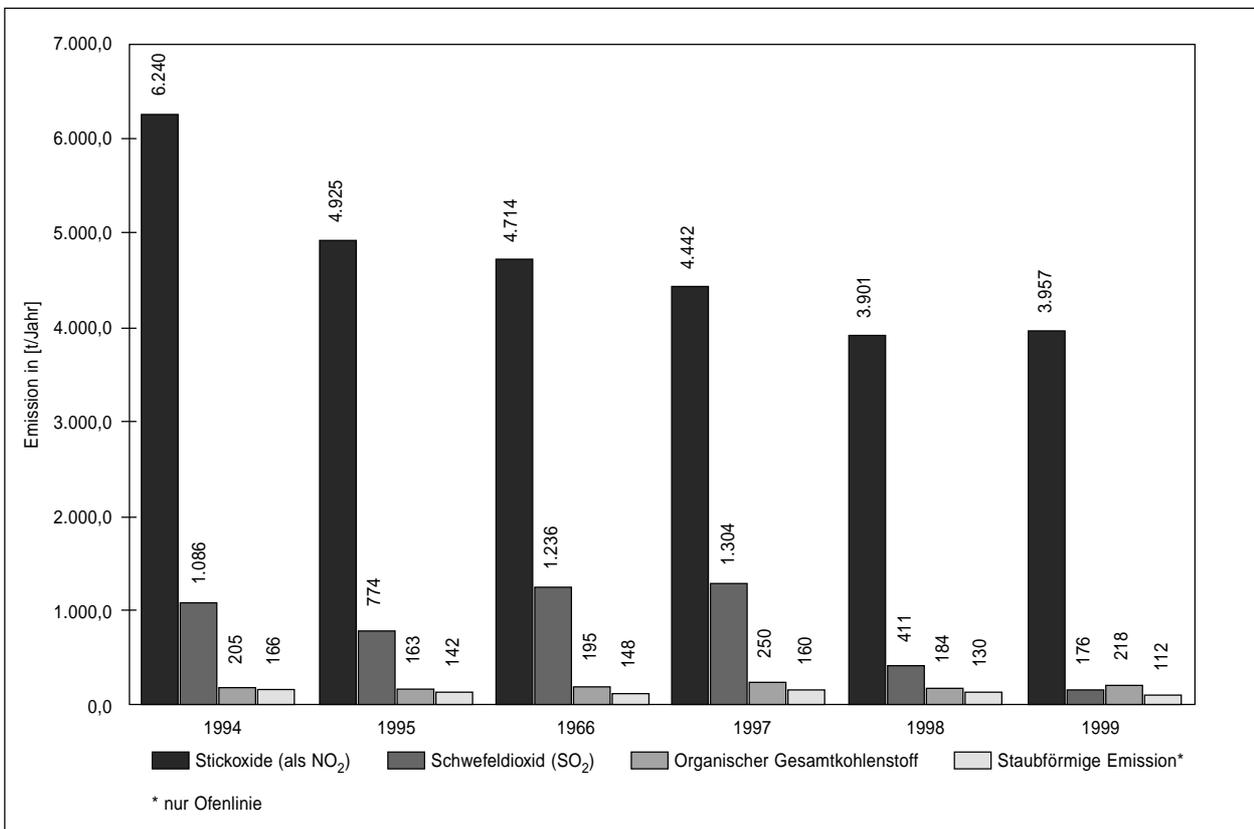


Abbildung 10: Jährliche Emissionen an Stickoxiden (als NO₂), an Schwefeldioxid, an organischem Gesamtkohlenstoff und an Staub aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 1994 bis 1999

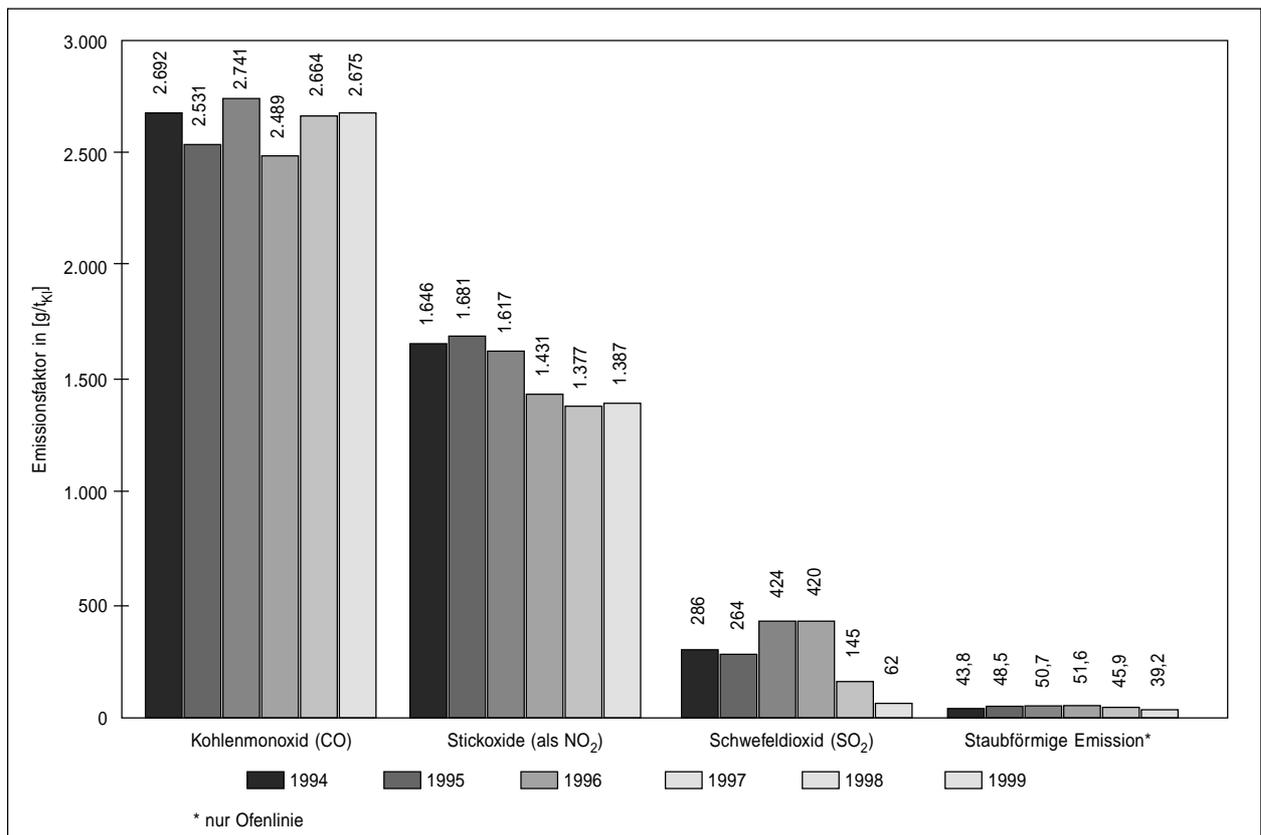


Abbildung 11: Zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO₂), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Klinker (1994 - 99, ohne Mahlwerke)

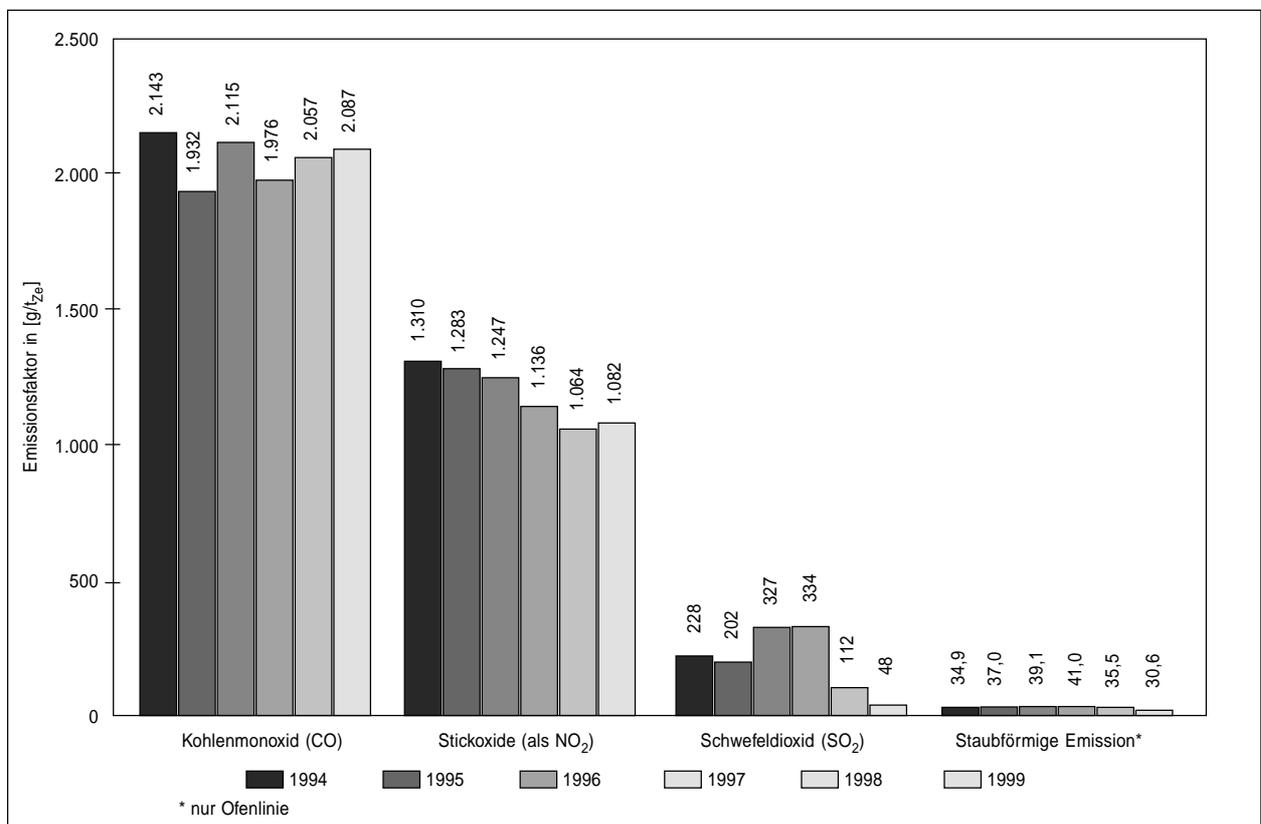


Abbildung 12: Zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO₂), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Zement (1994 - 99, ohne Mahlwerke)

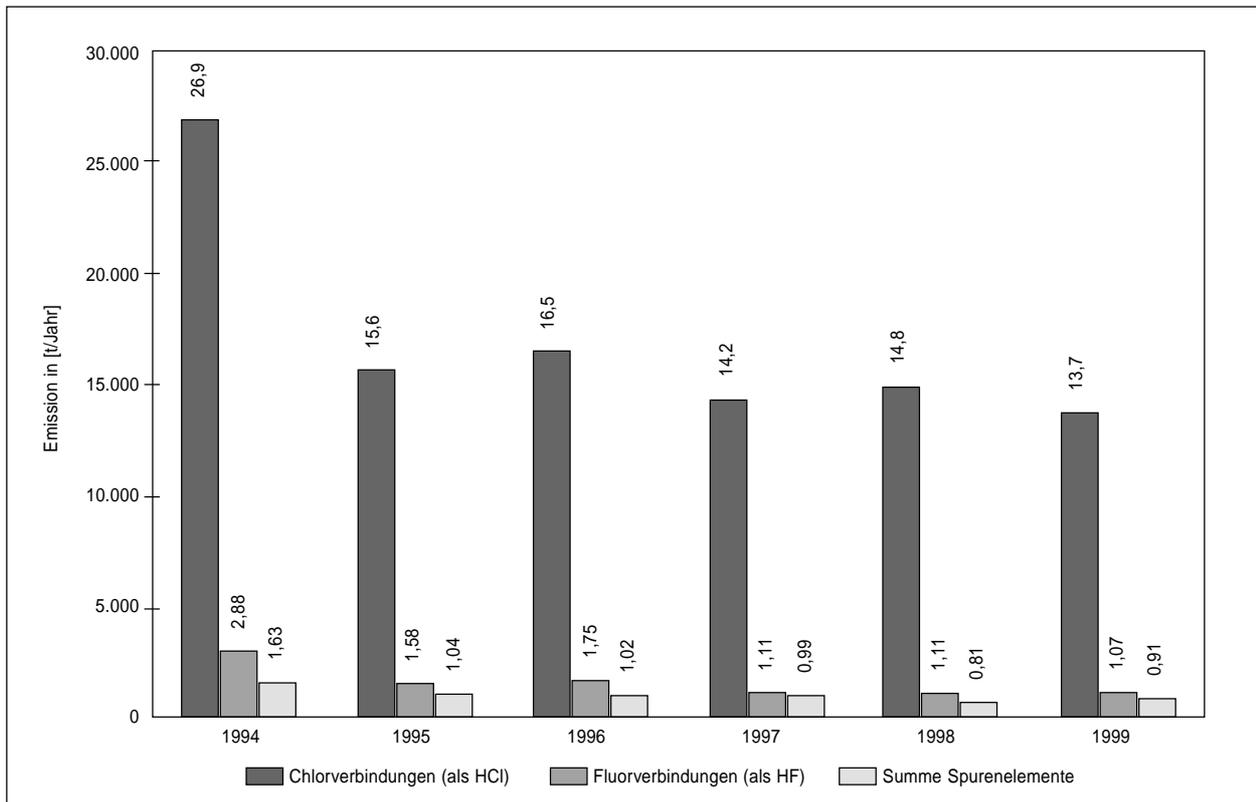


Abbildung 13: Zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an chlor- und fluorhaltigen Verbindungen (ausgewiesen als HCl bzw. HF) sowie der jährlichen Gesamtemissionen an Spurenelementen jeweils für den Zeitraum 1994 bis 1999 (ohne Mahlwerke)

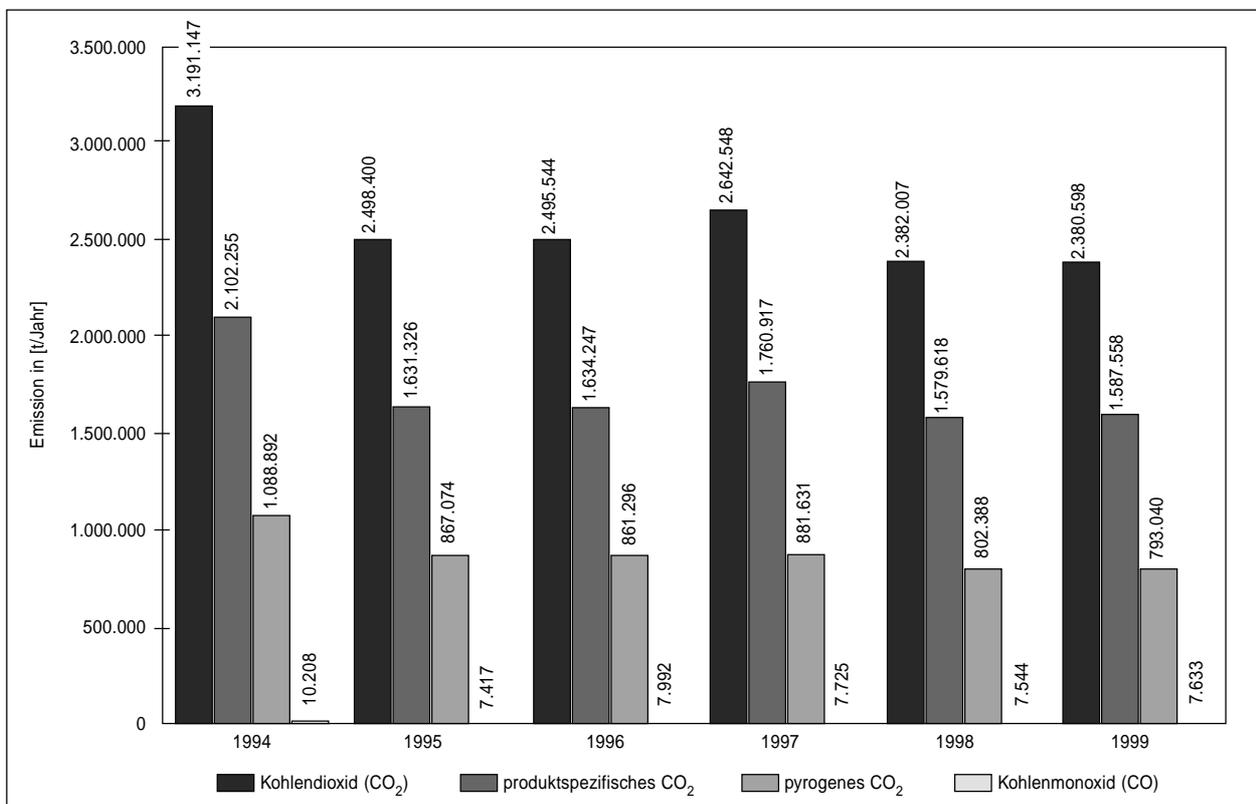


Abbildung 14: Zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an Kohlendioxid und Kohlenmonoxid aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) jeweils für den Zeitraum 1994 bis 1999

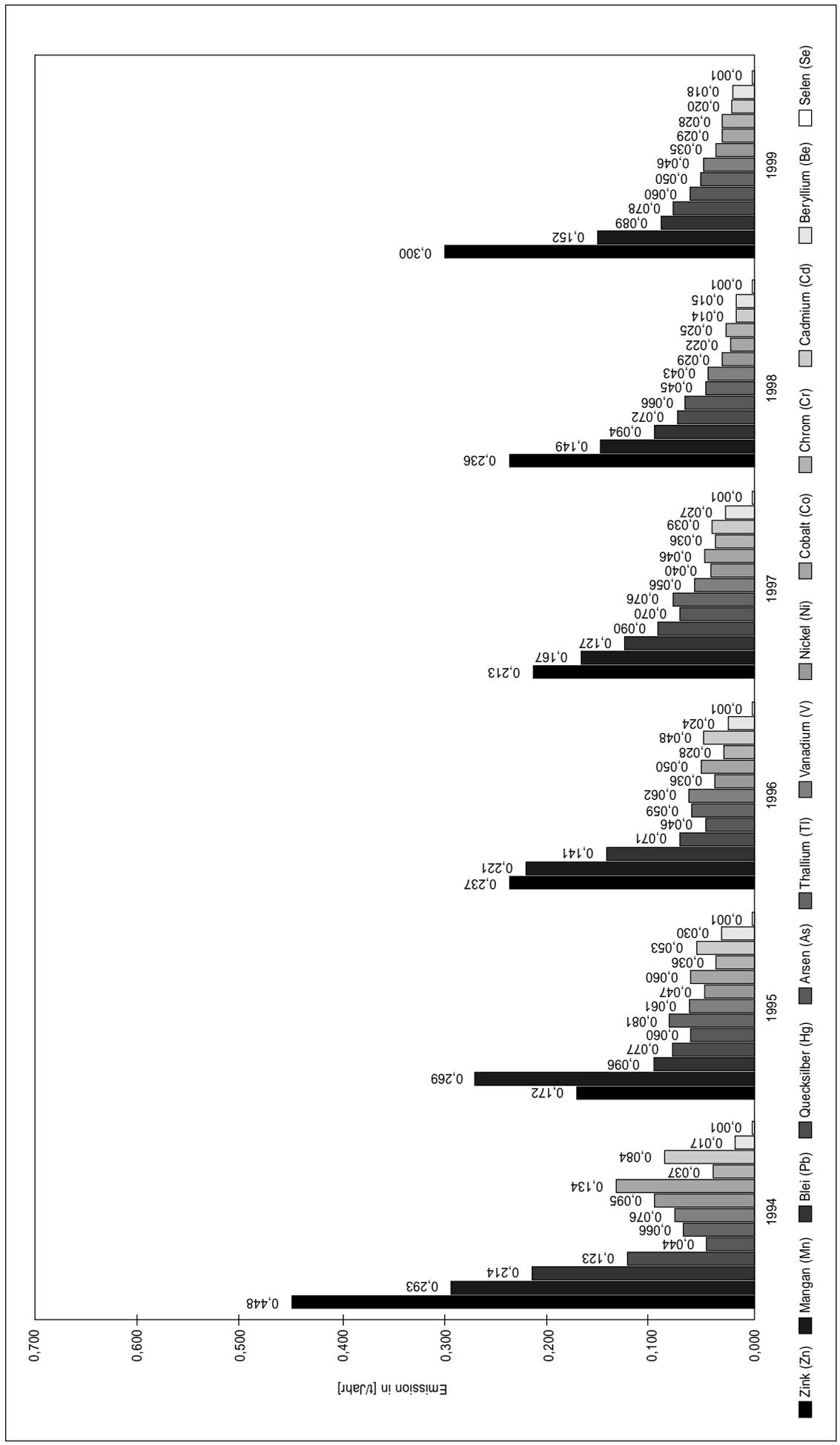


Abbildung 15: Emissionen diverser Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 1994 bis 1999

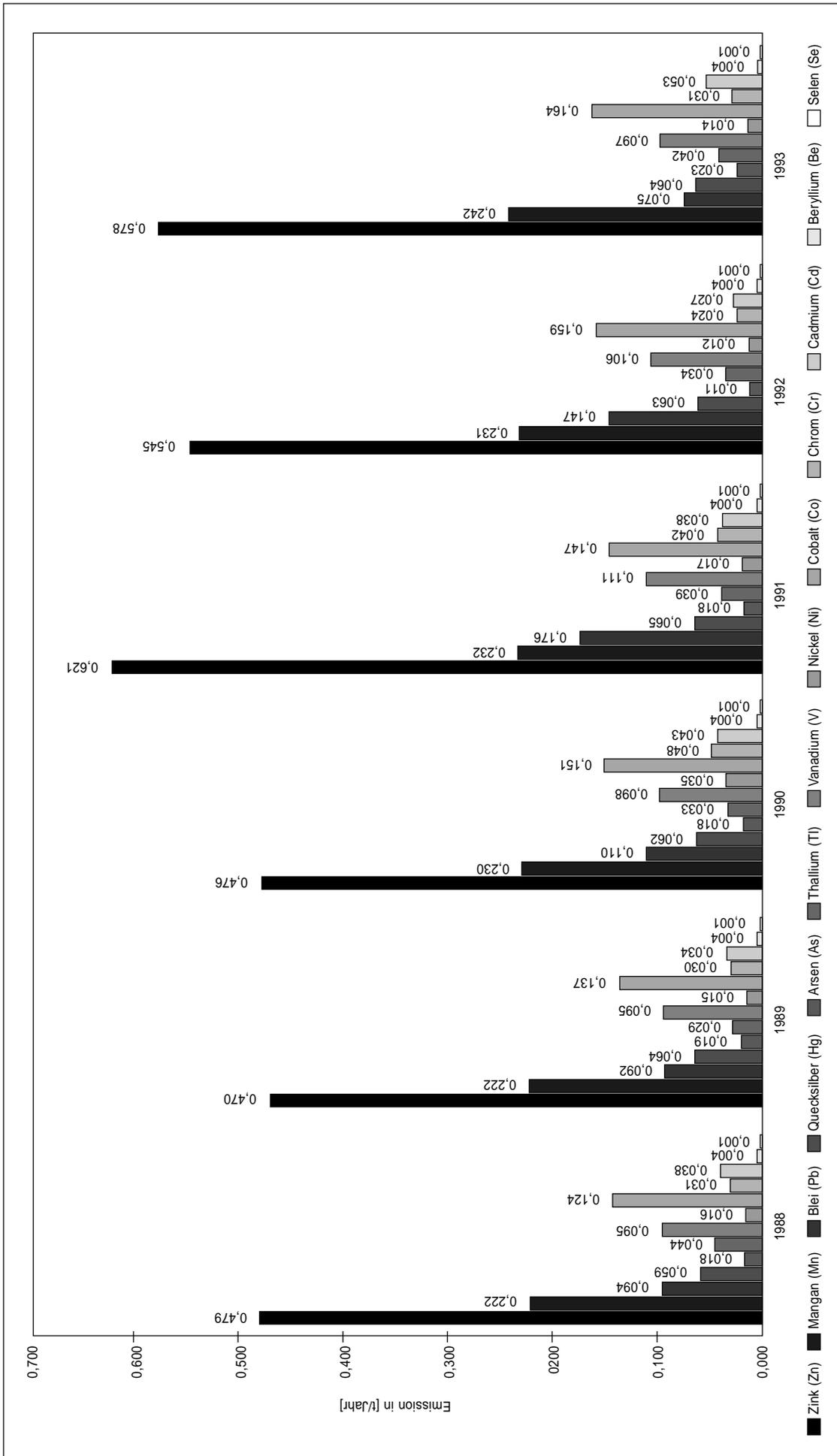


Abbildung 16: Emissionen diverser Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlmühle) für den Zeitraum von 1988 bis 1993

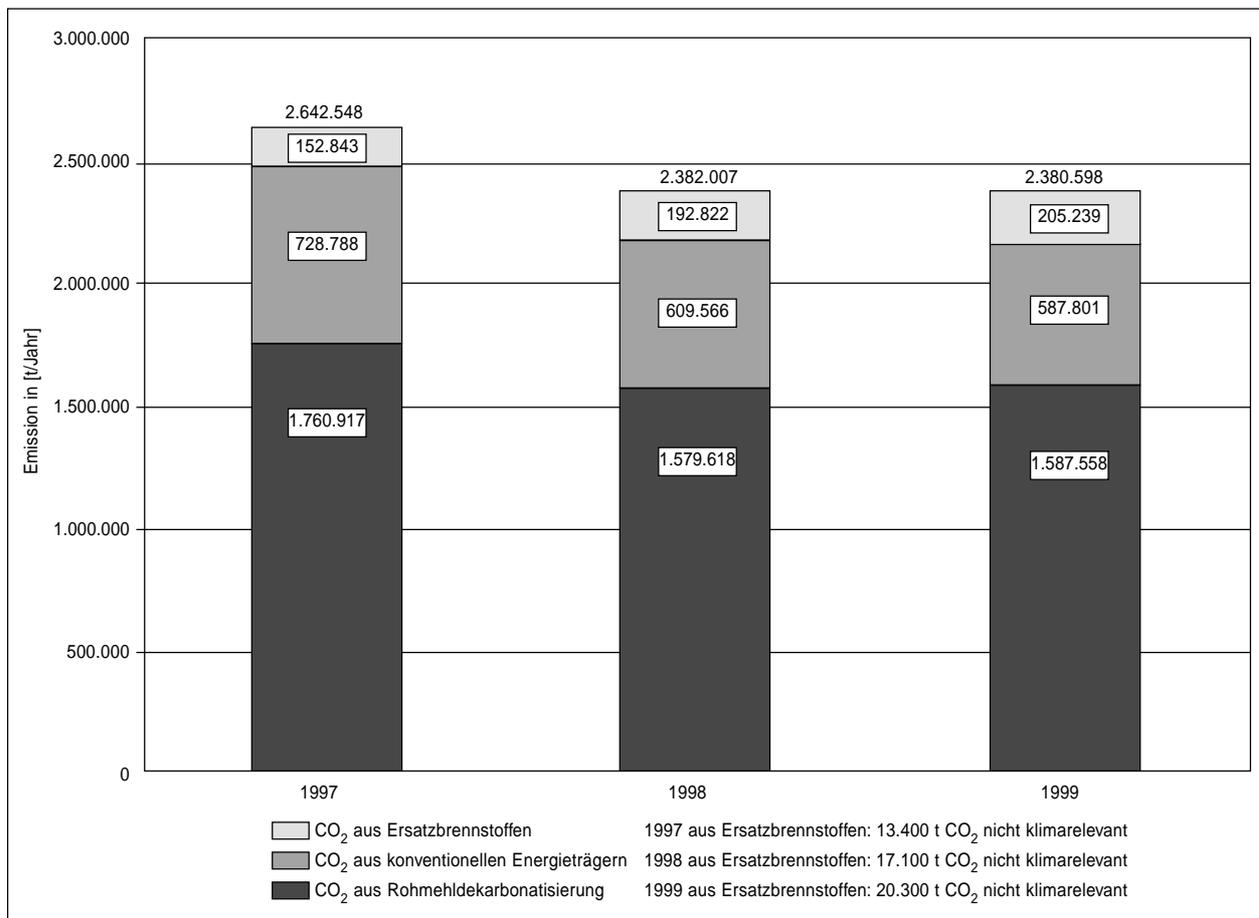


Abbildung 17: Entwicklung der pyrogenen und prozeßspezifischen Kohlendioxidemissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Bilanzzeitraum von 1997 bis 1999

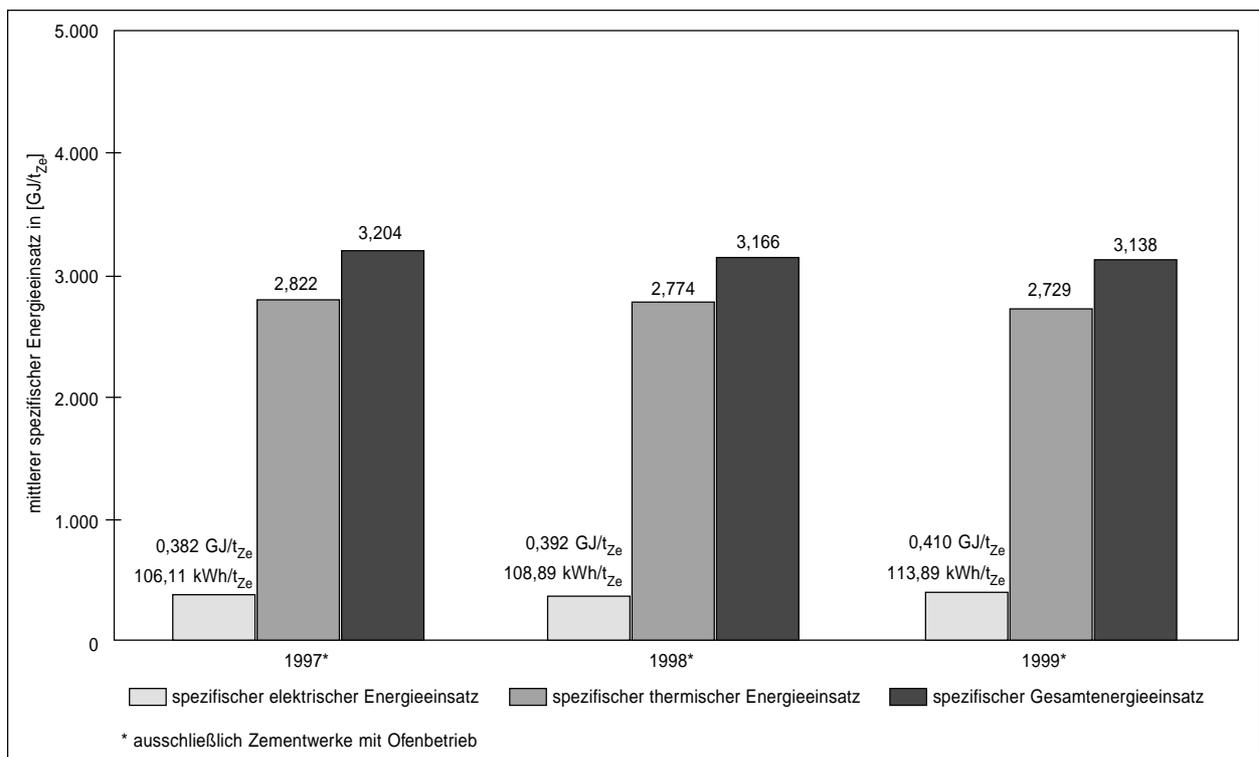


Abbildung 18: Mittlerer spezifischer Energieeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 1997 bis 1999

In der nachfolgenden Tabelle 5 werden für alle österreichischen Zementwerke ohne eigener Klinkererzeugung (Mahlwerke)

- I Anlagendaten
- II Produktionsdaten
- V Energieeinsatz
- VII Einsatzmengen an Sekundärzumahlstoffen
- IX emissionsrelevante Daten

zusammengefaßt (Gesamtübersichtsbogen über den Vergleichszeitraum von 1997 bis einschließlich 1999) und in den anschließenden Diagrammen z.T. graphisch dargestellt.

Tabelle 5: Anlagendaten, Produktionsdaten, Energieverbrauch, Einsatzmengen an Sekundärzumahlstoffen und emissionsrelevante Daten für österreichische Zementwerke ohne eigene Klinkerproduktion (Mahlwerke) für den Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999

Emissionen und Produktionsmittel der Mahlwerke der österreichischen Zementindustrie									
I Anlagendaten									
Anlagenzahl	Österreichweit waren 1999 drei Mahlwerke zur Erzeugung von Zement in Betrieb								
II Produktionsdaten		1997	1998	1999					
Klinkereinsatz	[t/a]	332.714	297.117	344.405					
Zementproduktion	[t/a]	415.498	360.482	412.252					
Klinkerfaktor	[t _{Kl} /t _{Ze}]	0,80	0,82	0,84					
V Energieeinsatz		1997	1998**	1999**					
Σ elektrischer Energieeinsatz	[MWh/a]	30.226,138	25.831,491	29.304,979					
Σ elektrischer Energieeinsatz	[GJ/a]	108.814	92.993	105.498					
spez. Energieeinsatz	[KWh/t _{Ze}]	72,7	71,7	71,1					
spez. Energieeinsatz	[GJ/t _{Ze}]	0,262	0,258	0,256					
VII Sekundärzumahlstoffe		1997	1998***	1999***					
Hochofenschlacke	[t/a]	53.881	68.166	81.476					
REA - Gips	[t/a]	6.670	1.869	791					
Flugasche	[t/a]	1.000	1.000	1.007					
sonstige	[t/a]	0	0	0					
IX Emissionsrelevante Daten		1997		1998*			1999*		
		E-faktor	Massenstrom	E-faktor	E-faktor	Massenstrom	E-faktor	E-faktor	Massenstrom
		[g/t _{Mahlgut}]	[t/a]		[g/t _{Mahlgut}]	[t/a]		[g/t _{Mahlgut}]	[t/a]
1	Staubförmige Emissionen	83,146	34,550	92,735	34,550		83,231	35,730	
<p>*** inklusive pulverförmige Zwischenprodukte</p> <p>** inklusive elektrischer Energieverbrauch von 764 MWh für die Herstellung von 12051 t (1998) und von 1137 MWh für die Herstellung von 17001 t (1999) gemahlener Zwischenprodukte</p> <p>* inklusive Staubfracht von 0,331 t (1998) und 0,414 t (1999) aus der getrennten Vermahlung von Zwischenprodukten (Hochofenschlacke)</p>									

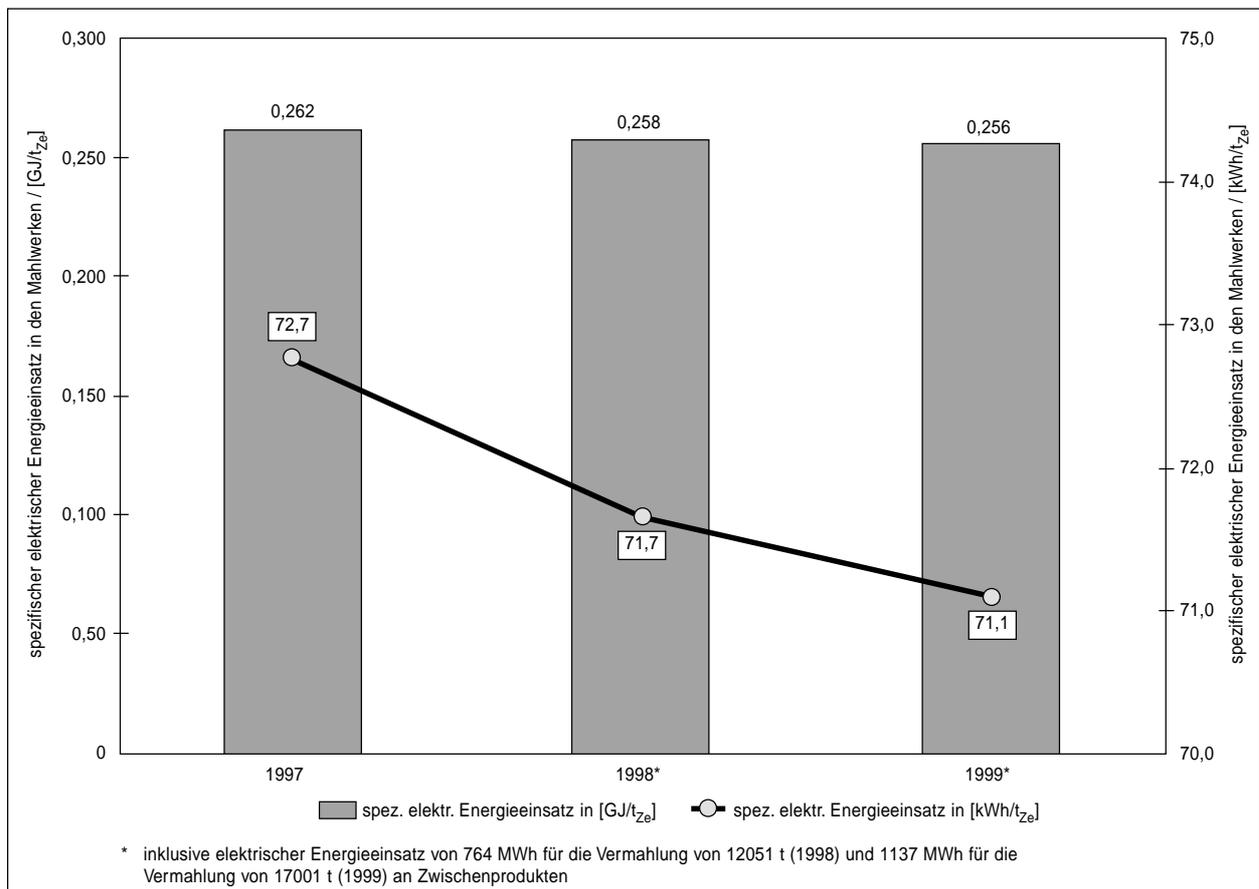


Abbildung 4-19: Spezifischer elektrischer Energieeinsatz in den Mahlwerken der österreichischen Zementindustrie im Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999

In der nachfolgenden Tabelle 6 werden für alle Anlagen der österreichischen Zementindustrie (inklusive Mahlwerke)

- II Produktionsdaten
- V Energieeinsatz
- VII Einsatzmengen an Sekundärzumahlstoffen
- IX emissionsrelevante Daten

zusammengefaßt (Gesamtübersichtsbogen über den Vergleichszeitraum von 1997 bis einschließlich 1999) und in den anschließenden Diagrammen z.T. graphisch dargestellt.

Tabelle 6: Produktionsdaten, Energieverbrauch, Einsatzmengen an Sekundärzumahlstoffen und emissionsrelevante Daten für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (inklusive Mahlwerke) für den Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999

Produktionsdaten, Energieeinsatz, Produktionsmittel und Staubemissionen der österreichischen Zementindustrie (Zementwerke mit Ofenbetrieb gemeinsam mit Mahlwerken)							
II	Produktionsdaten		1997	1998	1999		
	Klinkereinsatz	[t/a]	3.436.026	3.129.379	3.197.842		
	Klinkerimport (für Zementproduktion in Mahlwerken)	[t/a]	332.714	297.117	305.443		
	Zementproduktion	[t/a]	4.324.581	4.028.558	4.070.354		
V	Energieeinsatz		1997	1998	1999		
	Gesamtenergieeinsatz (Σ a,b,c)	[TJ/a]	12.632,3	11.704,4	11.585,5		
	a) thermischer Energieeinsatz	[TJ/a]	11.029,8	10.175,2	9.982,1		
	b) elektrischer Energieeinsatz	[TJ/a]	1.602,4	1.526,5	1.599,4		
	c) elektrischer Energieeinsatz für die Erzeugung pulverf. Zwischenprodukte*	[TJ/a]	0,0	2,8	4,1		
VII	Sekundärzumahlstoffe		1997	1998	1999		
	Gesamtmenge an Sekundärzumahlstoffen (Σ d,e)	[t/a]	608.912	677.539	720.905		
	d) zur Zementproduktion	[t/a]	608.912	665.488	703.904		
	e) zur Erzeugung pulverförmiger Zwischenprodukte*	[t/a]	0	12.051	17.001		
IX	Emissionsrelevante Daten	1997		1998*		1999*	
			Massenstrom		Massenstrom		Massenstrom
			[t/a]		[t/a]		[t/a]
	Staubförmige Gesamtemissionen (Σ f,g,h)		443,939		302,979		285,454
	f) aus den Ofenanlagen der Zementindustrie		160,121		130,094		111,872
	g) aus diversen Quellen (nach Zementverordnung § 5 Z.3)		283,817		172,555		173,168
	h) aus diversen Quellen bei der Erzeugung pulverf. Zwischenprodukte		0,000		0,331		0,414
* Sekundärzumahlstoffe (wie Hochofenschlacke) die separat in der Zementmühle (ohne Klinkerzugabe) zu pulverförmigen Zwischenprodukten der Zementindustrie vermahlen werden							

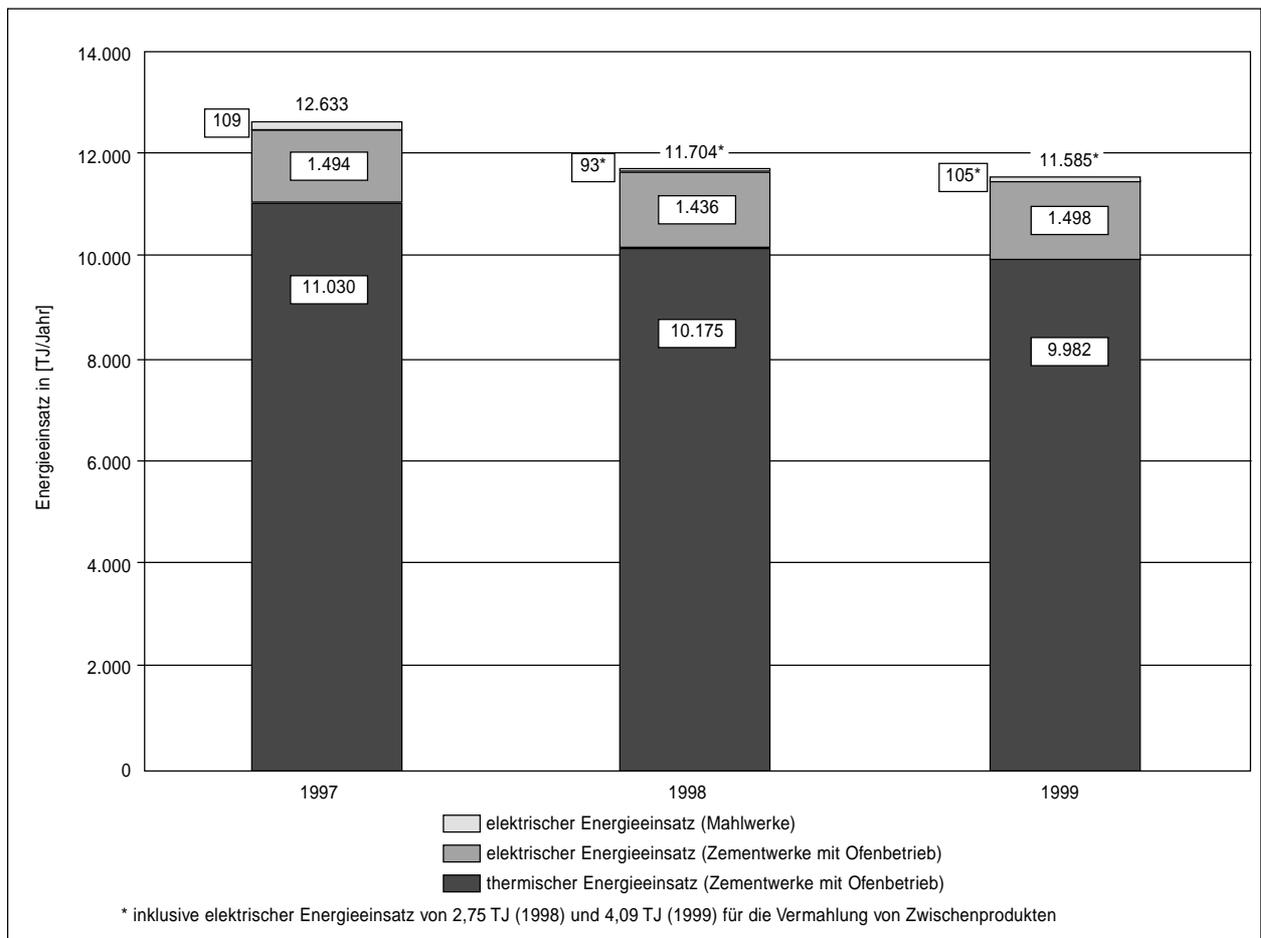


Abbildung 20: Energieeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (inklusive Mahlwerke) im Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999

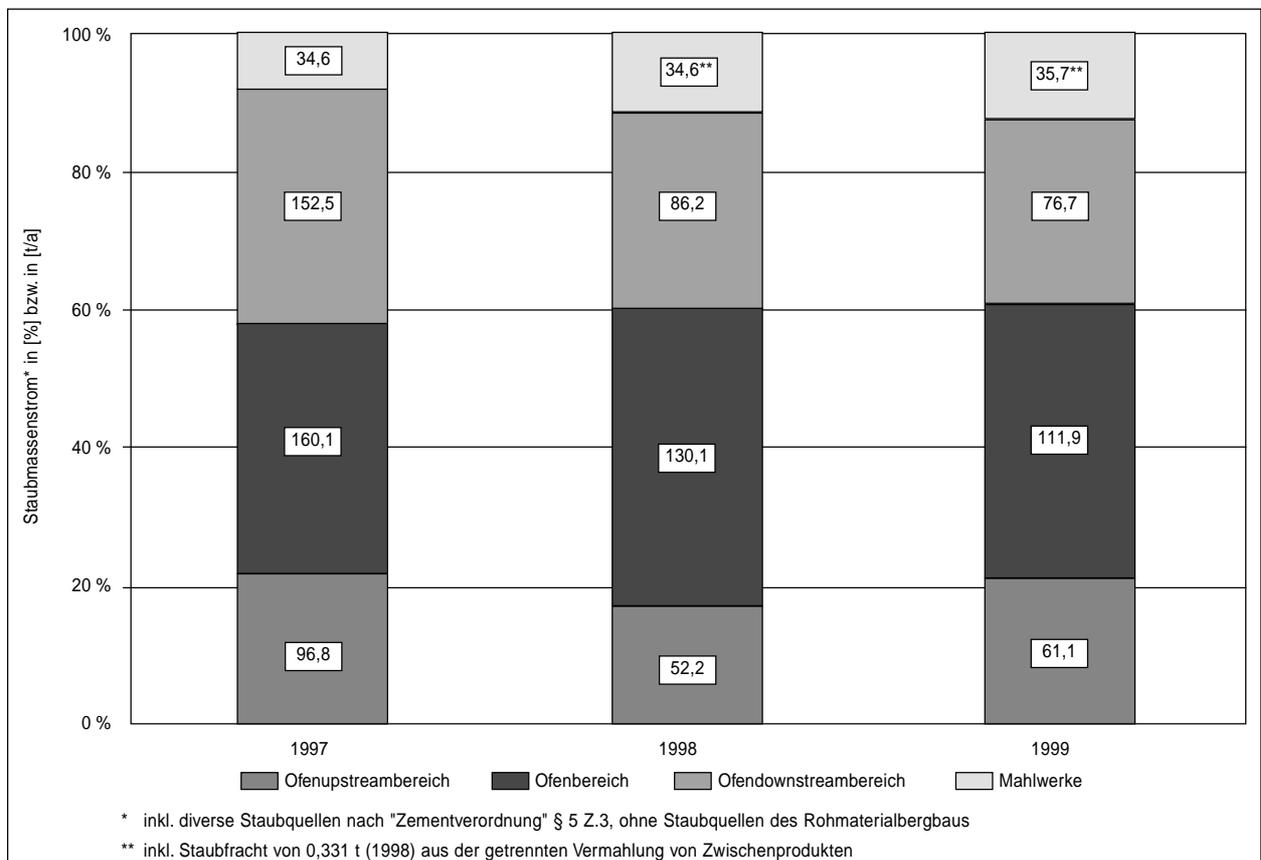


Abbildung 21: Staubförmige Emissionen unter Berücksichtigung von Staubemissionen aus „sonstigen definierten Quellen“ für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (inklusive Mahlwerke) im Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999

5 Kommentierung der Ergebnisse

5.1 Anlage- und Produktionsdaten

Der über die drei Betriebsjahre 1997, 1998 und 1999 sich erstreckende Vergleich der wichtigsten Anlagen- und Produktionsdaten zeigt folgende Tendenzen:

Im Oktober 1997 wurden im Werk Kirchbichl die beiden Drehrohröfen mit einer Klinkerkapazität von insgesamt 275.000 t/a stillgelegt. In einigen Werken konnte die installierte Kapazität jedoch angehoben werden, sodaß die installierte Gesamtkapazität 1999, bezogen auf 1997, um rund 2,6 % verringert wurde (Tabelle 1, Seite 6).

Ein Rückgang der Klinkerproduktion um 8,1% war gekoppelt mit einem Rückgang der Ofenbetriebsstundenzahl um 11,8 %. Mit einem erhöhten Gesamtenergieeinsatz (thermisch und elektrisch) pro Ofenbetriebsstunde von 3,9 % konnte die pro Ofenbetriebsstunde produzierte Klinkermenge um 4,3 % gesteigert werden. Die pro Tonne Klinker eingesetzte Gesamtenergiemenge hat sich somit rechnerisch um rund 0,3 % verringert, der Rohmehlfaktor ist um 1,3 % gesunken, siehe hierzu Tabelle 7.

Tabelle 7: Jahresvergleich diverser Kennwerte der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke)

Kennwert	Dimension	1997		1998	1997/98	1999	1997/99
			[%]		[%]		[%]
installierte Klinkerkapazität	[t _{Kl} /a]	4.141.000	100,00			4.034.000	-2,58
Klinkerproduktion	[t _{Kl} /a]	3.103.312	100,00	2.832.262	-8,73	2.853.437	-8,05
Ofenbetriebsstunden	[h _{OB} /a]	65.531	100,00	59.515	-9,18	57.799	-11,80
thermischer Energieeinsatz	[GJ/h _{OB}]	168,32	100,00	170,97	1,58	172,70	2,61
Gesamtenergieeinsatz (therm. u. elektr.)	[GJ/h _{OB}]	191,11	100,00	195,10	2,09	198,62	3,93
Ofenleistung	[t _{Kl} /h _{OB}]	47,36	100,00	47,59	0,49	49,37	4,25
spez. thermischer Energieaufwand	[GJ/t _{Kl}]	3,554	100,00	3,593	1,08	3,498	-1,57
spez. Gesamtenergieaufwand (therm. u. elektr.)	[GJ/t _{Kl}]	4,036	100,00	4,100	1,59	4,023	-0,30
Rohmehlfaktor	[t _{Rm} /t _{Kl}]	1,629	100,00	1,610	-1,20	1,609	-1,28
Zementproduktion	[t _{Ze} /a]	3.909.083	100,00	3.668.076	-6,17	3.658.102	-6,42

* Die auf Tonne Klinker relativierten Werte beziehen sich auf im Inland erzeugten Klinker.

Diese Entwicklungen bedeuten, daß in der Vergleichsperiode die installierte Ofenkapazität besser ausgenutzt, der Einsatz thermischer Energie pro Tonne Klinker sowie der Einsatz von Rohmehl pro Tonne Klinker gesenkt werden konnte, woraus eine bessere Ausnutzung der den Öfen zugeführten thermischen Energie und des Rohmehls resultiert. Gründe für diese Effekte liegen in technischen Verbesserungen des Ofenbetriebes oder/und in der Verbesserung des installierten Standes der Technik durch Schließung von alten Anlagen und Kapazitätenausbau neuerer Anlagen.

In den österreichischen Mahlwerken wurde Zement produziert, für den der Klinker zu einem großen Teil aus ausländischen Ofenbetrieben angeliefert wurde. Die Sekundärzumahlstoffe wurden aus dem Inland bezogen. Der so produzierte Zement wurde dem heimischen Markt zugeführt.

Auf Energie- und Rohstoffeinsatz wird in den Abschnitten 5.2 und 5.3 näher eingegangen.

5.2 Energieeinsatz

5.2.1 Gesamtenergie

Erstmals für die österreichische Zementindustrie wurde für den Zeitraum 1997 bis 1999 neben den konventionellen Energieträgern und den Ersatzbrennstoffen auch der Verbrauch an elektrischer Energie erfaßt. Hierbei wurde unterschieden zwischen dem Stromverbrauch der Zementwerke mit Ofenbetrieb und jenem der Mahlwerke. Angaben über den Gesamtenergieverbrauch beinhalten daher auch den Verbrauch an elektrischer Energie.

Für Zementwerke mit Ofenbetrieb und Mahlwerke zusammengenommen hat sich der Gesamtenergieeinsatz von 1997 auf 1999 um 8,3 % gesenkt (siehe Tabelle 6, Seite 26). Für die Mittelwerte der spezifischen Energieeinsätze pro Tonne Zement (GJ/t_{Ze}), ausschließlich auf die Werke mit Ofenbetrieb bezogen, ergeben sich die in der folgenden Tabelle 8 angegebenen Werte.

Tabelle 8: spezifischer Energieeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Jahresvergleich

	1997 [GJ/t _{ze}]	1998 [GJ/t _{ze}]	Δ 1998/97 [%]	1999 [GJ/t _{ze}]	Δ 1999/97 [%]
spezifischer thermischer Energieeinsatz*	2,822	2,774	-1,69	2,729	-3,29
spezifischer elektrischer Energieeinsatz*	0,382	0,392	2,48	0,410	7,17
spezifischer Gesamtenergieeinsatz*	3,204	3,166	-1,19	3,138	-2,04
* für Zementwerke mit Ofenbetrieb					

Der spezifische Gesamtenergieverbrauch in den Werken mit Ofenbetrieb konnte für Zement systematisch um rund 2 % abgesenkt werden. Ein ähnlicher Verlauf ergibt sich für die Werte aus thermischer Energie, hierbei konnte 1999 eine Verminderung um 3,3 % bezogen auf 1997 erreicht werden. Es fällt auf, daß die spezifischen Werte für elektrische Energie auf die Tonne Zement bezogen systematisch gestiegen sind und 1999 rund 7,2 % höher als 1997 liegen (Tabelle 8). Ein wesentlicher Grund hierfür ist in der Verbesserung der Staubabscheidung in Ofenlinien zu finden. Der spezifische Emissionsfaktor für Staub konnte im Bezugszeitraum auf Klinker bezogen um 24 %, der auf Zement bezogene um 25,3 % gesenkt werden (Tabelle 17, Seite 36).

5.2.2 Konventionelle Energieträger

Der Verbrauch konventioneller Energieträger (GJ/a) hat von 1997 bis 1999 um insgesamt 28,7 % abgenommen. Der stärkste Rückgang bezogen auf GJ/a ist bei Steinkohle mit 35,7 % zu verzeichnen, gefolgt von Heizölen mit 20,0 % und Erdgas mit 2,5 %. Bei Braunkohlenstaub hat sich zwar eine Steigerung um 44,5 % ergeben, doch liegt der Deckungsbeitrag für 1999 bei nur 3,8 % der konventionellen Energieträger (Tabelle 9).

Tabelle 9: Beitrag der konventionellen Energieträger (KET) und diverser Ersatzbrennstoffe (EBS) an der thermischen Energiegewinnung in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Jahresvergleich 1999 mit 1997

III	Konventionelle Energieträger (KET)	1997 [GJ/a]	1999 [GJ/a]	1999 [%]	Δ 1999/97 [%]
	A) Steinkohle	6.068.301	3.899.187	61,99	-35,74
	B) Braunkohlenstaub	163.407	236.119	3,75	44,50
	C) - E) Heizöle	2.119.168	1.695.675	26,96	-19,98
	F) Erdgas / [1000m ³ (Vn)/a]	470.920	458.941	7,30	-2,54
	G) sonstige	0	0		
	Summe A) bis G)	8.821.796	6.289.922	100,00	-28,70
IV	Ersatzbrennstoffe (EBS)	1997 [GJ/a]	1999 [GJ/a]	1999 [%]	Δ 1999/97 [%]
	H) Altreifen	515.804	735.165	19,91	42,53
	I) Kunststoffabfälle	507.535	699.550	18,95	37,83
	J) Petrolkoks	107.420	814.755	22,07	658,48
	K) Altöl	855.875	1.000.884	27,11	16,94
	L) Lösungsmittel	110.373	199.743	5,41	80,97
	M) Tallölpech	0	0		
	N) Papierfaserreststoff	105.658	117.574	3,18	11,28
	O) sonstige	5.364	124.461	3,37	2.220,10
	Summe H) bis O)	2.208.029	3.692.130	100,00	67,21

Bezogen auf die Tonne Klinker aus österreichischer Produktion hat der spezifische Einsatz konventioneller Energie von 2,84 auf 2,20 GJ/t_{Kl}, somit um 22,5 % abgenommen. Für die Tonne Zement hergestellt aus diesem Klinker, liegt dieser Reduktionswert bei 23,8 % (Tabelle 4, Seite 10).

5.2.3 Ersatzbrennstoffe

Der Einsatz von Ersatzbrennstoffen (GJ/a) hat im Berichtszeitraum stark zugenommen. Die Frage ob Petrolkoks als Ersatzbrennstoff oder als konventioneller Brennstoff zu werten ist, wird derzeit auf internationaler und nationaler Ebene diskutiert. Petrolkoks als konventioneller Energieträger bewertet, führt im Vergleichszeitraum zu einem Anstieg des Ersatzbrennstoffanteils am Gesamtbedarf thermischer Energie (GJ/a) von 19,0 auf 28,8 % (Abbildung 5, Seite 14). Eine Bewertung als Ersatzbrennstoff führt im Vergleichszeitraum zu einem Anstieg des Ersatzbrennstoffanteils am Gesamtbedarf thermischer Energie (GJ/a) von 20,0 auf 37,0 %

(Tabelle 4, Seite 10). In der Gruppe der nicht konventionellen Brennstoffe liegt Altöl mit einem Anteil von 27,1 % in 1999, wie auch in 1997 und 1998 an der Spitze. Petrolkoks liegt 1999, 1997 noch an 5. Stelle positioniert, mit 22,1 % an zweiter Stelle, gefolgt von Altreifen mit 19,9 % und Kunststoffabfällen mit 19,0 %. Die übrigen Ersatzbrennstoffe liegen im Bereich von 5,5 % und darunter (Tabelle 9, Seite 29).

Tabelle 10: Durch den Einsatz von Ersatzbrennstoffen im Jahr 1997 substituierte Menge an konventionellen Brennstoffen (Petrolkoks als Ersatzbrennstoff bewertet)

1997	Energieeinsatz durch Ersatzbrennstoffe:		2.208.029 [GJ/a]
	gleichbedeutend		
	einer Einsatzmenge an Steinkohle von		72.860 [t/a]
	(mittlerer Heizwert:	30,30 [MJ/kg]	
	oder einer Einsatzmenge an Braunkohle von		100.452 [t/a]
	(mittlerer Heizwert:	21,98 [MJ/kg]	
	oder einer Einsatzmenge an Heizöl S von		55.721 [t/a]
	(mittlerer Heizwert:	39,63 [MJ/kg]	
	oder einer Einsatzmenge an Erdgas von		59.161.442 [m ³ (Vn)/a]
	(mittlerer Heizwert:	37,32 [MJm ⁻³ (Vn)]	

Tabelle 11: Durch den Einsatz von Ersatzbrennstoffen im Jahr 1999 substituierte Menge an konventionellen Brennstoffen (Petrolkoks als Ersatzbrennstoff bewertet)

1999	Energieeinsatz durch Ersatzbrennstoffe:		3.692.130 [GJ/a]
	gleichbedeutend		
	einer Einsatzmenge an Steinkohle von		124.593 [t/a]
	(mittlerer Heizwert:	29,63 [MJ/kg]	
	oder einer Einsatzmenge an Braunkohle von		166.891 [t/a]
	(mittlerer Heizwert:	22,12 [MJ/kg]	
	oder einer Einsatzmenge an Heizöl S von		94.103 [t/a]
	(mittlerer Heizwert:	39,23 [MJ/kg]	
	oder einer Einsatzmenge an Erdgas von		99.712.410 [m ³ (Vn)/a]
	(mittlerer Heizwert:	37,03 [MJm ⁻³ (Vn)]	

Mit der thermischen Verwertung der als Ersatzbrennstoffe dienenden Reststoffe konnte auf der Bezugsbasis von Heizöl S die Einsparung von knapp 56.000 t in 1997 auf ca. 94.000 t in 1999, somit um 68,9 % gesteigert werden (Tabelle 10 und Tabelle 11). Der Anteil an biogenem Verbrennungsgut (Tabelle 12) am thermischen Gesamtenergieeinsatz (Tabelle 9, Seite 29) konnte im Vergleichszeitraum deutlich erhöht werden und erreichte 1999 2,4 %. Der vergleichsweise kleine Anteil biogener, somit erneuerbarer Energieträger erklärt sich aus dem vergleichsweise niedrigen Energieinhalt solcher Stoffe. Für den Hochtemperaturprozeß des Klinkerbrennens im Ofen sind Ersatzbrennstoffe mit hohem Heizwert sinnvoll.

Tabelle 12: Mengen an erneuerbaren Energieträgern die im Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999 in Anlagen der österreichischen Zementindustrie verfeuert wurden

	1997 [t/a]	1997 [GJ/a]	1998 [t/a]	1998 [GJ/a]	1999 [t/a]	1999 [GJ/a]	Δ 1999/97* [%]
biogenes Verbrennungsgut	33.649	105.658	40.141	181.563	44.193	234.369	121,82
* bezogen auf Energieeinsatz							

5.2.4 Strom

Die Erfassung des Einsatzes elektrischer Energie erfolgte getrennt für die Zementwerke mit Ofenbetrieb und für Mahlwerke. Der Verbrauch der Mahlwerke betrug in den drei Jahren des Vergleichszeitraumes jeweils weniger als 1% des gesamten Energieverbrauches der Zementindustrie (Abbildung 20, Seite 27). Für die Werke mit Ofenbetrieb blieb der Stromverbrauch über die Jahre 1997 bis 1999 nahezu konstant und lag im Bereich von 12 bis 13 % des Gesamtenergieverbrauches dieser Werke. Der mittlere spezifische Einsatz von Strom pro Tonne Zement stieg in den Werken mit Ofenbetrieb von 1997 auf 1999 um 7,3 %, dies steht unter anderem mit der verbesserten Staubabscheidung in Zusammenhang (Abbildung 4-18, Seite 23).

Bezüglich der Mahlwerke ist anzuführen, daß deren Stromverbrauch in den Jahren 1998 und 1999 auch das Vermahlen von Zwischenprodukten miteinschließt, die dann als solche ins Ausland abgegeben wurden. Der darauf entfallende Anteil am Stromverbrauch der Mahlwerke betrug weniger als 4 % (Tabelle 5, Seite 24).

5.3 Rohstoffe

5.3.1 Rohmehl

Der Rohmehleinsatz ist von 1997 bis 1999 um 9,2 % zurückgegangen (Tabelle 4, Seite 10). Da die Klinkerproduktion in diesem Zeitraum um 8,1 % zurückgefahren worden ist, ergibt sich daraus eine geringe Verbesserung des Rohmehlfaktors t_{Rm}/t_{Kl} von 1,629 auf 1,609, das bedeutet eine um 1,3 % verbesserte Ausnutzung des eingesetzten Rohmaterials (Tabelle 7, Seite 28). Bezüglich der Zusammensetzung des Rohmehles ist festzustellen, daß der Massenanteil der Sekundärrohstoffe am Rohmehleinsatz signifikant angestiegen ist, woraus eine deutliche Schonung der natürlichen Rohstoffressourcen resultiert.

5.3.2 Sekundärrohstoffe

Der Einsatz von Sekundärrohstoffen hat im Vergleichszeitraum eine starke Steigerung erfahren. Der Anteil dieser Materialien am Gesamtrohmehleinsatz stieg von 1,6 % in 1997 über 3,1 % in 1998 auf 5,6 % in 1999 (Tabelle 4, Seite 10). Innerhalb der Gruppe der Sekundärrohstoffe nimmt die Gruppe „sonstige Sekundärrohstoffe“ mit mehr als 60 % eine führende Stellung ein. An zweiter Stelle mit durchschnittlich 25 % stehen diverse Schlacken, an dritter Position liegen Gießereialsande (Abbildung 7, Seite 16). In der Gruppe sonstige Sekundärrohstoffe haben 1997 diverse Aschen mit 53,5 % den größten Beitrag geliefert, der 1998 auf 41,2 % zurückging. 1999 haben gips- und tonhaltige Sekundärrohstoffe mit 55,0 % den größten Anteil gebildet (Abbildung 8, Seite 17). Diese Materialien sowie die in kleineren Mengen eingesetzten in anderen industriellen Bereichen als Reststoffe anfallenden Stoffe wie Walzenzunder, Kiesabbrand, Gangart und Waschberge enthalten wertvolle chemische Verbindungen die für die Klinkerproduktion notwendig sind. Diese Reststoffe erfahren somit eine stoffliche Verwertung.

5.3.3 Sekundäre Zumahlstoffe

Auch der Einsatz sekundärer Zumahlstoffe hat eine wesentliche Steigerung erfahren. Bei einer aus dem Einsatz in Ofen- und in Mahlwerken resultierenden Gesamtsteigerung innerhalb des Berichtszeitraumes von

Tabelle 13: Einsatzmengen sekundärer Zumahlstoffe (SZM) der österreichischen Zementindustrie im Bilanzzeitraum 1997 bis 1999

Sekundär- zumahl- stoffe (SZM)	1997		1997		1998*		1998*		1999*		1999*	
	[t/a]	[t/a]	[t/a]	Anteil in [%]	[t/a]	[t/a]	[t/a]	Anteil in [%]	[t/a]	[t/a]	[t/a]	Anteil in [%]
Hochofenschlacke												
Ofenwerke	423.377,74				482.643,24				517.596,97			
Mahlwerke		53.881,00				56.115,00				64.475,00		
Summe			477.258,74	78,38			538.758,24	80,96			582.071,97	82,69
REA-Gips												
Ofenwerke	51.194,80				62.068,80				61.062,50			
Mahlwerke		6.670,00				1.869,00				791,00		
Summe			57.864,80	9,50			63.937,80	9,61			61.853,50	8,79
Flugasche												
Ofenwerke	72.788,30				53.714,94				39.187,81			
Mahlwerke		1.000,00				1.000,00				1.007,00		
Summe			73.788,30	12,12			54.714,94	8,22			40.194,81	5,71
sonstige SZM												
Ofenwerke	0,00				8.077,00				19.784,00			
Mahlwerke		0,00				0,00				0,00		
Summe			0,00	0,00			8.077,00	1,21			19.784,00	2,81
Insgesamt												
Ofenwerke	547.360,84				606.503,98				637.631,28			
Mahlwerke		61.551,00				58.984,00				66.273,00		
Total			608.911,84	100,00			665.487,98	100,00			703.904,28	100,00

* exklusive vermahlene Zwischenprodukte für 1998 12051 t/a Hochofenschlacke, für 1999 17001 t/a Hochofenschlacke.

15,6 % hat der Anteil der Hochofenschlacke von 78,4 % auf 82,7 % zugenommen, der Anteil des REA-Gipses mit 9,5 % auf 8,8 % eine geringe Reduktion erfahren, mengenmäßig jedoch um rund 4.000 t zugenommen. Für Flugasche ist ein starker Rückgang um rund 33.600 t zu verzeichnen; jedoch sind seit 1998 sekundäre mineralische Zuschlagstoffe hinzugenommen worden die 1999 einen Anteil von 2,8 % bildeten. Siehe hierzu die Tabelle 13, Seite 31.

Ähnlich wie bei den sekundären Rohstoffen ist durch die Erhöhung des Einsatzes von sekundären Zuschlagstoffen eine verstärkte Schonung natürlicher Zuschlagstoffressourcen erfolgt die auch dadurch an Bedeutung gewinnt, daß im Vergleichszeitraum die Zementproduktion in Ofen- und in Mahlwerken um 5,9 % zurückgegangen ist (Tabelle 6, Seite 26). Für die sekundären Zuschlagstoffe, die Rest- bzw. Abfallstoffe anderer Produktionsbranchen sind, ist in der Zementindustrie eine stoffliche Verwertung gegeben.

5.4 Mahlwerke

Erstmals im Rahmen dieser Berichte wurden die Daten der Mahlwerke, Standorte an welchen kein Ofenbetrieb besteht, separat erfaßt und dargestellt. Die Angaben beziehen sich auf Mahlgut, Energieverbrauch, Sekundärzuschlagstoffe und Staubemission.

Tabelle 14: Anlagedaten, Produktionsdaten, Energieeinsatzmengen, Mengen an Sekundärzuschlagstoffen und staubförmige Emissionen aus österreichischen Zementwerken ohne eigene Klinkerproduktion im Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999

I Anlagedaten										
Anlagenzahl		Österreichweit waren 1999 drei Mahlwerke zur Erzeugung von Zement in Betrieb								
II Produktionsdaten		1997		1998		1999				
Klinkereinsatz	[t/a]	332.714		297.117		344.405				
Zementproduktion	[t/a]	415.498		360.482		412.252				
Klinkerfaktor	[t _{Kl} /t _{Ze}]	0,80		0,82		0,84				
V Energieeinsatz		1997		1998**		1999**				
Σ elektrischer Energieeinsatz	[MWh/a]	30.226,138		25.831,491		29.304,979				
Σ elektrischer Energieeinsatz	[GJ/a]	108.814		92.993		105.498				
spez. Energieeinsatz	[KWh/t _{Ze}]	72,7		71,7		71,1				
spez. Energieeinsatz	[GJ/t _{Ze}]	0,262		0,258		0,256				
VII Sekundärzuschlagstoffe		1997		1998***		1999***				
Hochofenschlacke	[t/a]	53.881		68.166		81.476				
REA - Gips	[t/a]	6.670		1.869		791				
Flugasche	[t/a]	1.000		1.000		1.007				
sonstige	[t/a]	0		0		0				
IX Emissionsrelevante Daten		1997		1998*		1999*				
		E-faktor	Massenstrom	E-faktor	E-faktor	Massenstrom	E-faktor	E-faktor	Massenstrom	E-faktor
		[g/t _{Mahlgut}]	[t/a]		[g/t _{Mahlgut}]	[t/a]		[g/t _{Mahlgut}]	[t/a]	
1	Staubförmige Emissionen	83,146	34,550	92,735	34,550		83,231	35,730		
*** inklusive pulverförmige Zwischenprodukte										
** inklusive elektrischer Energieverbrauch von 764 MWh für die Herstellung von 12051 t (1998) und von 1137 MWh für die Herstellung von 17001 t (1999) gemahlener Zwischenprodukte										
* inklusive Staubfracht von 0,331 t (1998) und 0,414 t (1999) aus der getrennten Vermahlung von Zwischenprodukten (Hochofenschlacke)										

> Mahlgut

In den in Betrieb stehenden Mahlwerken wurden 1997 9,6 %, 1998 9,0 % und 1999 10,1 % der gesamtösterreichischen Zementproduktion hergestellt (Tabelle 14 und Tabelle 6, Seite 26). In den beiden letzten Jahren wurden auch kleine Mengen von Hochofenschlacke und Klinker vermahlen, die nicht an in Österreich befindliche Zementwerke geliefert wurden. Diese Mengen, 1998 waren es 12.051 t, 1999 17.001 t, bilden jedoch weniger als 4 % des in den Mahlwerken zum Einsatz gekommenen Mahlgutes (Tabelle 14).

> Zuschlagstoffe

Für Zement ergibt sich eine geringfügige Abnahme um weniger als 1 %. Bei den Sekundärzuschlagstoffen erfolgte hingegen eine Steigerung um 7,7 %. Mehr als 85 % der für Zement verwendeten Sekundärzuschlag-

stoffe war Hochofenschlacke. Für diesen Zumahlstoff ergaben sich von 1997 auf 1999 Mengensteigerungen, um knapp 20 %. Für REA-Gips erfolgte ein sehr starker Rückgang auf 11,9 % der Menge des Jahres 1997 (Tabelle 14, Seite 32).

➤ **Energieverbrauch**

Der Energieverbrauch der Mahlwerke in Form von elektrischem Strom betrug knapp 1 % des gesamten Energieverbrauches und zwischen 6 und 7 % des Stromgesamtverbrauchs der Zementindustrie (Tabelle 14, Seite 32, und Tabelle 6, Seite 26). Der Stromverbrauch pro Tonne Zement (GJ/t_{Ze}) im Bereich der Mahlwerke ist um 2,3 % gesunken (Tabelle 14, Seite 32). Bei diesem Wert ist allerdings zu berücksichtigen, daß, da teilweise auch Monokomponenten (Schlacke) vermahlen wurden, die spezifischen Werte der Mahlwerke korrekter auf die Tonne Mahlgut bezogen angegeben werden. Bei diesem spezifischen Wert ist für 1998 und 1999 zu berücksichtigen, daß der Stromverbrauch auch jenen Strombedarf enthält, der durch das Mahlen von Zwischenprodukten entstanden ist die nicht in die Zementzubereitung eingegangen sind, sondern als gemahltes Zwischenprodukt ins Ausland geliefert wurden. Diese Menge an Zwischenprodukten beträgt für 1998 3,3 %, für 1999 4,1 % der jeweiligen Zementproduktion der Mahlwerke (Tabelle 14, Seite 32).

Wenn die spezifischen Stromverbrauchswerte pro Tonne Zement in den Ofenwerken um mehr als 60 % höher liegen als in den Mahlwerken (Tabelle 14, Seite 32 und Tabelle 8, Seite 29), so erklärt sich dies durch die in den Mahlwerken nicht notwendigen stromverbrauchenden Produktionsschritte für den Klinker wie Rohmehlaufbereitung und Ofenbetrieb.

➤ **Staubemission**

Das Emissionsbildungspotential der Mahlwerke (Tabelle 14, Seite 32) liegt ausschließlich bei staubförmigen Emissionen. Der Massenstrom an Staub hat im Berichtszeitraum um 3,4 % zugenommen. Da im selben Zeitraum die vermahlene Klinkermenge um 3,5 %, die gesamte Mahlgutmenge um 3,3 % gestiegen ist, bleiben die Emissionsfaktoren bezogen auf Klinker und auf Mahlgut mit einer temporären Steigerung in 1998, für 1997 und 1999 praktisch gleich groß.

5.5 Emissionen

5.5.1 Allgemeines

Die nachfolgend dargestellten und kommentierten Emissionen gliedern sich in Angaben über

- Massenströme pro Jahr
- Emissionsfaktoren pro Tonne Klinker
- Emissionsfaktoren pro Tonne Zement
- klimarelevante CO_2 -Emissionen
- Staubemissionen für den dem Ofen vorgeschalteten Bereich
- Staubemissionen für den Bereich Ofen
- Staubemissionen für den dem Ofen nachgeschalteten Bereich
- Staubemissionen für den Bereich Mahlwerke
- Staubemissionen für den Bereich diverse Quellen („sonstige definierte Emissionsquellen“)

In Ergänzung zu den Berichten über die Periode 1988-1993 [1] sowie 1994-1996 [2] werden in diesem Bericht erstmals die Staubemissionen der Mahlwerke dargestellt. Der Zementverordnung 1993, § 5 folgend [3], sind nun auch „sonstige definierte Emissionsquellen“ für Staub erfaßt und separat zur Darstellung gebracht worden.

5.5.2 Massenströme der Zementwerke mit Ofenbetrieb

Eine Aufstellung der Emissionsmassenströme aller für die österreichischen Zementwerke mit eigener Klinkerproduktion relevanten Schadstoffe findet sich in der Tabelle 4 (Seite 10). Massenströme ausgewählter Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) sind für die Jahre 1997, 1998 und 1999 in Tabelle 15 (Seite 34) zusammengefaßt. Der Vergleich der Zahlen von 1999 mit jenen von 1997 zeigt bei allen angeführten Komponenten mit Ausnahme von Zink einen Rückgang der vor dem Hintergrund der reduzierten Klinker- und Zementproduktion sowie der Ofenbetriebsstunden zu sehen ist. Bei der Mehrzahl der Komponenten ist jedoch eine progressive Abnahme der Massenströme zu verzeichnen, der nicht in allen Fällen mit reduzierter Produktion zu erklären ist.

So hat die um 30 % verringerte Staubemission auch in der Verbesserung der Abscheidetechnik ihren Grund. Die Reduktion der SO₂-Emission um mehr als 86 % beruht auf der Installierung und dem Betrieb einer Abgasentschwefelungsanlage in einem mit sehr hohem Schwefelgehalt ausgestatteten Rohmaterial arbeitenden Werk. Für die Staubemissionen der Mahlwerke relevante Daten sind in Tabelle 5 (Seite 24) enthalten und werden in Punkt 5.5.3 „Staubemissionen“ kommentiert.

Tabelle 15: Emissionen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Bilanzzeitraum 1997 bis 1999 und ihre prozentuellen Änderungen in 1999 bezogen auf 1997

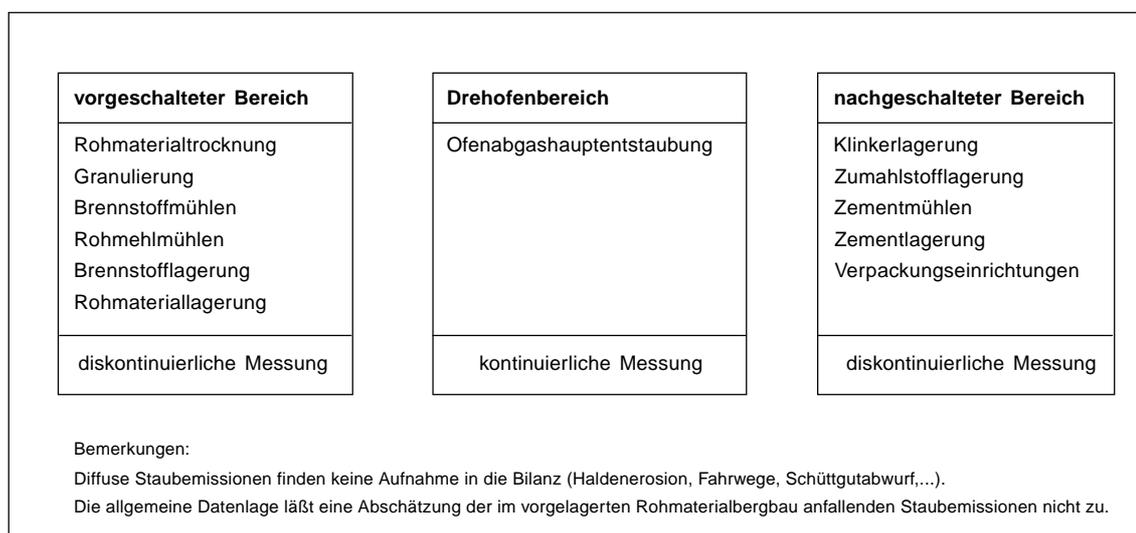
Vergleichsjahr Komponente	1997 Emission [t / Jahr]	1998 Emission [t / Jahr]	1999 Emission [t / Jahr]	Δ 1999/97 Änderung [%]
Staub	160,121	130,094	111,872	-30,13
Stickstoffoxide (als NO ₂)	4.441,718	3.901,171	3.957,122	-10,91
Schwefeldioxid (SO ₂)	1.304,004	411,311	175,837	-86,52
chlorhältige Verbindungen (als HCl)	14,207	14,808	13,679	-3,72
fluorhältige Verbindungen (als HF)	1,108	1,112	1,073	-3,24
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	250,355	183,825	217,939	-12,95
Kohlenmonoxid (CO)	7.724,591	7.544,230	7.632,654	-1,19
pyrogenes Kohlendioxid (CO ₂)	881.631	802.388	793.040	-10,05
prozeßbedingtes Kohlendioxid (CO ₂)	1.760.917	1.579.618	1.587.558	-9,84
Summe Kohlendioxid (CO ₂)	2.642.548	2.382.007	2.380.598	-9,91
Quecksilber (Hg)	0,090167	0,071905	0,077687	-13,84
Chrom (Cr)	0,035554	0,025046	0,028239	-20,57
Cadmium (Cd)	0,038715	0,013727	0,020047	-48,22
Arsen (As)	0,069533	0,065820	0,060055	-13,63
Blei (Pb)	0,126510	0,094298	0,089053	-29,61
Zink (Zn)	0,212788	0,235978	0,299783	40,88
Summe metallische Spurenelemente	0,986676	0,810522	0,906206	-8,16
(ohne Mahlwerke)				

5.5.3 Staubemissionen

In den Emissionsbilanzen dieses Berichtszeitraumes werden, der Zementverordnung [3] entsprechend, erstmals neben den Staubemissionen aus dem Ofenbetrieb auch Staubemissionen aus solchen Quellen angegeben „bei denen eine gezielte Erfassung und Abdeckung von Abluft oder Abgas möglich ist (definierte Emissionsquellen)“. Es handelt sich hierbei um punktförmige Emissionsquellen in den, den Öfen vorgeschalteten und nachgeschalteten Bereichen (Abbildung 22), sowie in den Mahlwerken. Nicht erfaßt werden diffuse Emissionsquellen sowie die Staubemissionen im Rohmaterialbergbau.

> Definierte Emissionsquellen

Abbildung 22: Staubquellen in Anlagen der österreichischen Zementindustrie



Die Messungen der Staubemissionen der definierten Quellen haben gemäß Zementverordnung [3] „in regelmäßigen, fünf Jahre nicht übersteigenden Zeitabständen“ durchgeführt zu werden. Da diese Messungen dann für die Emissionsbilanzierung in jedem der in der Zeitspanne von fünf Jahren liegenden Bilanzjahre herangezogen werden sowie unter Berücksichtigung des zeitabhängigen Erhaltungszustandes der für die Entstaubung installierten Einrichtungen, muß festgestellt werden, daß die auf diese Weise ermittelten Werte nur eine Größenordnung der jeweiligen Staubemission aus diesen Quellen angeben können.

➤ **Mahlwerke**

Für den Bereich der Mahlwerke hat der Massenstrom an Staub im Berichtszeitraum um 3,4 % zugenommen, siehe Tabelle 5 (Seite 24). Im selben Zeitraum ist jedoch die vermahlene Klinkermenge um 3,5 %, die gesamte Mahlgutmenge um 3,3 % gestiegen (Tabelle 5, Seite 24), sodaß die Emissionsfaktoren, bezogen auf Steigerung in 1998, für 1997 und 1999 praktisch keine Änderung erfahren haben.

➤ **Gesamtemission**

In der folgenden Tabelle 16 werden für die drei Berichtsjahre die Gesamtemissionen an Staub und die Aufgliederung dieser Emission auf die Bereiche Öfen, vor- und nachgeschalteter Bereich und Mahlwerke angegeben. Die Daten für die den Öfen vor- und nachgeschalteten Bereiche sowie der Mahlwerke können aus den vorstehend dargelegten Gründen nicht als exakte Zahlen angesehen werden, informieren aber über die Größenordnung der Staubemission dieser Bereiche.

Unter Berücksichtigung dieser Unschärfe zeigt Tabelle 16 und Abbildung 21 (Seite 27), daß der Ofenbereich die stärkste Staubemissionsquelle darstellt. An zweiter Stelle steht der dem Ofen nachgeschaltete Bereich, gefolgt von dem Ofen vorgeschalteten Bereich. Die Mahlwerke sind der kleinste Bereich.

Ein über die drei Jahre sich erstreckender Vergleich zeigt für die drei in den Anlagen mit Ofenbetrieb liegenden Bereiche, daß in diesen drei Bereichen die Staubemission systematisch abgesenkt werden konnte. Für den Ofenbereich sind es 30,1 %, für den vorgeschalteten Bereich 36,8 % und für den nachgeschalteten Bereich sogar rund 50 %. Bei den Mahlwerken ergibt sich eine geringe Steigerung um 3,4 %, die jedoch mit der in diesem Zeitraum erfolgten Zunahme der Mahlgutmenge um 3,3% korreliert (Tabelle 5, Seite 24). Im Sinne dieser Bilanz errechnet sich die jährliche Mahlgutmenge, als Summe der in den Mahlwerken erzeugten Jahresmengen an Zement und pulverförmigen Zwischenprodukten, zuzüglich der jährlichen Staubemission dieser Mahlwerke. Für die Gesamtemission resultiert eine Reduktion um 35,7 %.

Tabelle 16: Staubemissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Vergleichszeitraum 1997 bis 1999

	1997 [t/a]	1997 [%]	1998 [t/a]	1998 [%]	1999 [t/a]	1999 [%]	Δ 1999/97 [%]
Staub Gesamtemission	443,939	100,00	302,979	100,00	285,454	100,00	-35,70
davon							
Ofenbereich	160,121	36,07	130,094	42,94	111,872	39,19	-30,13
dem Ofen vorgeschalteter Bereich	96,756	21,79	52,181	17,22	61,116	21,41	-36,83
dem Ofen nachgeschalteter Bereich	152,511	34,35	86,155	28,44	76,736	26,88	-49,69
Mahlwerke	34,550	7,78	34,550	11,40	35,730	12,52	3,42

5.5.4 Emissionsfaktoren

Die in Tabelle 4 (Seite 10), Tabelle 17 (Seite 36) und in der Abbildung 11 (Seite 19) bzw. in der Abbildung 12 (Seite 19) dargestellten Emissionsfaktoren sind produktions- bzw. produktspezifische Kenngrößen die unabhängig vom Umfang der Produktion Auskunft geben über die mit der Produktion einer Tonne Produkt verbundenen durchschnittlichen Emissionen in einem Betriebsjahr. Der Vergleich dieser Werte aus verschiedenen Betriebsjahren informiert über den Verlauf der emissionsbezogenen Qualität der Produktion.

Analog zu den Entwicklungen bei den Massenströmen ist auch bei den Emissionsfaktoren pro Tonne Klinker und pro Tonne Zement für Staub, SO₂, sowie Cadmium und Blei ein sehr starker Rückgang zu verzeichnen. Die Gründe hierfür wurden in Punkt 5.2 „Energieeinsatz“ (Seite 28f.) dargelegt. Bei den produktbezogenen Emissionsfaktoren in der Tabelle 17 (Seite 36) ist mit Ausnahme der Halogenverbindungen und von Kohlenmonoxid auch bei den anderen Komponenten ein Rückgang ersichtlich. Ein wesentlicher Grund für diese Reduktion fast aller produktbezogener Emissionsfaktoren liegt darin, daß die Klinkerproduktion pro Ofenbetriebsstunde um 4,3 % gesteigert werden konnte (Tabelle 7, Seite 28) und einer gesteigerten Nutzung der Ofenkapazitäten entspricht. Zum Anstieg bei Halogenverbindungen und bei Kohlenmonoxid wird auf die Darstellung und Kommentierung im Punkt 6 „Die Entwicklung von 1988 bis 1999“ (Seite 38) verwiesen.

Tabelle 17: Die auf die Tonne Klinker bzw. auf die Tonne Zement bezogenen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für die Vergleichsjahre 1997 und 1999, sowie die prozentuellen Änderungen in 1999 bezogen auf 1997

Vergleichsjahr	1997	1999	Δ 1999/97	1997	1999	Δ 1999/97
Komponente	E-Faktor [g / t _{Klinker}]	E-Faktor [g / t _{Klinker}]	Änderung [%]	E-Faktor [g / t _{Zement}]	E-Faktor [g / t _{Zement}]	Änderung [%]
Staub	51,60	39,21	-24,01	40,96	30,58	-25,34
Stickstoffoxide (als NO ₂)	1.431,28	1.386,79	-3,11	1.136,26	1.081,74	-4,80
Schwefeldioxid (SO ₂)	420,20	61,62	-85,33	333,58	48,07	-85,59
chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	4,578	4,794	4,71	3,634	3,739	2,89
fluorhaltige Verbindungen (als HF)	0,357	0,376	5,24	0,284	0,293	3,40
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	80,673	76,378	-5,32	64,044	59,577	-6,98
Kohlenmonoxid (CO)	2.489,1	2.674,9	7,46	1.976,1	2.086,5	5,59
pyrogenes Kohlendioxid (CO ₂)	284.093,6	277.924,6	-2,17	225.534,0	216.790,1	-3,88
prozeßbedingtes Kohlendioxid (CO ₂)	567.431,7	556.367,1	-1,95	450.468,2	433.984,2	-3,66
Summe Kohlendioxid (CO ₂)	851.525,3	834.291,6	-2,02	676.002,2	650.774,3	-3,73
Quecksilber (Hg)	0,029055	0,027226	-6,30	0,023066	0,021237	-7,93
Chrom (Cr)	0,011457	0,009897	-13,62	0,009095	0,007720	-15,12
Cadmium (Cd)	0,012475	0,007026	-43,68	0,009904	0,005480	-44,66
Arsen (As)	0,022406	0,021047	-6,07	0,017788	0,016417	-7,70
Blei (Pb)	0,040766	0,031209	-23,44	0,032363	0,024344	-24,78
Summe metallische Spurenelemente	0,317943	0,317584	-0,11	0,252406	0,247726	-1,85
(ohne Mahlwerk)						

Tabelle 18: Streubreite der mittleren Emissionskonzentrationen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) berechnet für das Jahr 1999 (Bezugssauerstoffkonzentration: 10,0 Vol.-%, Grenzwerte nach [3])

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 Emission ^{e)}	18,35	37,80	5,48	50 ^{a)}
Stickstoffoxide (als NO ₂)	649,13	756,77	351,60	500 ^{b)} / 1.000 ^{c)}
Schwefeldioxid (SO ₂)	28,84	59,40	6,34	200 ^{a)} / 400 ^{d)}
As, Co, Ni, Pb (insgesamt)	0,034964	0,069400	0,002660	1,0 ^{a)}
Cadmium (Cd)	0,003289	0,007058	<0,000100	0,1 ^{a)}
Thallium (Tl)	0,008233	0,020632	0,000170	0,1 ^{a)}
Beryllium (Be)	0,002956	0,006190	<0,000100	0,1 ^{a)}
Cd,Tl, Be (insgesamt)	0,014477	0,031980	0,000510	0,2 ^{a)}
Quecksilber (Hg)	0,012744	0,023243	0,003039	-
Chlorverbindungen (als HCl)	2,244	5,708	0,270	-
Fluorverbindungen (als HF)	0,176	0,415	0,030	-
Kohlenmonoxid (CO)	1.252,07	3.144,06	168,41	-
org. Gesamtkohlenstoff	35,751	77,624	4,600	-
a) für Neu- und 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-haltiger Rohstoffe, gültig ab 29.01.1998 e) ohne Staubemission aus "sonstigen definierten Quellen" (Zementverord. §5 Z.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 (Anpackungen) 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. Die Tabelle 18 (Seite 36) gibt Auskunft über mittlere Emissionskonzentrationen ausgewählter Schadstoffe die von österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkerproduktion 1999 freigesetzt wurden. Darüber hinaus werden die maximalen und minimalen Beurteilungswerte (Einzelmessungen, ggf. Monatsmittelwerte) die für die Berechnung der mittleren Emissionskonzentrationen herangezogen wurden, als Streubreichsgrenzen angegeben. Die Bezugssauerstoffkonzentration für alle genannten Konzentrationswerte wird verordnungsgemäß [3] mit 10,0 Vol.-% berücksichtigt.

5.5.5 Klimarelevante CO₂-Emissionen

Die CO₂-Emission der Zementwerke gliedert sich in prozeßbedingtes CO₂ durch das Klinkerbrennen im Ofen und in pyrogenes CO₂ aus der Verbrennung kohlenstoffhaltiger Energieträger für den Betrieb der Öfen und vorgeschalteten Einrichtungen (Tabelle 19, Seite 37).

Bei der Darstellung der klimarelevanten CO₂-Werte ist zu berücksichtigen, daß CO₂, welches aus der Verbrennung erneuerbarer Energieträger freigesetzt wird, als nicht klimawirksam einzustufen ist, da es als in den Kohlenstoffkreislauf der Natur eingebunden gilt (Abbildung 17, Seite 23).

Die für die nationalen österreichischen Emissionsbilanzen wichtigen Massenströme des pyrogenen CO₂ sind zusammengesetzt aus dem Anteil der aus der Verbrennung von fossilen konventionellen Energieträgern sowie Ersatzbrennstoffen auf fossiler Basis stammt, alle klimawirksam, sowie dem Anteil aus erneuerbaren Energieträgern. Die Bedeutung erneuerbarer Energieträger, sowie die notwendige Steigerung des Einsatzes dieser Energieträger, wird u.a. im von der Europäischen Kommission herausgegebenen Weißbuch [4] dargelegt. Darin wird auch auf die Nutzung des Energieinhaltes biogener Abfall- bzw. Reststoffe durch Verbrennung hingewiesen. Durch eine solche thermische Verwertung werden nicht nur fossile Brennstoffe geschont, sondern auch die andernfalls bei der Deponierung solcher biogener Abfall- und Reststoffe freiwerdenden Methanemissionen vermieden. Methan ist ein stark wirkendes Treibhausgas mit dem Wirksamkeitsfaktor 21, bezogen auf den Faktor 1 für CO₂. In der Palette der eingesetzten Energieträger ist unter anderem der Papierfaserreststoff als erneuerbarer Energieträger einzustufen. Die bei der Verfeuerung aus diesen Stoffmengen (Tabelle 12, Seite 30) resultierende CO₂-Emission ist somit von der gesamten CO₂-Emission abzuziehen um die klimawirksame CO₂-Emission darzustellen. Bezogen auf die klimawirksame österreichische CO₂-Gesamtemission stellt dies einen Anteil von 3,9 % für 1997 und 3,6 % für 1998 dar [2]. Die nationalen Daten für 1999 lagen bei Abschluß dieses Berichtes noch nicht vor.

Tabelle 19: Kohlendioxidemissionen aus österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung im Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999

	1997 [t/a]	1998 [t/a]	1999 [t/a]	Δ 1999/97 [%]
prozeßbedingtes Kohlendioxid	1.760.917	1.579.618	1.587.558	-9,84
pyrogenes Kohlendioxid	881.631	802.388	793.040	-10,05
davon aus erneuerbaren Brennstoffen	13.359	17.067	20.270	51,74
Summe klimawirksames Kohlendioxid	2.629.190	2.364.940	2.360.328	-10,23

6 Die Entwicklung von 1988 bis 1999

Da mit dem vorliegenden Bericht und dem 1995 [1] und 1997 [2] publizierten Berichten Datenreihen über eine Zeitspanne von 12 Jahren, 1988 bis einschließlich 1999, vorliegen, soll auch auf den Verlauf der Emissionsdaten in dieser Zeitspanne eingegangen werden, wobei die speziellen Emissionsfaktoren für Klinker als repräsentative Größe herangezogen werden.

In den Jahren von 1988 bis 1999 ist ein Rückgang der Klinker- und Zementproduktion um knapp 20 % erfolgt (Tabelle 2 aus [1] und Tabelle 4, Seite 10), der zur Stilllegung von 4 Werken mit Ofenbetrieb* geführt hat. Diese Entwicklung war verbunden mit einer Reihe von anlagen- und verfahrenstechnischen Verbesserungen die bewirkt haben, daß die Produktion effizienter und nachhaltiger geworden ist.

Zur Deckung des Bedarfs an thermischer Energie konnte der Anteil (GJ/a) an Ersatzbrennstoffen (Petrolkoks als konventioneller Energieträger bewertet) von 6,0 % in 1988 (Tabelle 2 aus [1]) auf 28,8 % in 1999 (Abbildung 5, Seite 14) gesteigert werden, entsprechend einer Einsparung von 54.500 t Heizöl S bezogen auf 1988 (Tabelle 4, Seite 10 und Tabelle 2 aus [1]).

Der Anteil von Sekundärrohstoffen am Rohmehleinsatz blieb im zwölfjährigen Vergleichszeitraum bis 1997 ohne systematische Änderung in der Größenordnung von 1,1 % (1990) bis 1,7 % (1995) um 1998 auf 3,1 % und 1999 auf 5,6 % zu steigen (Tabelle 2 aus [1], Tabelle 5 aus [2] und Tabelle 4, Seite 10).

Bei den Sekundärzumahlstoffen für die Zementproduktion in Werken mit Ofenbetrieb ist der auf die Produktion bezogene Prozentsatz von 14,9 % (1988) nicht systematisch auf 17,4 % (1999) gestiegen (Tabelle 2 aus [1], bzw. Tabelle 4, Seite 10). Der unter Einschluß der Mahlwerke errechnete Wert ist von 14,1 % in 1997 auf 17,3% in 1999 um 94.992 t (exkl. Erzeugung pulverförmiger Zwischenprodukte), das entspricht einer Zunahme um 15,6 % (Tabelle 6, Seite 26).

Die mengenmäßige und prozentuelle Steigerung des Einsatzes von Ersatzbrennstoffen, von Sekundärrohstoffen und von Sekundärzumahlstoffen ist ein wertvoller Beitrag der österreichischen Zementindustrie zur Schonung fossiler Brennstoffressourcen und von primären Rohstofflagerstätten. Damit verbunden ist die energetische und stoffliche Nutzung von gut geeigneten Abfall- und Reststoffen und damit ein Beitrag zum Vollzug des Abfallwirtschaftsgesetzes sowie zum Bemühen um eine nachhaltig orientierte Produktion.

Für den Bereich der Emissionen sind in der Tabelle 20 und in der Tabelle 21 (Seite 39f.) die auf die Tonne Klinker bezogenen Emissionsfaktoren diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie der Jahre 1988 bis 1999 zusammengestellt. Im besonderen sind die starken Reduktionen für SO_2 , und Staub, aber auch für NO_x und CO anzuführen. Ein Trend ist am besten aus den Emissionsfaktoren ablesbar, da diese unabhängig von der jeweiligen Produktionsmenge eines Jahres sind. Der Emissionsfaktor Klinker für SO_2 (g/t_{Kl}), bis 1997 ohne große Änderungen, konnte in den folgenden zwei Jahren durch die Inbetriebnahme einer Rauchgasentschwefelungsanlage in einem Werk, um 85,3 % reduziert werden (Tabelle 17, Seite 36). Für Staub konnte im Jahresvergleich 1988/1999 eine Absenkung des Emissionsfaktors Klinker um 33,8 % erreicht werden (Tabelle 2 aus [1] und Tabelle 4, Seite 10). Dieser Vergleich bezieht sich nur auf die Emission aus dem Ofenbereich, da für die „sonstigen definierten Quellen“ gemäß Zementverordnung [3] für die Jahre vor 1997 keine Daten verfügbar sind. Die Reduzierung wurde erreicht durch die Verbesserung der technischen Einrichtungen zur Staubabscheidung. Bei Stickoxiden erfolgte ab 1994, ausgelöst durch die Zementverordnung 1993 [3], eine systematische Reduktion (g/t_{Kl}) die 1999 gegenüber 1988 einen Wert von -21,3 % erreichte (Tabelle 2 aus [1] und Tabelle 4, Seite 10). Dieses Ergebnis wurde mit Hilfe von verfahrenstechnischen und feuerungstechnischen Maßnahmen erzielt. Für Kohlenmonoxid setzte eine deutlich abnehmende Tendenz ab 1993 ein und brachte von 1988 bis 1999 eine Verringerung um 18,7 % (Tabelle 2 aus [1] und Tabelle 4, Seite 10). Dies obwohl der niedrigste Wert 1997 erreicht wurde und dann bis 1999 wieder ein Steigen um 7,5 % (Tabelle 17, Seite 36 bzw. Abbildung 11, Seite 19). Für die zum Teil schwankende Reduktion der spezifischen CO-Werte ist mitverantwortlich das Erarbeiten von feuerungstechnischer Erfahrung mit dem Einsatz von Ersatzbrennstoffen.

Bei den Halogenverbindungen zeigt sich eine steigende Tendenz bis zum Jahre 1994 um dann in eine fallende Tendenz überzugehen, die für fluorhaltige Verbindungen stärker ausgeprägt ist als für chlorhaltige. Der Verlauf für TOC ist bis 1993 ohne große Schwankungen, zeigt dann 1994 seinen tiefsten, 1997 seinen höchsten Wert, die jedoch keine extremen Ausreißer darstellen (Tabelle 20, Seite 39).

* Das im ersten Quartal 1993 geschlossene Werk der Perlmöoser Zementwerke AG in Peggau, welches mit zwei Schachtföfen jährlich ca. 120.000 t Zementklinker produzierte, ist im Zuge der Bestandsdarstellung im ersten Bericht 1995 [1] nicht erfaßt worden.

Ein uneinheitliches Bild zeigt sich bei den Spurenelementen. Für Cadmium und Blei ergibt sich ein ähnlicher Verlauf wie bei den Halogenverbindungen mit einem Höchstwert im Jahre 1994 und stark abnehmendem Verlauf bis 1999. Ein Gleiches gilt für Mangan, bei welchem der Höchstwert jedoch 1995 erreicht wurde. Bei Quecksilber, Nickel sowie Thallium und Beryllium ergeben sich sprunghafte Erhöhungen in 1994 (Hg, Ni) bzw. 1995 (Tl, Be), die dann etwas absinken, aber auf deutlich niedrigerem Niveau als vor dem Jahr des Höchstwertes liegen. Auch bei Arsen ist ab 1994/95 eine starke Erhöhung zu sehen, die 1998 zu einem Höchstwert führt. Selen zeigt bis 1996 keine großen Schwankungen, ab 1997 jedoch eine Steigerung. Ein stark schwankender Verlauf jedoch mit gleichbleibender Tendenz ist bei Chrom zu registrieren. Eine starke Absenkung der Werte ist bei Cobalt und Vanadium festzustellen, die, nach nur mäßigen Schwankungen bis 1993, ab 1994 dieses abgesenkte Niveau gehalten haben (Tabelle 21, Seite 40).

Die Anzahl der dargestellten Emissionskomponenten erfaßt auch solche die in der Zementverordnung 1993 [3] nicht enthalten sind. Diese Emissionskomponenten sind jedoch, mit Ausnahme von CO und Selen, in der Verbrennungsverordnung für gefährliche Abfälle 1999 § 10, die Mitverbrennung in Anlagen zur Zementerzeugung betreffend enthalten, in welche auch ein Emissionsgrenzwert für Dioxin/Furanverbindungen aufgenommen wurde.

Für jene Werke in welchen Ersatzbrennstoffe der Kategorie gefährliche Abfälle zur Verbrennung gelangen, sind von den Behörden anlagenspezifische Emissionsvorschriften beschieden worden. Da die Verbrennungsverordnung für gefährliche Abfälle für den Berichtszeitraum 1997 bis 1999 noch nicht relevant war, ist auf diesen Bereich noch nicht Bezug genommen worden. Die Erfassung der mit dieser Verordnung hinzugekommenen Schadstoffe zurück bis 1988 – ausgenommen Dioxin-/Furanverbindungen – ist jedoch aus Gründen der langfristigen Emissionsdokumentation sehr wertvoll.

Eine systematische Analyse der Gründe für den Verlauf der klinkerbezogenen Emissionsfaktoren der Spurenelemente - die Emissionsfaktoren für Zement zeigen einen sehr ähnlichen Verlauf - würde die genaue chemische Analyse aller eingesetzten Brennstoffe und Rohstoffe benötigen und weit über den vorgegebenen Rahmen dieses Berichtes hinausgehen. Die kommentierten Emissionsfaktoren sind Mittelwerte die aus Daten aller österreichischen Anlagen errechnet wurden. Ein Vergleich mit Emissionsgrenzwerten, die sich auf den Massenstrom pro Kubikmeter Abgas beziehen, ist daher nicht möglich. Als generelle Information wurde jedoch in Tabelle 5-12 (Seite 40) die Streubreite der Emissionskonzentrationen für die wichtigsten Schadstoffe aus den erfaßten Anlagen für 1999 angegeben.

Tabelle 20: Emissionsfaktoren (bezogen auf die Tonne Klinker) diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Zeitraum 1988 bis 1999

	Jahr	Emissionsfaktor							
		staubförmige Emissionen ⁽¹⁾ [g/t _{Kl}]	Stickstoff-oxide (als NO ₂) [g/t _{Kl}]	Schwefel-dioxid [g/t _{Kl}]	chlorhaltige Verbindungen (als HCl) [g/t _{Kl}]	fluorhaltige Verbindungen (als HF) [g/t _{Kl}]	org. Gesamtkohlenstoff [g/t _{Kl}]	Kohlen monoxid [g/t _{Kl}]	pyrogenes Kohlendioxid [g/t _{Kl}]
	1988	59,20	1.762,10	331,10	4,972	0,482	64,797	3.288,1	291.692,8
	1989	43,60	1.763,90	354,00	5,117	0,410	65,976	3.290,5	295.783,0
	1990	41,90	1.785,60	303,10	4,681	0,459	64,977	2.987,2	290.340,1
	1991	41,26	1.736,36	292,45	4,934	0,489	63,197	3.203,5	285.817,2
	1992	43,27	1.794,05	285,36	5,371	0,510	64,872	3.171,4	305.807,8
	1993	37,99	1.712,29	252,03	5,365	0,497	65,252	2.917,9	281.517,9
	1994	43,83	1.646,04	286,44	7,092	0,760	54,166	2.692,5	287.220,9
	1995	48,46	1.680,81	264,09	5,328	0,538	55,695	2.531,4	295.932,5
	1996	50,68	1.616,62	423,74	5,669	0,600	66,958	2.740,9	295.373,6
	1997	51,60	1.431,28	420,20	4,578	0,357	80,673	2.489,1	284.093,6
	1998	45,93	1.377,40	145,22	5,228	0,393	64,904	2.663,7	283.303,0
	1999	39,21	1.386,79	61,62	4,794	0,376	76,378	2.674,9	277.924,6
Mittelwert		45,58	1.641,10	284,95	5,261	0,489	65,654	2.887,6	289.567,2
davon									
Maximalwert	[%]	29,9	9,3	48,7	34,8	55,4	22,9	14,0	5,6
Minimalwert	[%]	-16,6	-16,1	-78,4	-13,0	-27,0	-17,5	-13,8	-4,0

⁽¹⁾ ohne Staubemissionen aus „sonstigen definierten Quellen“ (Zementverordnung §5 Z.3)

		Emissionsfaktor													
Jahr		Cadmium [g/t _{kl}]	Thallium [g/t _{kl}]	Beryllium [g/t _{kl}]	Arsen [g/t _{kl}]	Cobalt [g/t _{kl}]	Nickel [g/t _{kl}]	Blei [g/t _{kl}]	Quecksilber [g/t _{kl}]	Chrom [g/t _{kl}]	Selen [g/t _{kl}]	Mangan [g/t _{kl}]	Vanadium [g/t _{kl}]	Zink [g/t _{kl}]	
1988		0,010850	0,012563	0,001088	0,005083	0,040352	0,004649	0,026639	0,016671	0,008787	0,000250	0,062815	0,026883	0,135746	
1989		0,009756	0,008416	0,001100	0,005434	0,039454	0,004170	0,026467	0,018474	0,008533	0,000251	0,063891	0,027260	0,135020	
1990		0,011786	0,008994	0,001123	0,004850	0,041571	0,009517	0,030211	0,017113	0,013272	0,000263	0,063207	0,026992	0,131086	
1991		0,010485	0,010777	0,001062	0,004849	0,040376	0,004746	0,048503	0,017892	0,011595	0,000248	0,063974	0,030547	0,171135	
1992		0,007565	0,009524	0,001142	0,003147	0,043829	0,003178	0,040622	0,017411	0,006728	0,000248	0,063910	0,029359	0,150632	
1993		0,014423	0,011366	0,001139	0,006270	0,044584	0,003756	0,020212	0,017420	0,008481	0,000246	0,065626	0,026288	0,156624	
1994		0,022165	0,017425	0,004537	0,011624	0,035395	0,024937	0,056478	0,032381	0,009770	0,000248	0,077373	0,020163	0,118254	
1995		0,018142	0,027527	0,010247	0,020371	0,020442	0,016208	0,032686	0,026180	0,012312	0,000247	0,091876	0,020741	0,058615	
1996		0,016355	0,020387	0,008196	0,015767	0,017175	0,012197	0,048271	0,024256	0,009645	0,000247	0,075644	0,021178	0,081135	
1997		0,012475	0,024622	0,008682	0,022406	0,014871	0,012913	0,040766	0,029055	0,011457	0,000279	0,053768	0,018082	0,068568	
1998		0,004847	0,016045	0,005195	0,023240	0,007769	0,010372	0,033294	0,025388	0,008843	0,000280	0,052469	0,015115	0,083318	
1999		0,007026	0,017588	0,006316	0,021047	0,010004	0,012438	0,031209	0,027226	0,009897	0,000284	0,053215	0,016277	0,105060	
Mittelwert davon		0,012156	0,015436	0,004152	0,012007	0,029652	0,009923	0,036280	0,022456	0,009943	0,000258	0,065647	0,023236	0,116266	
Maximalwert	[%]	82,3	78,3	146,8	93,5	50,4	151,3	55,7	44,2	33,5	10,0	40,0	31,5	47,2	
Minimalwert	[%]	-60,1	-45,5	-74,4	-73,8	-73,8	-68,0	-44,3	-25,8	-32,3	-4,6	-20,1	-35,0	-49,6	

Tabelle 21: Emissionsfaktoren (bezogen auf die Tonne Klinker) diverser Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Zeitraum 1988 bis 1999

7 Zusammenfassung

Die österreichische Zementindustrie hat beispielgebend für andere Branchen der industriellen Produktion in Österreich, aber auch für die Zementindustrie in anderen Ländern der Europäischen Union es unternommen über ihre Emissionen in die Luft und den damit im ursächlichen Zusammenhang stehenden Produktions- und Betriebsdaten von unabhängiger dritter Seite Jahresbilanzen erstellen und kommentieren zu lassen. Mit dem hiermit vorliegenden dritten Bericht über die Jahre 1997, 1998 und 1999 liegt nun eine geschlossene Zeitreihe der Emissionsbilanzen von 1988 bis 1999, somit über 12 Jahre vor.

Der Bericht umfaßt die größten und wichtigsten Bereiche der Material- und Energieflüsse in der österreichischen Zementindustrie. Da die Daten kollektivierte Werte für die Gesamtheit der österreichischen Zementindustrie darstellen, sind sie jedoch nicht geeignet auf einzelne Werke und deren spezifische Daten umgelegt zu werden. Durch die in diesem Bericht erstmals erfolgte zusätzliche Erfassung der Mahlwerke und die der Zementverordnung folgende Erfassung der Staubemissionen auch aus „sonstigen definierten Quellen“ sowie des Verbrauches an elektrischer Energie, ist ein direkter Vergleich mancher Angaben mit den Daten der Berichte I und II nicht möglich [1,2].

Im vergangenen Dezennium hat die österreichische Zementindustrie aber auch eine zusätzliche, neue Funktion übernommen. Mit dem Einsatz von geeigneten Ersatzbrennstoffen aus dem Abfallbereich konnte durch deren thermische und teilweise auch stoffliche Verwertung im Bereich bestimmter Abfälle eine wichtige Entsorgungsfunktion übernommen werden. Mit der Verwertung von Sekundärrohstoffen und von Sekundärzumahlstoffen wurde diese Funktion in auch ökologisch wertvoller Weise abgerundet.

Zur Deckung des Bedarfes an thermischer Energie konnte der Anteil (GJ/a) an Ersatzbrennstoffen (Petrolkoks als konventioneller Energieträger bewertet) von 6,0 % in 1988 auf 28,8 % in 1999 angehoben werden. Dieser Anstieg bedeutet eine Einsparung an fossilen Brennstoffen im Äquivalentwert von 54.500 t Heizöl S. Der Anteil von Sekundärrohstoffen am Rohmehleinsatz blieb im zwölfjährigen Vergleichszeitraum bis 1997 ohne systematische Änderung in der Größenordnung von 1,1 % (1990) bis 1,7 % (1995) um 1998 auf 3,1 % und 1999 auf 5,6 % zu steigen. Bei den Sekundärzumahlstoffen für die Zementproduktion in Werken mit Ofenbetrieb ist der auf die Produktion bezogene Prozentsatz von 14,9 % (1988) nicht systematisch auf 17,4 % (1999) gestiegen.

Im Bereich der Emissionen sind besonders die starken Reduktionen für SO_2 und Staub, aber auch für NO_x und CO , die im Verlauf der Jahre 1988 bis 1999 erfolgten, anzuführen. Ein Trend ist am besten aus den Emissionsfaktoren ablesbar, da diese unabhängig von der jeweiligen Produktionsmenge eines Jahres sind. Der Emissionsfaktor Klinker für SO_2 konnte um 85,3 % reduziert werden. Für Staub konnte eine Absenkung des Emissionsfaktors Klinker um 33,8 % erreicht werden. Bei Stickoxiden erfolgte ab 1994 eine systematische Reduktion die 1999 gegenüber 1988 einen Wert von -21,3 % erreichte. Für Kohlenmonoxid ergibt sich eine Verringerung um 18,7 %. Ein uneinheitliches Bild ergibt sich bei den Spurenelementen. Eine systematische Analyse der Gründe für den stark unterschiedlichen Verlauf der klinkerbezogenen Emissionsfaktoren der Spurenelemente – die Emissionsfaktoren für Zement zeigen einen sehr ähnlichen Verlauf – würde die genaue chemische Analyse aller Brennstoffe und Rohstoffe benötigen und weit über den vorgegebenen Rahmen dieses Berichtes hinausgehen.

Die mengenmäßige und prozentuelle Steigerung des Einsatzes von Ersatzbrennstoffen, von Sekundärrohstoffen und von Sekundärzumahlstoffen ist ein wertvoller Beitrag der österreichischen Zementindustrie zur Schonung fossiler Brennstoffressourcen und von primären Rohstofflagerstätten. Damit verbunden ist die energetische und stoffliche Nutzung von gut geeigneten Abfall- und Reststoffen und damit ein Beitrag zum Vollzug des Abfallwirtschaftsgesetzes sowie zum Bemühen um eine nachhaltig orientierte Produktion.

8 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Anlagentechnische Kenndaten zu den österreichischen Zementwerken (Ofenlinie)	6
Tabelle 2:	Anzahl jener österreichischen Zementwerke, die über eine kontinuierliche Emissionsdatenerfassung (KMDE) verfügen	7
Tabelle 3:	Anzahl der in die Datenerfassung aufgenommenen Einzelmessungen der österreichischen Zementwerke mit eigener Klinkerproduktion für den Vergleichszeitraum 1997 bis 1999 (exklusive Werte aus der kontinuierlichen Meßdatenerfassung KMDE)	7
Tabelle 4:	Gesamtübersichtstabelle - Emissionen und Produktionsmittel der österreichischen Zementindustrie	10
Tabelle 5:	Anlagedaten, Produktionsdaten, Energieverbrauch, Einsatzmengen an Sekundärzumahlstoffen und emissionsrelevante Daten für österreichische Zementwerke ohne eigene Klinkerproduktion (Mahlwerke) für den Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999	24
Tabelle 6:	Produktionsdaten, Energieverbrauch, Einsatzmengen an Sekundärzumahlstoffen und emissionsrelevante Daten für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (inklusive Mahlwerke)	26
Tabelle 7:	Jahresvergleich diverser Kennwerte der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke)	28
Tabelle 8:	Spez. Energieeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Jahresvergleich	29
Tabelle 9:	Beitrag der konventionellen Energieträger (KET) und diverser Ersatzbrennstoffe (EBS) an der thermischen Energiegewinnung in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Jahresvergleich 1999 mit 1997	29
Tabelle 10:	Durch den Einsatz von Ersatzbrennstoffen im Jahr 1997 substituierte Menge an konventionellen Brennstoffen (Petrolkoks als Ersatzbrennstoff bewertet)	30
Tabelle 11:	Durch den Einsatz von Ersatzbrennstoffen im Jahr 1999 substituierte Menge an konventionellen Brennstoffen (Petrolkoks als Ersatzbrennstoff bewertet)	30
Tabelle 12:	Mengen an erneuerbaren Energieträgern die im Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999 in Anlagen der österreichischen Zementindustrie verfeuert wurden	30
Tabelle 13:	Einsatzmengen sekundärer Zumahlstoffe (SZM) der österreichischen Zementindustrie im Bilanzzeitraum 1997 bis 1999	31
Tabelle 14:	Anlagedaten, Produktionsdaten, Energieeinsatzmengen, Mengen an Sekundärzumahlstoffen und staubförmige Emissionen aus österreichischen Zementwerken ohne eigene Klinkerproduktion im Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999	32
Tabelle 15:	Emissionen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Bilanzzeitraum 1997 bis 1999 und ihre prozentuellen Änderungen in 1999 bezogen auf 1997	34
Tabelle 16:	Staubemissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Vergleichszeitraum 1997 bis 1999	35
Tabelle 17:	Die auf die Tonne Klinker bzw. auf die Tonne Zement bezogenen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für die Vergleichsjahre 1997 und 1999, sowie die prozentuellen Änderungen in 1999 bezogen auf 1997	36
Tabelle 18:	Streubreite der mittleren Emissionskonzentrationen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) berechnet für das Jahr 1999 (Bezugssauerstoffkonzentration: 10,0 Vol.-%, Grenzwerte nach [3])	36
Tabelle 19:	Kohlendioxidemissionen aus österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung im Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999	37
Tabelle 20:	Emissionsfaktoren (bezogen auf die Tonne Klinker) diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Zeitraum 1988 bis 1999	39
Tabelle 21:	Emissionsfaktoren (bezogen auf die Tonne Klinker) diverser Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Zeitraum 1988 bis 1999	40

9 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Werksstandorte der österreichischen Zementindustrie	5
Abbildung 2:	Rohmehleinsatz, Zement- bzw. Klinkerproduktion der österreichischen Zementindustrie von 1994 bis 1999	12
Abbildung 3:	Einsatzmengen wichtiger konventioneller Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie (1994 bis 1999)	12
Abbildung 4:	Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) und Ersatzbrennstoffanteil am pyrogenen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1994 bis 1999 (Petrolkoks wurde als Ersatzbrennstoff bewertet)	13
Abbildung 5:	Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) und Ersatzbrennstoffanteil am pyrogenen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1994 bis 1999 (Petrolkoks wurde als konventioneller Brennstoff bewertet)	14
Abbildung 6:	Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes (exklusive elektrischer Energieeinsatz) bzw. Darstellung des spezifischen CO ₂ -Emissionsmassenstroms und des spezifischen, trockenen Gesamtabgasnormvolumens (nicht auf 10,0 Vol.-% O ₂ bezogen) in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung jeweils für den Zeitraum 1994 bis 1999	15
Abbildung 7:	Einsatzmengen sekundärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 1994 bis 1999	16
Abbildung 8:	Spezifizierung der im Zeitraum von 1994 bis 1999 in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) verwendeten sonstigen sekundären Rohstoffmassenströme	17
Abbildung 9:	Einsatzmengen sekundärer Zumahlstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1994 bis 1999	18
Abbildung 10:	Jährliche Emissionen an Stickoxiden (als NO ₂), an Schwefeldioxid, an organischem Gesamtkohlenstoff und an Staub aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 1994 bis 1999	18
Abbildung 11:	Zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO ₂), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Klinker (1994 - 1999)	19
Abbildung 12:	Zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO ₂), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Zement (1994 - 1999)	19
Abbildung 13:	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 1994 bis 1999 (ohne Mahlwerke)	20
Abbildung 14:	Zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an Kohlendioxid und Kohlenmonoxid aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) jeweils für den Zeitraum 1994 bis 1999	20
Abbildung 15:	Emissionen diverser Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 1994 bis 1999	21
Abbildung 16:	Emissionen diverser Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 1988 bis 1993	22
Abbildung 17:	Entwicklung der pyrogenen und prozeßspezifischen Kohlendioxidemissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Bilanzzeitraum von 1997 bis 1999	23
Abbildung 18:	Mittlerer spezifischer Energieeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 1997 bis 1999	23
Abbildung 19:	Spezifischer elektrischer Energieeinsatz in den Mahlwerken der österreichischen Zementindustrie im Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999	25
Abbildung 20:	Energieeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (inklusive Mahlwerke) im Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999	27
Abbildung 21:	Staubförmige Emissionen unter Berücksichtigung von Staubemissionen aus "sonstigen definierten Quellen" für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (inklusive Mahlwerke) im Vergleichszeitraum von 1997 bis 1999	27
Abbildung 22:	Staubquellen in Anlagen der österreichischen Zementindustrie	34

10 Literaturverzeichnis

- [1] Hackl, A.; Mauschitz, G.: "Emissionen aus Anlagen der Österreichischen Zementindustrie I", Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H. Wien (1995) 48S.
- [2] Hackl, A.; Mauschitz, G.: "Emissionen aus Anlagen der Österreichischen Zementindustrie II", Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H. Wien (1997) 28S.
- [3] "63. Verordnung des Bundesministers für wirtschaftliche Angelegenheiten über die Begrenzung der Emission von luftverunreinigenden Stoffen aus Anlagen zur Zementerzeugung", Österreichisches Bundesgesetzblatt 31/1993 (29. 01. 1993)
- [4] „Energy for the future: renewable sources of energy“, COM (97) 599 final (26/11/97), Brussels (1997)
- [5] Ritter, M.; Ohr, B.; Gugele, B.: „Luftschadstoff-Trends in Österreich 1980 - 1998“, Umweltbundesamt Wien, Bericht BE-165, Wien (1999)

Herausgeber: Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H., A-1030 Wien, Reisnerstraße 53
im Auftrag der österreichischen Zementindustrie
Titelbild (U1): Copyright by Kirchdorfer Zementwerk Hofmann GmbH
Druck: Druckerei Hans Jentzsch & Co. Ges.m.b.H., A-1210 Wien, Scheydgasse 31