

# Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie

A. Hackl / G. Mauschitz



# Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie V

(Berichtszeitraum 2003 bis 2005)

Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. Ing. E.h. Albert Hackl

Zivilingenieur für Gas- und Feuerungstechnik

Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerd Mausnitz

Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und Technische Biowissenschaften, TU-Wien

Weitra / Wien, im Januar 2007

**Inhaltsverzeichnis**

	Seite
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
<b>2 Datenerfassung</b> .....	<b>2</b>
2.1 Erfaßte Schadstoffe und produktionsrelevante Daten .....	2
2.2 Erfassungszeitraum .....	3
2.3 Erfaßte Anlagen .....	3
2.4 Rechtliche Änderungen .....	4
<b>3 Datenermittlung und Datenverfügbarkeit</b> .....	<b>7</b>
<b>4 Ergebnisse, numerische und graphische Darstellung</b> .....	<b>10</b>
4.1 Produktionsstatistik .....	12
4.2 Brennstoffstatistik .....	14
4.3 Energiestatistik .....	17
4.4 Sekundärrohstoff- und Sekundärzumahlstoffstatistik .....	23
4.5 Emissionen .....	26
<b>5 Kommentierung der Ergebnisse</b> .....	<b>32</b>
5.1 Anlage- und Produktionsdaten .....	32
5.2 Energieeinsatz .....	32
5.2.1 Konventionelle Energieträger .....	33
5.2.2 Ersatzbrennstoffe .....	34
5.2.3 Elektrischer Energieeinsatz .....	35
5.3 Emissionen .....	35
5.3.1 Klassische Schadstoffe .....	35
5.3.2 Metallische Spurenelemente .....	37
5.3.3 Klimarelevante Schadgase .....	40
5.3.4 Emissionskonzentrationen .....	45
<b>6 Langjährige Entwicklung</b> .....	<b>46</b>
<b>7 Zusammenfassung</b> .....	<b>49</b>
<b>8 Tabellenverzeichnis</b> .....	<b>50</b>
<b>9 Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>51</b>
<b>10 Literaturverzeichnis</b> .....	<b>53</b>

## **1 Einleitung**

Der vorliegende Bericht über Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie umfaßt die Jahre 2003 bis 2005 und stellt den fünften Bericht dieser Art dar. Damit liegt eine geschlossene Reihe von Veröffentlichungen über fast zwei Jahrzehnte vor, in welchen die jährlichen Daten über die Emission von Luftschadstoffen sowie des Treibhausgases Kohlendioxid, die Einsätze an thermischer und elektrischer Energie, die Verwertung von Ersatzbrennstoffen, der Einsatz von Altstoffen in Form der sekundären Rohstoffe und der sekundären Zuschlagstoffe und damit der Entlastungsbeitrag im Bereich der Abfallwirtschaft, dokumentiert sind.

Die Summe dieses Datenmaterials stellt eine wichtige Orientierungshilfe für die Formulierung und Verfolgung von technischen und strategischen Zielen der österreichischen Zementindustrie dar. Diese Berichte leisten aber auch einen Beitrag bei der Erstellung nationaler und multinationaler Bilanzen und Berichten von Behörden und internationalen Organisationen. Die Kontinuität dieser Dokumentation ist ein hervorragendes Beispiel einer Branche der österreichischen Industrie für die Transparenz in wichtigen Gebieten der Ökologie und der Wirtschaft.

## 2 Datenerfassung

### 2.1 Erfasste Schadstoffe und produktionsrelevante Daten

Es wurden für 25 Schadstoffe bzw. Schadstoffgruppen Emissionsdaten erhoben. Darunter finden sich Emissionsangaben über

- klassische Luftschadstoffe,
- 16 metallische Spurenelemente,
- das klimarelevante Schadgas Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>).

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

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

Tabelle 2-1: erfasste Schadstoffe

Außerdem wurde die Emissionsbilanz um

- Produktionsdaten,
- Einsatzmengen an konventionellen Energieträgern,
- Einsatzmengen an Ersatzbrennstoffen,
- Angaben zum thermischen und elektrischen Energieverbrauch,
- Einsatzmengen an Sekundärrohstoffen und
- Einsatzmengen an Sekundärzumahlstoffen

ergänzt.

## 2.2 Erfassungszeitraum

Auftragsgemäß umfasst die Emissionsinventur die Bilanzjahre 2003, 2004 und 2005. Zu Vergleichszwecken wurden die ermittelten Daten um jene der Jahre 2000, 2001 und 2002 ergänzt. Mit dem nun vorliegenden fünften Bericht steht eine geschlossene Zeitreihe der Emissionsbilanzen von 1988 bis einschließlich 2005, somit über 18 Jahre zur Verfügung. Zurückliegende Detailergebnisse wurden in den Studien [1, 2, 3, 4] veröffentlicht.

## 2.3 Erfasste Anlagen

Die vorliegende Emissionsinventur umfasst alle österreichischen Zementwerke mit Klinkerproduktionsanlagen. Es wurden die folgenden neun Zementwerke mit Ofenbetrieb in die Bilanz aufgenommen:

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

Die geographische Lage der Werksstandorte der österreichischen Zementindustrie kann der folgenden Abbildung 2-1 entnommen werden. Bei den Standorten Lorüns, Eiberg und Kirchbichl handelt es sich nach Einstellung des Ofenbetriebes um Mahlwerke. Mahlwerke wurden nicht in die vorliegende Emissionsinventur aufgenommen.

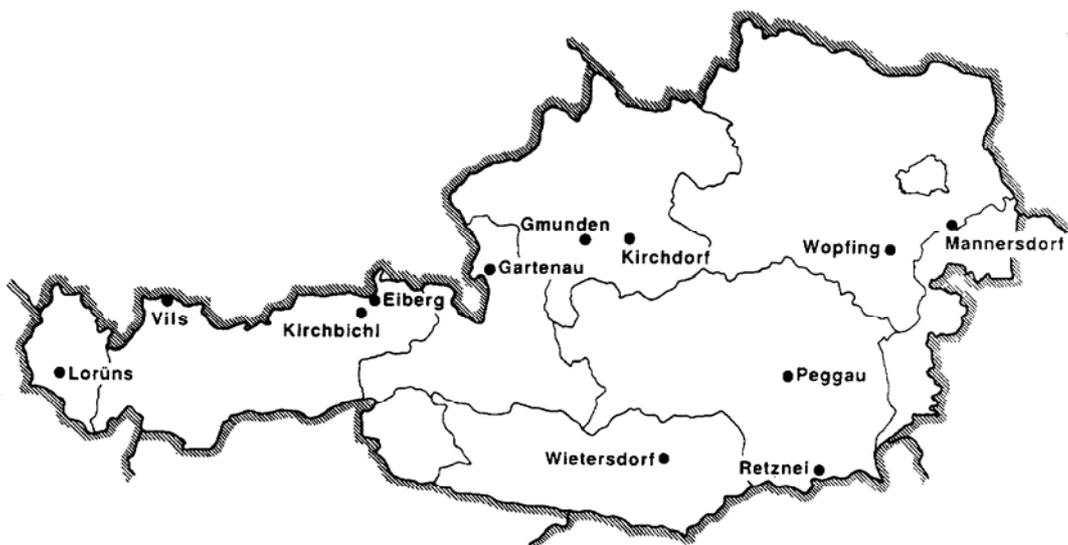


Abbildung 2-1: Werksstandorte der österreichischen Zementindustrie

## 2.4 Rechtliche Änderungen

Gegenüber der Berichtsperiode 2000 bis 2002 [4] hat sich für die nun behandelte Berichtsperiode 2003 bis 2005 die rechtliche Basis für den Betrieb von Zementerzeugungsanlagen geändert, wenn diese als Mitverbrennungsanlagen für Abfälle einzustufen sind.

Mit 01. November 2002 ist die Abfallverbrennungsverordnung (AVV) [5] in Kraft getreten. Mit dieser Verordnung werden eine Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der die Verordnung über die Verbrennung von gefährlichen Abfällen geändert, eine Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit, mit der die Verordnung über die Verbrennung gefährlicher Abfälle in gewerblichen Betriebsanlagen geändert, eine Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit, mit der die Luftreinhalteverordnung für Kesselanlagen 1989 geändert und eine Verordnung des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit, über Altöle (Altölverordnung 2002) geändert.

Die AVV zieht die in mehreren Verordnungen und Gesetzen aus zwei Ressorts enthaltenen rechtlichen Voraussetzungen für Abfallverbrennung zusammen und gibt der Materie eine neue Gliederung und rechtliche Behandlung. Im Bereich der Mitverbrennung wird gegliedert in (normale) Mitverbrennungsanlagen, Zementerzeugungsanlagen und Feuerungsanlagen. Für jede dieser drei Gruppen werden in Anlage 2 der AVV unterschiedliche Vorgaben für Emissionsgrenzwerte formuliert. Mitverbrennungsanlagen somit auch Zementerzeugungsanlagen haben der AVV ab 28. Dezember 2005 zu entsprechen, wobei für den Tagesmittelwert für Staub bei bestehenden Anlagen die Frist bis 31. Oktober 2007 erstreckt ist.

Komponente	HMW	HMW	TMW	TMW
	VVGA	AVV	VVGA	AVV
Staub	34	30	34	20 <sup>1)</sup>
TOC	50	10 <sup>3)</sup>	50	10 <sup>3)</sup>
TOC (ab 01.01.2002) <sup>2)</sup>	10		10	
HCL	10	10	10	10
HF	0,7	0,7	0,7	0,7
SO <sub>2</sub>	140 <sup>4)</sup>	50 <sup>5)</sup>	140	50
NO <sub>x</sub> für Neuanlagen	500	500	500	500
NO <sub>x</sub> für Altanlagen	800 <sup>6)</sup>	800	800 <sup>6)</sup>	800
NO <sub>x</sub> für Altanlagen (ab 31.10. 2007)		500		500

Symbolik:

- 1) Der Tagesmittelwert für staubförmige Emissionen von 20 mg/m<sup>3</sup> ist für bestehende Anlagen ab 31. Oktober 2007 einzuhalten, wobei bis 31. Oktober 2009 innerhalb eines Kalenderjahres nicht mehr als 3 v. H. der Beurteilungswerte den Emissionsgrenzwert überschreiten dürfen.
- 2) Eine Überschreitung dieses Grenzwertes, die nachweislich nicht durch die Verbrennung gefährlicher Abfälle verursacht wird, ist zulässig, wobei jedoch ein Wert von 50 mg/m<sup>3</sup> nicht überschritten werden darf.
- 3) Die Behörde kann für organisch gebundenen Kohlenstoff, der nachweislich nicht aus der Verbrennung von Abfällen entsteht (z.B. Emissionen auf Grund der Rohmaterialien), auf Antrag eine Ausnahme genehmigen, wobei jedoch ein Grenzwert von 120 mg/m<sup>3</sup> nicht überschritten werden darf.
- 4) Eine Überschreitung dieses Grenzwertes, die nachweislich durch sulfidhaltige Einschlüsse (insbesondere Eisensulfid in Form von Pyrit oder Markasit) im Rohmaterial verursacht wird, ist zulässig, wobei jedoch ein Wert von 400 mg/m<sup>3</sup> nicht überschritten werden darf.
- 5) Die Behörde kann für Schwefeldioxid, das nachweislich nicht aus der Verbrennung von Abfällen entsteht (z.B. Emissionen durch sulfidhaltige Einschlüsse im Rohmaterial) auf Antrag eine Ausnahme genehmigen, wobei jedoch ein Grenzwert von 350 mg/m<sup>3</sup> nicht überschritten werden darf.
- 6) Nach Maßgabe des § 19 Abs. 3 haben Altanlagen ab 01. Jänner 2007 einen Emissionsgrenzwert für Stickoxide von 500 mg/m<sup>3</sup> einzuhalten.

Tabelle 2-2: Vergleich Emissionsgrenzwerte Verordnung Verbrennung gefährlicher Abfälle (VVGA) und Abfallverbrennungsverordnung (AVV) (Werte in mg/m<sup>3</sup>, Bezugssauerstoffkonzentration: 10,0 Vol.-%)

Im vorliegenden Zusammenhang interessieren vor allem die in Anlage 2 für Zementerzeugungsanlagen neu festgesetzten Emissionsgrenzwerte. In Tabelle 2-2 sind diese Grenzwerte der AVV im Vergleich mit jenen Grenzwerten dargestellt, die in der Verordnung Verbrennung gefährlicher Abfälle (VVGA) [6] aufscheinen. Schärfere Grenzwerte betreffen, mit Ausnahmen der Halogene, die klassischen Schadstoffe. Unverändert geblieben sind die Grenzwerte für Halogene, die Spurenelemente und die Dioxin- / Furan - Verbindungen. Für CO wurde in der AVV der Behörde *expressis verbis* das Recht zur Vorschreibung eines selbst festzusetzenden Grenzwertes zuerkannt.

Eine Verschärfung hat sich im besonderen für SO<sub>2</sub> ergeben, sowie ab November 2007 für NO<sub>x</sub> und den TMW für Staub. Für Staub, organisch gebundenen Kohlenstoff und SO<sub>2</sub> werden auch Ausnahmen ermöglicht (siehe Tabelle 2-2). Die textliche Formulierung läßt jedoch, mit Ausnahme von Staub, offen, ob hierbei die Halbstunden- oder die Tagesmittelwerte gemeint sind.

Bei den kontinuierlich zu messenden Emissionskonzentrationen ist nun auch Quecksilber angeführt. Nicht mehr enthalten ist eine heizwertbezogene, im Monatsdurchschnitt zu berechnende Begrenzung des Chromgehaltes der zur Mitverbrennung kommenden Abfälle.

In Anhang 2 der AVV ist für die drei darin angeführten Gruppen von Mitverbrennungsanlagen ein starrer Wert für den Bezugssauerstoffgehalt der Emissionsgrenzwerte nur für Zementerzeugungsanlagen vorgeschrieben. Bei den beiden anderen Gruppen wird der Bezugssauerstoffgehalt nach dem Prinzip der Mischungsregel und unter Berücksichtigung der Art des Abfalls ermittelt.

Insgesamt ist mit der AVV die unbefriedigende rechtliche Situation der Mitverbrennung von Abfällen bereinigt worden und dem Stand der Technik folgend, Korrekturen bei ökologischen Inhalten vorgenommen worden.

Anlagenbetreiber	Standort	Anlagentechnik (31.12.2005)	Lieferant / Zustellung	Klinkerkühler (31.12.2005)	Entstaubung <sup>(1)</sup> (31.12.2005)	Brennstoffe <sup>(2)</sup> (im Bilanzzeitraum)	installierte Klinkerkapazität (01.01.2003) [t/Jahr]	installierte Klinkerkapazität (31.12.2005) [t/Jahr]	
Zementwerk Leube Ges.m.b.H.	Gartenau	2 vierstufige WT-DO, DOII mit Vorcalz.	KHD (DOI 1960, DOII 1967)	2 Schrägrostkühler	3 E-Filter	BK, Ö, G, R, K, SM, TM, TF	766.500	766.500	
Gmundner Zement Produktions- und Handels GmbH	Gmunden	5stufiger WT-DO	Polysius (DOIV 1972 / 92)	Satellitenkühler	2 E-Filter in Serie	SK, Ö, G, R, K, AÖ, LM, TF	512.000	512.000	
Kirchdorfer Zementwerk Hofmann Ges.m.b.H.	Kirchdorf	vierstufige WT-DO	KHD (DOII 1962)	Schrägrostkühler	2 E-Filter	SK, PK, G, SM, TM, HWF, R, K, KL	462.000	320.000	
Lafarge Perlmooser AG	Mannersdorf	2strang. 5stufig. WT-DO mit Vorcalz.	VOEST (DOIX 1984)	Rostkühler	3 E-Filter, DO mit Abreinigungsfilter	SK, PK, Ö, G, K, AÖ, TM, LR	809.000	809.000	
Wiiertsdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH	Peggau	Lepolverfahren 2 DO	Polysius (DOI 1961, DOII 1979)	2 Rostkühler	1 E-Filter, DO mit Abreinigungsfilter	SK, PK, G, K, AÖ, LM, TM, TF, KL	418.000	418.000	
Lafarge Perlmooser AG	Retznei	4stufiger WT-DO, SO <sub>2</sub> -Wäscher	Polysius (DOV 1967)	Rostkühler	2 E-Filter	SK, PK, Ö, R, K, AÖ, TM	439.000	439.000	
Schretter & Cie	Vils	4stufiger WT-DO (zus. 1 Lepolofen)	Polysius (DOI 1961, DOII 1973)	1 Rostkühler (zus. 1 Rostkühler)	2 E-Filter, DO mit Abreinigungsfilter	BK, Ö, R, K	256.000	256.000	
Wiiertsdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH	Wiiertsdorf	Lepolverfahren 1 DO (seit 12/05 5stufiger WT-DO mit Vorcalzinator)	Polysius (DOIII 1967) (2005)	Rostkühler	1 E-Filter, DO mit Abreinigungsfilter	SK, PK, G, K, TM, KL	360.000	360.000 ab 01/06 450.000	
Wopfinger Baustoffindustrie GmbH	Wopfing	5stufiger WT-DO mit Vorcalzinator	Polysius (1980) (1996)	Rostkühler	2 E-Filter in Serie und 1 Abreinigungsfilter	BK, Ö, G, P, K, TM, TF	240.000	360.000	
Symbolik: SK Steinkohle    G Erdgas    SM nicht kontam. Sägemehl BK Braunkohlenstaub    AÖS Altöl getränktes Sägemehl    TM Tiermehl LM Lösungsmittel    PK Petrolkoks    TF Tierfett K Kunststoffabfälle    R Altreifen    HWF heizwertreiche Fraktion P Papierfaserreststoff    Ö Heizöl (S)    LR landwirt. Rückstände AÖ Altöl (intern anfallendes und zugeliefertes)    KL Klärschlamm							<i>Summe</i>	4.262.500	4.240.500
				<sup>(1)</sup> Entstaubungsanlagen für Drehrohrabgase und für Kühlerabluft (bei Wärmetauscheröfen inkl. Rohmaterialtrocknungsanlagen)					
				<sup>(2)</sup> Einsatzbereich Ofenlinie					

Tabelle 2-3: anlagentechnische Kenndaten zu den österreichischen Zementwerken (Ofenlinie)

### 3 Datenermittlung und Datenverfügbarkeit

Wie in den vorangegangenen Studien [1, 2, 3, 4] erfolgte 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. Von den 25 in dieser Emissionsinventur erfaßten Schadstoffen bzw. Schadstoffgruppen wurden im Bilanzzeitraum 2003 bis 2005 in allen österreichischen Zementwerken staubförmige Emissionen, Stickstoffoxide und Schwefeldioxid kontinuierlich überwacht. Wurde 2003 in einem von neun Zementwerken Quecksilberemissionen kontinuierlich überwacht, war dies 2005 bereits in vier Zementwerken der Fall. In sieben von neun österreichischen Zementwerken wurden 2005 organische Gesamtkohlenstoff-, in sechs Zementwerken Kohlenmonoxidemissionen kontinuierlich überwacht.

		Anzahl von Werken die über KMDE verfügen		
IX	Emission	2003	2004	2005
		[-]	[-]	[-]
1	Staubförmige Emissionen	9 von 9	9 von 9	9 von 9
2	Stickstoffoxide (als NO <sub>2</sub> )	9 von 9	9 von 9	9 von 9
3	Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	9 von 9	9 von 9	9 von 9
11	Quecksilber (Hg)	1 von 9	2 von 9	4 von 9
19	org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	4 von 9	6 von 9	7 von 9
20	Kohlenmonoxid (CO)**	4 von 9	6 von 9	6 von 9
** alle Werke erfassen CO als Prozeßleitgröße nach dem Drehrohr				

Tabelle 3-1: Anzahl der österreichischen Zementwerke, die über eine kontinuierliche Emissionsdatenerfassung (KMDE) verfügen

Die Einzelmeß- bzw. Halbstundenmittelwerte wurden für jedes einzelne Werk zu mittleren Jahresemissionskonzentrationen zusammengefaßt. Die Bezugssauerstoffkonzentration wurde ordnungsgemäß [7] mit 10,0 Vol.-% O<sub>2</sub> berücksichtigt. Gemeinsam mit den durchschnittlichen, trockenen Abgasnormvolumenströmen (273,15 K; 101.326 Pa) errechnen sich für jeden einzelnen Schadstoff werkseigene Emissionsmassenströme und in Kenntnis der werkseigenen Jahresproduktion an Klinker bzw. Zement auf die Tonne Klinker bzw. auf die Tonne Zement bezogene, spezifische Emissionsmassenströme (werksspezifische Emissionsfaktoren).

Bei den nicht kontinuierlich erfaßten Emissionskonzentrationen metallischer Spurenelemente gehen jene Werte, die in den Prüfprotokollen als „unter der Nachweisgrenze liegend“ bezeichnet werden - im Sinne eines *worst case* Ansatzes - mit der Höhe der Nachweisgrenze in die Emissionsbilanz ein.

In jenen Positionen in welchen werksspezifische Daten in unzureichendem Maß vorlagen, mußten Analogieberechnungen in gleicher Weise wie in den Studien [1, 2, 3, 4] vorgenommen werden. Zu diesem Zweck wurde werksübergreifend für jeden in der Studie erfaßten Schadstoff alle verfügbaren Meßwerte (1988 bis 2005) 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 werksspezifischen Einzelwerte ermittelt, welche aufgrund der speziellen betrieblichen Einsatzstoffsituation Ausnahmefälle darstellten. Der gruppenspezifische Emissionsfaktor eines Schadstoffes fand für die Emissionsbilanzierung nur jener Produktionsanlagen Anwendung, die in der Vergangenheit keinerlei werksspezifische Analysen für den speziellen Schadstoff aufweisen konnten.

Tabelle 3-2 informiert über die Anzahl von Emissionseinzelmessungen (ohne Werte aus der kontinuierlichen Meßdatenerfassung) die nach Plausibilitätsprüfung in die Emissionsinventur aufgenommen wurden. Die Tabelle verdeutlicht, daß aufgrund der hohen verwertbaren Anzahl an Emissionsmessungen nur vereinzelt auf Analogiebetrachtungen bei der Ermittlung von werksspezifischen Emissionsfaktoren wie im Fall von Selen zurückgegriffen werden mußte. Vergleicht man die Gesamtanzahl der in die Emissionsinventur 2000 bis 2002 aufgenommenen Emissionsmessungen [4] von 1460 mit jener der Emissionsinventur 2003 bis 2005 von 1260, so zeigt sich ein Rückgang um ca. 14%.

x Emission	Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen
	2003	2003	2004	2004	2005	2005	2003-2005
	[-]	[%]	[-]	[%]	[-]	[%]	[-]
1 Staubförmige Emissionen	20	5,5	28	6,0	26	6,0	74
2 Stickstoffoxide (als NO <sub>2</sub> )	20	5,5	28	6,0	26	6,0	74
3 Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	21	5,7	29	6,3	23	5,3	73
4 Cadmium (Cd)	14	3,8	20	4,3	18	4,2	52
5 Thallium (Tl)	14	3,8	20	4,3	18	4,2	52
6 Beryllium (Be)	12	3,3	20	4,3	14	3,2	46
7 Arsen (As)	15	4,1	18	3,9	16	3,7	49
8 Cobalt (Co)	15	4,1	18	3,9	16	3,7	49
9 Nickel (Ni)	15	4,1	18	3,9	16	3,7	49
10 Blei (Pb)	15	4,1	18	3,9	18	4,2	51
11 Quecksilber (Hg)	21	5,7	22	4,8	28	6,5	71
12 Chrom (Cr)	14	3,8	16	3,5	12	2,8	42
13 Selen (Se)	1	0,3	2	0,4	1	0,2	4
14 Mangan (Mn)	12	3,3	14	3,0	10	2,3	36
15 Vanadium (V)	12	3,3	14	3,0	10	2,3	36
16 Zink (Zn)	12	3,3	10	2,2	14	3,2	36
26 Antimon (Sb)	12	3,3	14	3,0	12	2,8	38
27 Kupfer (Cu)	12	3,3	14	3,0	11	2,6	37
28 Zinn (Sn)	12	3,3	14	3,0	12	2,8	38
17 chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	16	4,4	22	4,8	20	4,6	58
18 fluorhaltige Verbindungen (als HF)	14	3,8	22	4,8	16	3,7	52
19 org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	25	6,8	29	6,3	32	7,4	86
20 Kohlenmonoxid (CO)	20	5,5	19	4,1	22	5,1	61
23+24 Kohlendioxid (CO <sub>2</sub> )	22	6,0	34	7,3	40	9,3	96
<i>Summe 1-24</i>	<i>[-]</i>	<b>366</b>	<b>463</b>		<b>431</b>		<b>1260</b>
	<i>[%]</i>	<b>29,05</b>	<b>36,75</b>		<b>34,21</b>		<b>100,00</b>

Tabelle 3-2: Anzahl der in die Datenerfassung aufgenommenen Einzelmessungen der österreichischen Zementwerke mit eigener Klinkerproduktion für den Vergleichszeitraum 2003 bis 2005 (exklusive Werte aus der kontinuierlichen Meßdatenerfassung KMDE)

Bei der vorliegenden Emissionsbilanzierung von leichtflüchtigen Schwermetallen, insbesondere von Quecksilber, Cadmium und Thallium, wurden neben den staubpartikelgebundenen Schwermetallemissionen auch gasförmige Emissionsanteile mitberücksichtigt.

Die Gesamtdarstellung der Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie erfolgte durch Addition der Emissionskennzahlen aller Betriebsstandorte, bei gleichzeitiger Wahrung der gewünschten Vertraulichkeit werksspezifischer Einzelwerte. Die Ermittlung der jährlichen Produktionsmengen, der jährlichen Mengen an Einsatzstoffen und des Jahresenergieeinsatzes erfolgte in gleicher Weise.

In der vorliegenden Emissionsinventur werden Staubemissionen aus "allen sonstigen definierten Emissionsquellen" [7] ausgewiesen. Sie umfassen definitionsgemäß alle Staubbefreiungen aus Anlagenteilen die den Einrichtungen zur Ofenabgasentstaubung vor- bzw. nachgeschaltet sind. So werden beispielsweise Staubemissionen von Brennstoff-, Rohmehl- und Zementmühlen ebenso erfaßt, wie Staubemissionen aus der

Rohmehlgranulierung, der Lagerung sowie der Verpackung, sofern diese nicht über die Hauptentstaubung der Ofenlinie miterfaßt wurden. Staubemissionen aus diffusen Quellen wie Winderosion an Halden und Fahrwegen, Schüttgutabwurf, usw. blieben in der Emissionsinventur unberücksichtigt. Aufgrund der ungenügenden Datenlage war eine Bilanzierung der im vorgelagerten Rohmaterialbergbau anfallenden Staubemissionen nicht möglich.

Die Zementverordnung [7] sieht eine Erfassung der Staubfreisetzungen aus „*allen sonstigen definierten Emissionsquellen*“ in Zeitintervallen von fünf Jahren vor. Lagen für den Bilanzzeitraum 2003 bis einschließlich 2005 keine aktuellen werkseigenen Zahlenwerte für diese Emissionskategorie vor, so wurden die zuletzt verfügbaren werksspezifischen Werte fortgeschrieben.

**4 Ergebnisse, numerische und graphische Darstellung**

In der nachfolgenden Tabelle 4-1 werden für alle österreichischen Zementwerke mit eigener Klinkererzeugung

- I Anlagedaten
- 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 und in den anschließenden Diagrammen graphisch aufbereitet.

Zwecks besserer Vergleichbarkeit wurden die Daten des Bilanzzeitraumes 2003 bis einschließlich 2005 mit den Daten des Bilanzzeitraumes 2000 bis einschließlich 2002 aus dem Bericht [4] ergänzt.

I Anlagendaten	
Anlagenzahl	Österreichweit waren 2005 (2002) 3 (3) Lepolöfen mit 778.000 (778.000), 5 (6) WT-DO mit 1.925.500 (2.067.500) sowie 3 (3) WT-DO + Kalzinator mit 1.537.000 (1.417.000) t/a betriebsbereit.
Klinkerkapazität / [t/a]	Mit der 2005 (2002) installierten Gesamtanlagenkapazität von ca. 4.240.500 t/a (ca. 4.262.500 t/a) wurden die unter II angeführten Jahresmengen produziert.

**GESAMTÜBERSICHT**

Bilanzjahr 2005

II Produktionsdaten		2000		2001		2002		2003		2004		2005	
Rohmehleinsatz	[t/a]	4.890.919		4.911.083		5.014.871		5.277.341		5.179.877		5.148.317	
Klinkerproduktion	[t/a]	3.052.974		3.061.338		3.118.227		3.274.067		3.222.802		3.221.167	
Zementproduktion	[t/a]	4.046.916		4.035.382		4.060.949		4.344.632		4.355.735		4.559.654	
Ofenbetriebsstunden <sup>a)</sup>	[h <sub>Of</sub> /a]	60.731,6		62.057,2		63.894,5		65.190,6		66.747,0		65.942,9	
Rohmehlfaktor	[t <sub>Rm</sub> /t <sub>kl</sub> ]	1,602		1,604		1,608		1,612		1,607		1,598	
(korrigierter*) Klinkerfaktor	[t <sub>kl</sub> /t <sub>za</sub> ]	0,754*	0,754	0,753*	0,759	0,750*	0,768	0,743*	0,754	0,731*	0,740	0,723*	0,706

III Konventionelle Energieträger (KET)		2000			2001			2002			2003			2004			2005																				
		Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]																		
A) Steinkohle		28,60	166.965	4.775.473	29,26	149.354	4.370.068	29,67	76.504	2.269.705	29,79	70.523	2.101.234	29,38	72.218	2.121.688	28,06	84.892	2.382.231																		
B) Braunkohlenstaub		21,85	35.023	765.330	21,74	38.855	844.654	21,71	62.908	1.365.483	21,91	69.786	1.528.787	22,17	62.551	1.386.474	22,18	65.410	1.450.888																		
C) Heizöl L (0,2 m% S)		41,61	749	31.166	41,66	715	29.787	41,70	919	38.322	41,74	546	22.780	41,75	1.107	46.220	41,70	1.151	48.014																		
D) Heizöl M (0,6 m% S)			0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	41,00	46	1.886																		
E) Heizöl S (1,0-3,5 m% S)		39,85	16.825	670.463	39,88	10.289	410.302	39,84	10.795	430.090	40,24	11.690	470.412	40,24	13.802	555.387	40,32	14.521	585.430																		
F) Erdgas <sup>b)</sup> / [1000m <sup>3</sup> (Vn)/a]; Hu / [MJm <sup>-3</sup> (Vn)]		36,32	13.437,573	488.039	36,30	11.342,645	411.701	36,30	10.734,983	389.732	36,30	9.003,704	326.819	36,01	8.809,435	317.199	36,01	5.919,937	213.168																		
J) Petrolkoks		32,73	10.367	339.363	31,62	8.648	273.420	30,64	51.882	1.589.776	31,55	50.089	1.580.439	33,20	57.147	1.897.123	29,87	45.519	1.359.475																		
G) sonstige (Heizöl EL, Anthrazit)			0	0		0	0		0	0	42,50	82	3.495	27,80	1.028	28.567	42,70	103	4.379																		
Summe KET		239.486			7.069.834			215.928			6.339.933			210.643			6.083.107			209.120			6.033.965			214.116			6.352.657			215.852			6.045.471		

IV Ersatzbrennstoffe (EBS)		2000			2001			2002			2003			2004			2005																				
		Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]																																	
H) Altreifen		26,44	33.675	890.272	26,43	32.596	861.410	26,39	31.958	843.266	26,47	32.060	848.467	26,81	27.784	744.935	26,55	32.929	874.174																		
I) Kunststoffabfälle		27,85	35.726	994.838	27,69	37.911	1.049.604	27,61	45.833	1.265.296	#NAME?	63.837	1.674.651	26,19	83.065	2.175.197	26,84	83.337	2.236.465																		
K) Altöl		36,65	27.794	1.018.531	36,27	26.437	958.891	36,23	30.017	1.087.639	36,70	30.057	1.103.025	36,97	28.370	1.048.923	36,63	26.701	977.984																		
L) Lösungsmittel		26,93	8.702	234.354	24,99	13.963	348.904	24,41	17.242	420.936	25,12	12.459	312.978	25,35	14.174	359.366	25,61	15.202	389.381																		
M) landwirtschaftliche Rückstände		15,96	9.500	151.620	15,96	6.973	111.289	15,96	4.762	76.002	16,44	8.684	142.744	17,19	7.226	124.229	18,04	4.907	88.522																		
N) Papierfaserreststoff <sup>(2)</sup>		2,80	40.794	114.223	2,80	41.170	115.276	2,70	42.768	115.474	5,60	28.420	159.152	5,10	31.171	158.972	4,89	34.162	167.104																		
O) sonstige		11,22	13.697	153.655	18,65	58.998	1.100.098	17,42	66.379	1.156.188	16,82	78.357	1.318.216	16,28	65.570	1.067.293	15,76	64.821	1.021.513																		
Summe EBS		169.888			3.557.492			218.048			4.545.473			238.959			4.964.800			253.874			5.559.233			257.360			5.678.915			262.059			5.755.144		

V Thermischer Energieeinsatz***		2000		2001		2002		2003		2004		2005	
a) Σ Energieeinsatz KET	[GJ/h <sub>Of</sub> ]	116,4		102,2		95,2		92,6		95,2		91,7	
b) Σ Energieeinsatz EBS	[GJ/h <sub>Of</sub> ]	58,6		73,2		77,7		85,3		85,1		87,3	
Summe a) u. b)	[GJ/h <sub>Of</sub> ]	175,0		175,4		172,9		177,8		180,3		179,0	
EBS-Anteil an (III+IV)	[%]	33,47		41,76		44,94		47,95		47,20		48,77	
spez. therm. Energieeinsatz	[GJ/t <sub>klinker</sub> ]	3,481		3,556		3,543		3,541		3,733		3,663	

VI Sekundärrohstoffe (SRS)		2000		2001		2002		2003		2004		2005	
diverse Schlacken **	[t/a]	16.112		46.126		31.179		33.224		29.935		27.886	
Gießereialtsand	[t/a]	38.139		30.861		33.048		35.313		35.397		45.197	
Summe SRS / sonstige SRS	[t/a]	255.686	201.435	294.259	217.271	293.020	228.793	303.574	235.036	318.541	253.209	309.985	236.901

VII Sekundärzumahlstoffe (SZS)			2000		2001		2002		2003		2004		2005	
Hochfenschlacke	[t/a]		569.047		495.159		497.710		577.937		598.048		657.113	
REA - Gips	[t/a]		58.629		48.841		43.380		42.038		41.308		56.281	
Flugasche	[t/a]		36.805		47.676		66.459		91.338		114.498		120.101	
Summe SZS / sonstige SZS	[t/a]		718.967	54.486	662.650	70.974	675.233	67.684	783.069	71.755	815.104	61.250	904.184	70.689

VIII Abgasparameter			2000		2001		2002		2003		2004		2005	
Bez.-O <sub>2</sub> / O <sub>2</sub> gemessen	[Vol.-%]		10,00	9,77	10,00	9,97	10,00	10,04	10,00	10,64	10,00	10,98	10,00	10,95
Abgasnormvolumen V <sub>(tr.,Vn,bez.)</sub>	[1000m <sup>3</sup> (Vn)/a]		6.488.494		6.526.858		6.778.573		6.873.594		7.087.052		7.093.925	

IX Emissionsrelevante Daten	2000			2001			2002			2003			2004			2005		
	E-faktor	Massenstrom	E-faktor															
	[g/t <sub>za</sub> ]	[t/a]	[g/t <sub>kl</sub> ]	[g/t <sub>za</sub> ]	[t/a]	[g/t <sub>kl</sub> ]	[g/t <sub>za</sub> ]	[t/a]	[g/t <sub>kl</sub> ]	[g/t <sub>za</sub> ]	[t/a]	[g/t <sub>kl</sub> ]	[g/t <sub>za</sub> ]	[t/a]	[g/t <sub>kl</sub> ]	[g/t <sub>za</sub> ]	[t/a]	[g/t <sub>kl</sub> ]
1 Staubförmige Emissionen <sup>(1)</sup>	28,27	114,416	37,48	18,67	75,350	24,61	17,21	69,889	22,41	11,71	50,882	15,54	11,92	51,942	16,12	13,98	63,746	19,79
2 Stickstoffoxide (als NO <sub>2</sub> )	995,50	4.028,712	1.319,60	957,34	3.863,221	1.261,94	1.047,86	4.255,300	1.364,65	1.022,91	4.444,178	1.357,39	1.049,36	4.570,735	1.418,25	940,76	4.289,529	1.331,67
3 Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	85,44	345,774	113,26	113,02	456,085	148,98	129,55	526,103	168,72	114,89	499,146	152,45	123,54	538,116	166,97	83,62	381,292	118,37
4 Cadmium (Cd)	0,005144	0,020818	0,006819	0,003134	0,012646	0,004131	0,001820	0,007389	0,002370	0,003708	0,016111	0,004921	0,003673	0,016000	0,004965	0,004757	0,021691	0,006734
5 Thallium (Tl)	0,011203	0,045338	0,014851	0,014238	0,057454	0,018768	0,014156	0,057488	0,018436	0,012212	0,053059	0,016206	0,013748	0,059883	0,018581	0,007542	0,034390	0,010676
6 Beryllium (Be)	0,005111	0,020682	0,006774	0,003665	0,014790	0,004831	0,002642	0,010729	0,003441	0,002548	0,011070	0,003381	0,002500	0,010889	0,003379	0,002354	0,010732	0,003332
Summe 4-6	0,021458	0,086839	0,028444	0,021036	0,084890	0,027730	0,018618	0,075607	0,024247	0,018469	0,080239	0,024508	0,019921	0,086772	0,026924	0,014653	0,066812	0,020742
7 Arsen (As)	0,013006	0,052635	0,017240	0,013954	0,056308	0,018393	0,013463	0,054671	0,017533	0,012193	0,052972	0,016179	0,014991	0,065298	0,020261	0,008536	0,038921	0,012083
8 Cobalt (Co)	0,005617	0,022732	0,007446	0,003457	0,013949	0,004556	0,002652	0,010769	0,003453	0,001173	0,005098	0,001557	0,003341	0,014552	0,004515	0,004559	0,020787	0,006453
9 Nickel (Ni)	0,011040	0,044676	0,014634	0,008585	0,034643	0,011316	0,008775	0,035636	0,011428	0,004642	0,020167	0,006160	0,006906	0,030079	0,009333	0,005322	0,024265	0,007533
10 Blei (Pb)	0,020510	0,083004	0,027188	0,018849	0,076061	0,024846	0,018724	0,076037	0,024385	0,008385	0,036432	0,011127	0,010229	0,044553	0,013824	0,011629	0,053026	0,016462
Summe 7-10	0,050173	0,203047	0,066508	0,044844	0,180962	0,059112	0,043614	0,177113	0,056799	0,026393	0,114669	0,035024	0,035466	0,154482	0,047934	0,030046	0,136999	0,042531
11 Quecksilber (Hg)	0,020245	0,081932	0,026837	0,026926	0,108656	0,035493	0,026238	0,106553	0,034171	0,028178	0,122424	0,037392	0,023323	0,101587	0,031521	0,025417	0,115894	0,035979
12 Chrom (Cr)	0,005872	0,023765	0,007784	0,005761	0,023249	0,007594	0,005044	0,020483	0,006569	0,005106	0,022182	0,006775	0,006363	0,027715	0,008600	0,006309	0,028768	0,008931
13 Selen (Se)	0,000282	0,001142	0,000374	0,000439	0,001773	0,000579	0,000219	0,000889	0,000285	0,000190	0,000824	0,000252	0,000402	0,001750	0,000543	0,000235	0,001071	0,000333
14 Mangan (Mn)	0,021357	0,086430	0,028310	0,019263	0,077735	0,025392	0,013821	0,056128	0,018000	0,007980	0,034672	0,010590	0,009920	0,043209	0,013407	0,010635	0,048490	0,015053
15 Vanadium (V)	0,007234	0,029276	0,009589	0,006973	0,028139	0,009192	0,007229	0,029356	0,009414	0,004517	0,019624	0,005994	0,005876	0,025594	0,007942	0,006011	0,027406	0,008508
16 Zink (Zn)	0,039257	0,158868	0,052037	0,027119	0,109437	0,035748	0,019082	0,077490	0,024851	0,021753	0,094510	0,028866	0,023110	0,100662	0,031234	0,023237	0,105954	0,032893
Summe 11-16	0,094248	0,381414	0,124932	0,086482	0,348990	0,113999	0,071633	0,290898	0,093290	0,067724	0,294235	0,089868	0,068993	0,300517	0,093247	0,071844	0,327583	0,101697
26 Antimon (Sb)	0,010332	0,041811	0,013695	0,009736	0,039290	0,012834	0,009920	0,040284	0,012919	0,012942	0,056226	0,017173	0,015807	0,068851	0,021364	0,009605	0,043795	0,013596
27 Kupfer (Cu)	0,005016	0,020298	0,006649	0,004575	0,018463	0,006031	0,004572	0,018567	0,005954	0,003541	0,015385	0,004699	0,006292	0,027405	0,008503	0,006493	0,029608	0,009192
28 Zinn (Sn)	0,011194	0,045303	0,014839	0,010620	0,042855	0,013999	0,010377	0,042140	0,013514	0,015623	0,067878	0,020732	0,009217	0,040149	0,012458	0,007240	0,033013	0,010249
Summe 26-28	0,026542	0,107412	0,035183	0,024931	0,100607	0,032864	0,024869	0,100991	0,032387	0,032106	0,139489	0,042604	0,031316	0,136405	0,042325	0,023339	0,106416	0,033036
Summe Spurenelemente (4-16)	0,165879	0,671300	0,219884	0,152363	0,614841	0,200841	0,133865	0,543618	0,174336	0,112586	0,489144	0,149400	0,124381	0,541771	0,168106	0,116543	0,531394	0,164970
Summe Spurenelemente (4-16 und 26-28)	0,192421	0,778712	0,255067	0,177294	0,715449	0,233705	0,158733	0,644609	0,206723	0,144692	0,628634	0,192004	0,155697	0,678176	0,210431	0,139881	0,637810	0,198006
17 chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	2,796	11,314	3,706	3,666	14,794	4,832	1,765	7,167	2,298	2,076	9,019	2,755	2,865	12,479	3,872	1,409	6,426	1,995
18 fluorhaltige Verbindungen (als HF)	0,380	1,537	0,503	0,300	1,211	0,396	0,209	0,850	0,273	0,196	0,851	0,260	0,151	0,659	0,204	0,174	0,795	0,247
19 org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	55,409	224,236	73,448	62,868	253,697	82,871	56,281	228,555	73,297	51,683	224,545	68,583	60,456	263,329	81,708	55,700	253,972	78,845
20 Kohlenmonoxid (CO)	1.824,9	7.385,136	2.419,0	1.872,2	7.555,233	2.468,0	1.733,4	7.039,254	2.257,5	1.972,6	8.570,318	2.617,6	2.071,3	9.021,994	2.799,4	1.708,5	7.790,340	2.418,5
23 pyrogenes CO <sub>2</sub>	231.835,6	938.219	307.313,2	236.323,5	953.656	311.515,9	240.443,8	976.430	313.136,3	241.130,8	1.047.625	319.976,6	244.748,6	1.066.060	330.786,8	223.926,2	1.021.026	316.973,9
24 CO <sub>2</sub> aus der Rohmehledecarbonatisierung	422.928,6	1.711.556	560.619,4	426.210,4	1.719.922	561.820,2	427.400,7	1.735.653	556.615,1	423.698,7	1.840.815	562.241,1	411.049,4	1.790.422	555.548,4	393.834,7	1.795.750	557.484,2
Summe 23 u. 24	654.764,1	2.649.776	867.932,5	662.533,9	2.673.577	873.336,1	667.844,5	2.712.083	869.751,4	664.829,5	2.888.440	882.217,7	655.798,0	2.856.482	886.335,2	617.760,8	2.816.776	874.458,2

<sup>(1)</sup> ohne Staubemissionen aus "sonstigen definierten Quellen" (Zementverordnung §5 Z.3) \* = Klinkerverbrauch/Zementproduktion \*\* Tincal als sonstiger SRS bilanziert \*\*\* alle Einsatzbereiche <sup>a)</sup> alle Betriebszustände <sup>b)</sup> ρ<sub>(F)</sub>=0,7112kg/m<sup>3</sup>

<sup>(2)</sup> seit 2003 geänderte Definition des Aufgabbezustandes

4.1 Produktionsstatistik

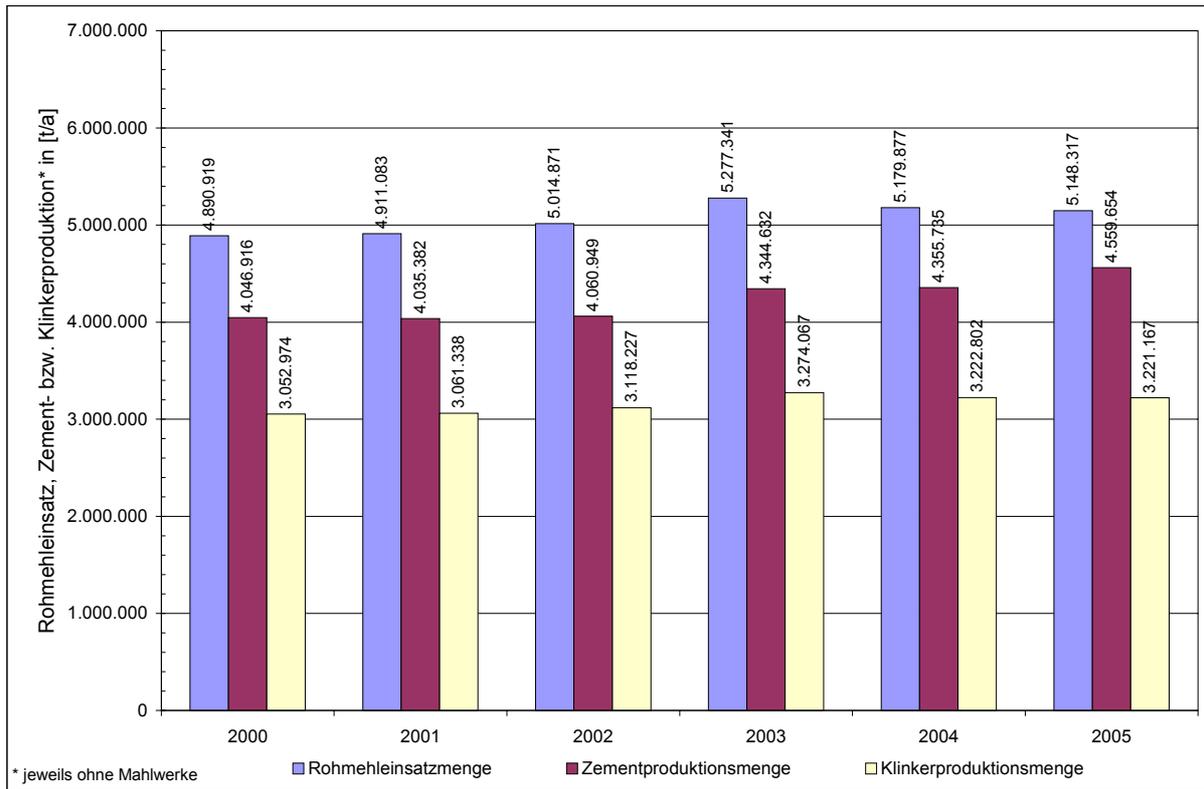


Abbildung 4-1: Rohmehleinsatzmenge, Klinkerproduktionsmenge und Zementproduktionsmenge der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 (ohne Mahlwerke)

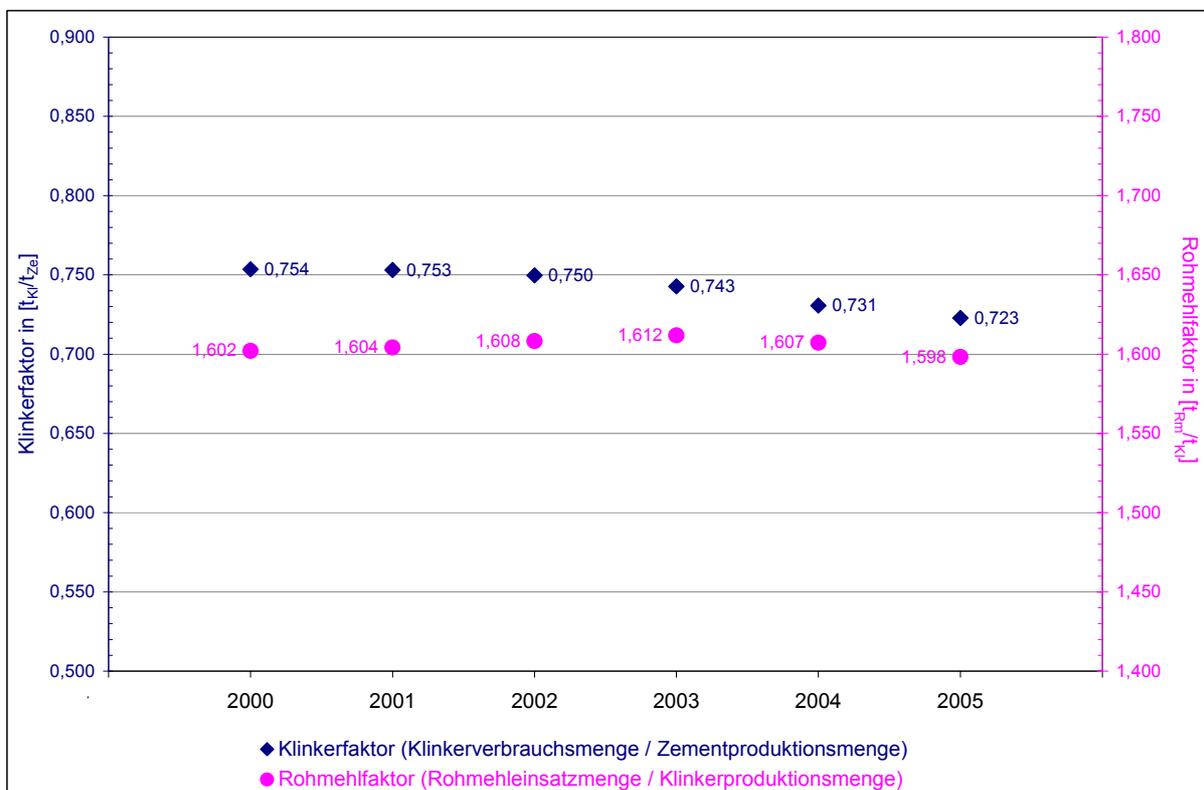


Abbildung 4-2: Klinkerfaktor und Rohmehlfaktor im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005

Im Bilanzjahr 2005 wurden in den neun österreichischen Zementwerken mit Ofenbetrieb aus ca. 5,15 Millionen Tonnen Rohmehl ca. 3,22 Millionen Tonnen Zementklinker erbrannt und zu annähernd 4,56 Millionen Tonnen Zement vermahlen. Im Jahresvergleich 2005 zu 2003 konnte die österreichische Zementproduktionsmenge um ca. 215.000 Jahrestonnen gesteigert werden, dies entspricht einer Erhöhung um fast fünf Prozent. Im gleichen Zeitraum verringerte sich die Klinkerproduktionsmenge von ca. 3,27 Millionen Jahrestonnen auf ca. 3,22 Millionen Jahrestonnen um ca. 1,6% während sich die Rohmehlmenge von ca. 5,28 auf ca. 5,15 Millionen Jahrestonnen um mehr als 2,4% verringerte (Abbildung 4-1). Bei einer um ca. 0,5% rückläufigen installierten Klinkerkapazität von 4.240.500 Jahrestonnen (Tabelle 2-3, Seite 6) verringerte sich die Branchenauslastung von 76,8% im Jahr 2003 auf 76,0% im Jahr 2005 um ca. 1,1%.

Der Klinkerfaktor gibt die je Tonne Zement vermahlene Klinkermenge an. Während im Jahr 2003 zur Produktion einer Tonne Zement 743 kg Klinker eingesetzt wurden, verwendete man 2005 723 kg Klinker, damit war im Bilanzzeitraum der Klinkerfaktor um 2,69% rückläufig (Abbildung 4-2).

Der Rohmehlfaktor gibt jene Menge an Rohmehl an die für die Produktion einer Tonne Zementklinker erforderlich ist. Im Bilanzjahr 2005 betrug die je Tonne Klinker erforderliche Rohmehlmenge 1.598 kg und war somit im Vergleich zu 2003 mit 1.612 kg um 0,87% rückläufig (Abbildung 4-2).

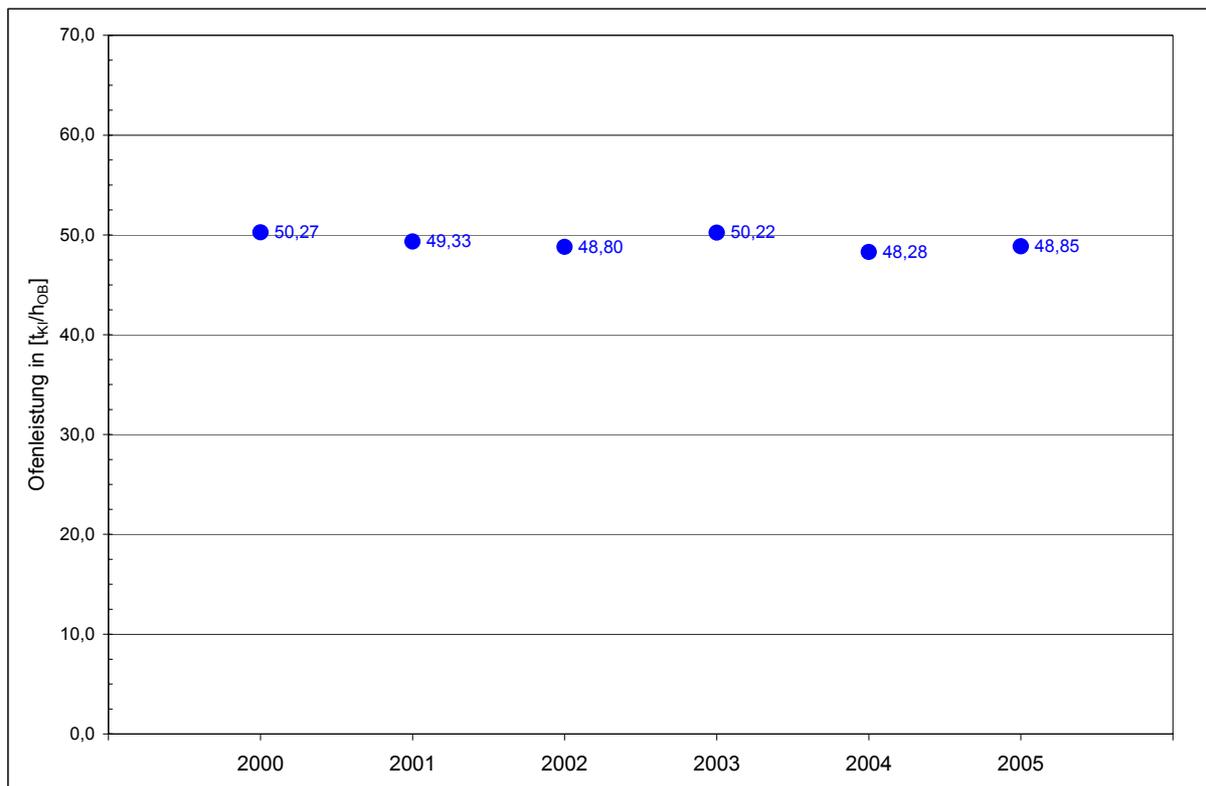


Abbildung 4-3: Entwicklung der Ofenleistung (Klinkerbrandfaktor) in den Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005

Im Jahresvergleich 2005 zu 2003, erhöhte sich die jährliche Ofenbetriebsstundenzahl (inklusive An- und Abfahrbetrieb) von 65.191 auf 65.943, um 1,15% (Tabelle 4-1, Seite 11). Bei gleichzeitig verringerter Klinkerproduktionsmenge um ca. 1,6%, reduzierte sich im Bilanzzeitraum die Ofenleistung von 50,22 t Klinker je Ofenbetriebsstunde um 2,74% auf 48,85 t Klinker je Ofenbetriebsstunde (Abbildung 4-3).

#### 4.2 Brennstoffstatistik

Während sich im Jahresvergleich 2005 zu 2003 die Einsatzmengen von Steinkohle um ca. 20,4% auf ca. 84.900 Jahrestonnen, von schwerem Heizöl um ca. 24,2% auf knapp mehr als 14.500 Jahrestonnen erhöhten, verringerten sich hingegen die Verbrauchsmengen an Petrolkoks um ca. 9,1% auf etwas mehr als 45.500 Jahrestonnen und an Braunkohlenstaub um fast 6,3% auf ca. 65.400 Jahrestonnen. Einem langjährigen Trend folgend, verringerte sich der Erdgasverbrauch in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von ca. 9 Millionen m<sup>3</sup> im Jahr 2003 auf ca. 5,9 Millionen m<sup>3</sup> im Jahr 2005, dies entspricht einem Rückgang von mehr als einem Drittel (Abbildung 4-4).

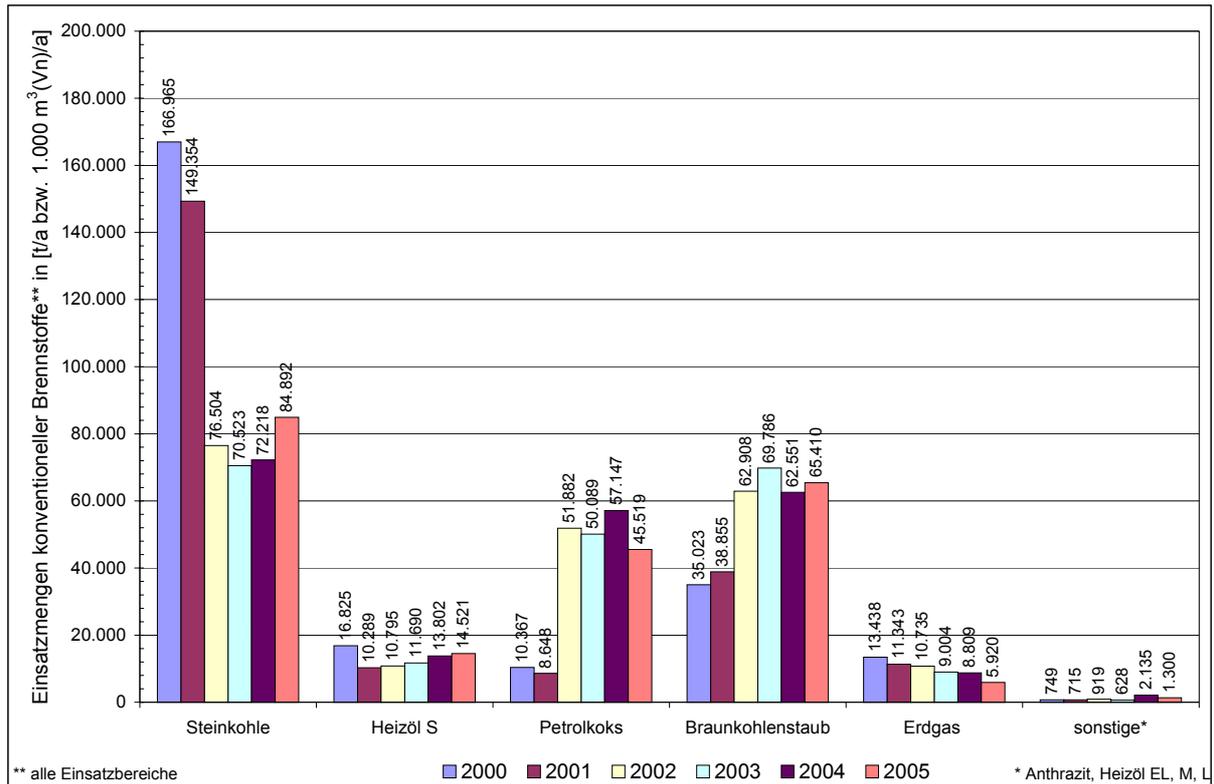


Abbildung 4-4: Einsatzmengen konventioneller Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005

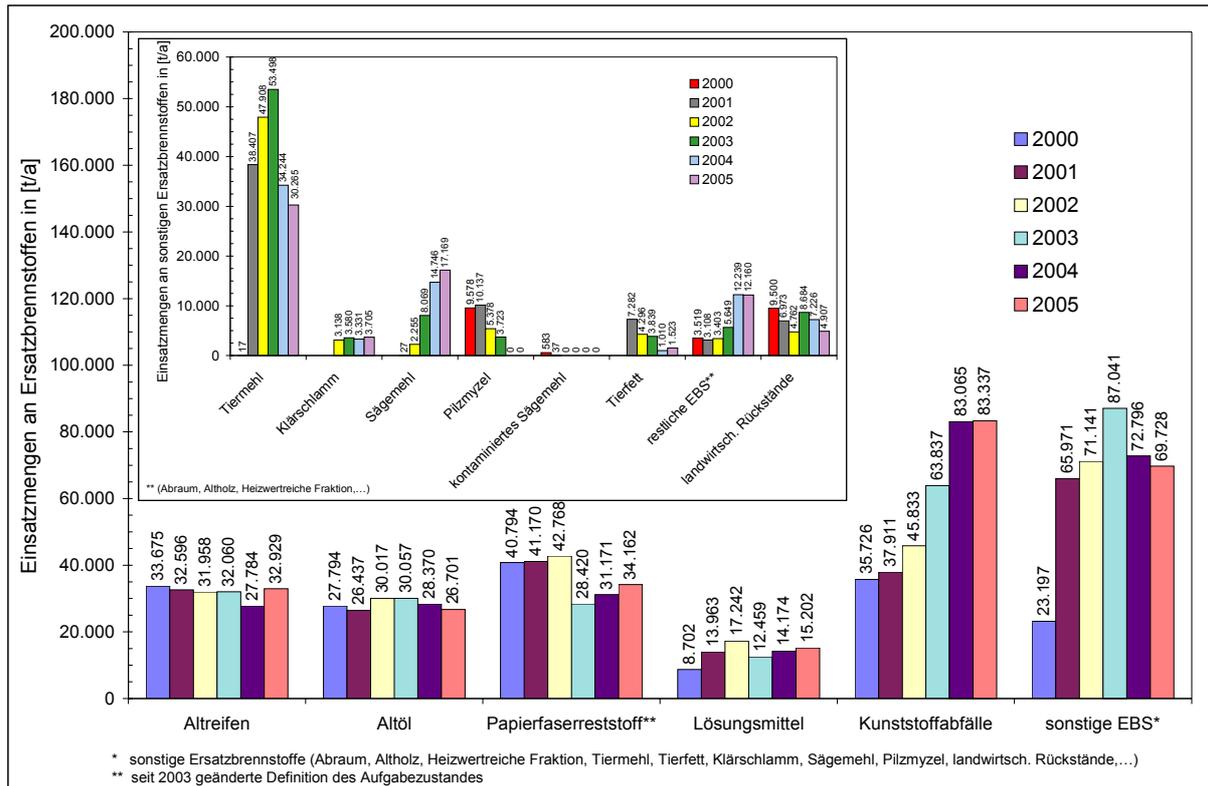


Abbildung 4-5: Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005

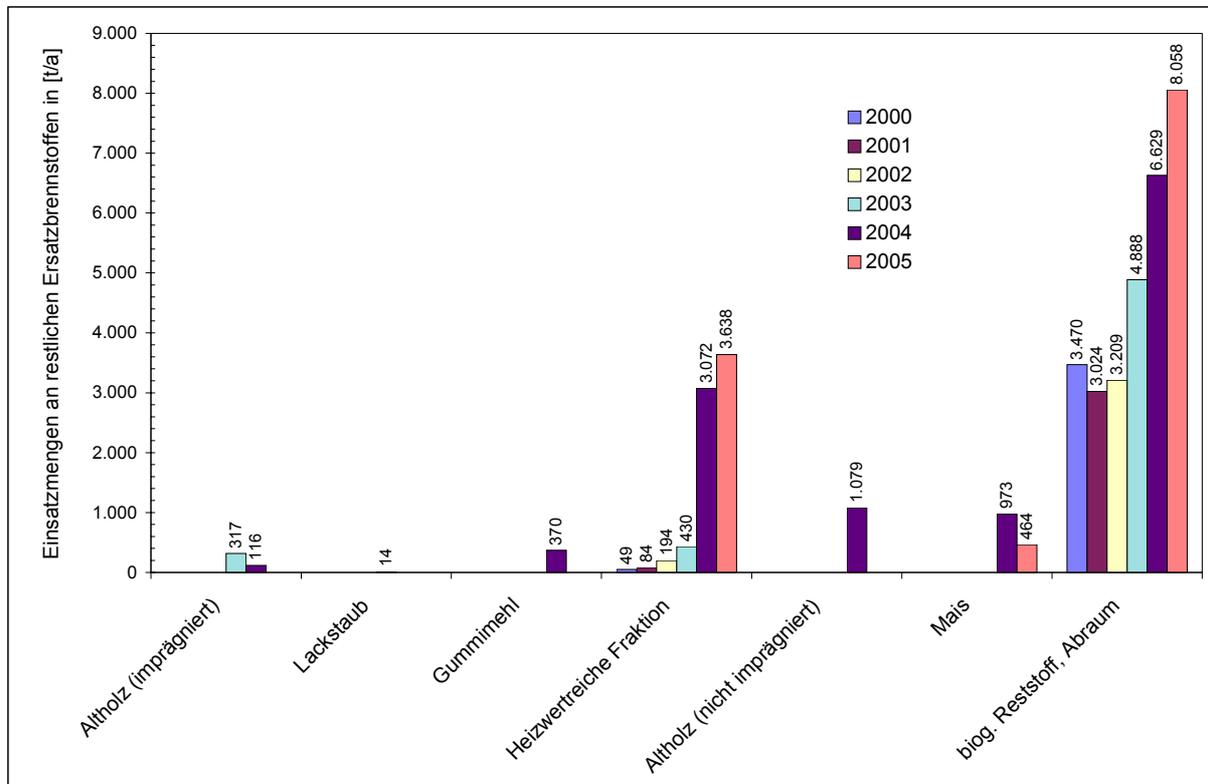


Abbildung 4-6: detaillierte Darstellung der Einsatzmengen an restlichen Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005

Die Statistik der Ersatzbrennstoffe zeigt im Bilanzzeitraum einen deutlichen Anstieg der verfeuerten Menge an Kunststoffabfällen (Abbildung 4-5). Wurde im Jahr 2003 ca. 63.800 Jahrestonnen verbrannt, so waren es 2005 mehr als 83.000 Jahrestonnen, gleichbedeutend einer Steigerung um ca. 30,5%. Der Anteil der aus der Verfeuerung von Kunststoffabfällen freigesetzten Brennstoffwärme am Gesamtwärmebedarf für den Klinkerbrand betrug im Jahr 2005 fast 19% und erzielt damit annähernd den gleichen Stellenwert wie konventionelle Steinkohle (ca. 20,2%), dem bedeutendsten thermischen Energieträger in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (Tabelle 4-1, Seite 11).

Die Menge an Altreifen, die in fünf von neun österreichischen Zementwerken in ganzstückiger oder geshreddeter Form verbrannt wurde, hat sich mit annähernd 33.000 Jahrestonnen nach einem starken Rückgang im Jahr 2004 (-13,3%) auf hohem Niveau stabilisiert.

Im Bilanzzeitraum verringerte sich die in vier Zementwerken verfeuerte Altölmenge um fast 3.400 t auf ca. 26.700 Jahrestonnen, dies entspricht ca. -11,2%.

In den zwei österreichischen Zementwerken in denen Lösungsmittelreste verbrannt wurden, war im Bilanzzeitraum 2003 bis 2005 ein Anstieg bei den thermisch behandelten Lösungsmittelmengen um annähernd 22% von fast 12.500 Jahrestonnen auf mehr als 15.200 Jahrestonnen zu verzeichnen.

Im Jahresvergleich 2003 zu 2005 erhöhte sich die verfeuerte Menge an Papierfaserreststoff um mehr als 20% von ca. 28.400 auf fast 34.200 Jahrestonnen. Aufgrund des seit 2003 hinsichtlich des Wassergehaltes veränderten Aufgabeszustandes des Papierfaserreststoffes sind die in Abbildung 4-5 ausgewiesenen Einsatzmengen für 2003 bis 2005 mit jenen der Vorjahre nicht vergleichbar.

Bei Tiermehl und Tierfett handelt es sich um zwei nur temporär erhältliche, biogene Ersatzbrennstoffe. Infolge geringerer Verfügbarkeit reduzierte sich im Bilanzzeitraum die Einsatzmenge an Tiermehl deutlich um ca. 43,4% auf ca. 30.300 Jahrestonnen, von Tierfett um ca. 60,3% auf knapp mehr als 1.500 Jahrestonnen.

Im Jahr 2005 wurden mit ca. 4.900 Jahrestonnen an Rückständen aus der Landwirtschaft um fast 43,5% weniger verfeuert als im Jahr 2003.

Im Bilanzzeitraum erweiterte sich die Palette der in Anlagen der österreichischen Zementindustrie verfeuerten Ersatzbrennstoffe um Klärschlamm und heizwertreiche Reststofffraktionen aus der Abfallaufbereitung.

### 4.3 Energiestatistik

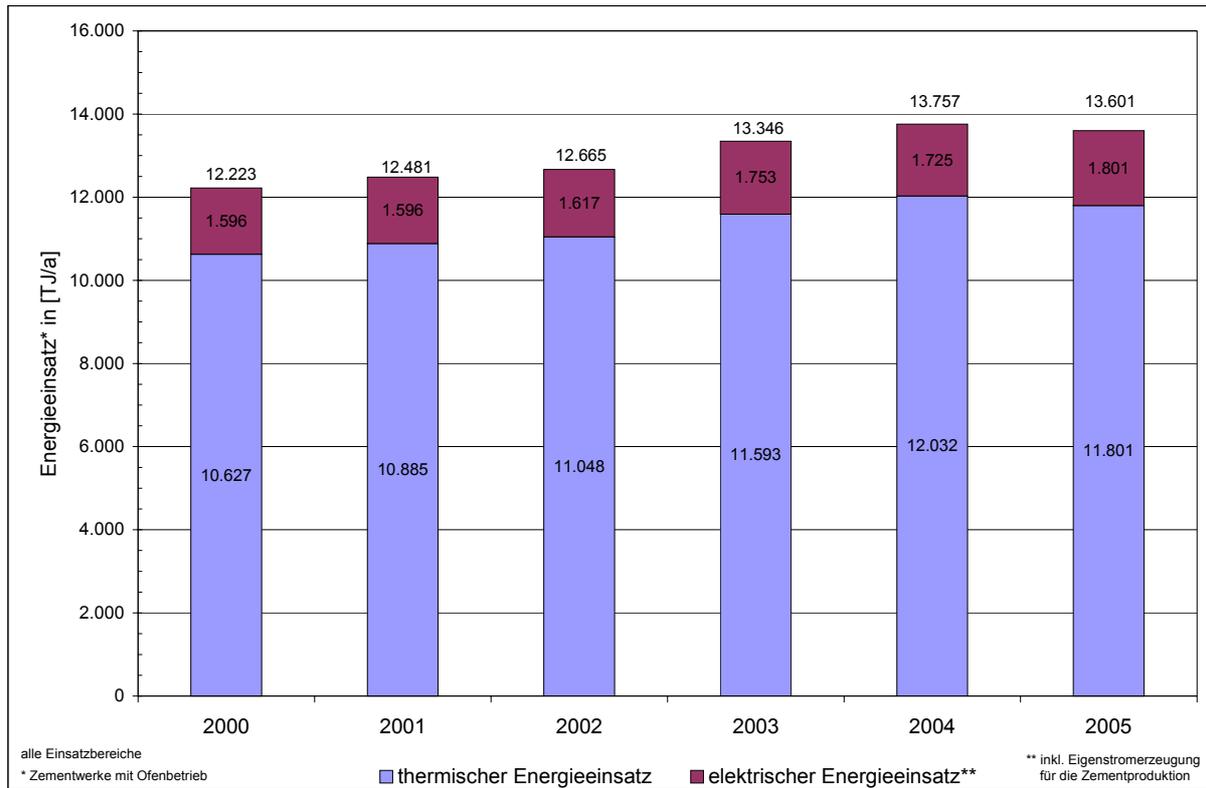


Abbildung 4-7: Entwicklung des thermischen und elektrischen Energieeinsatzes in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005

Der Gesamtenergieeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie setzt sich additiv aus dem Wärmebedarf pyrogener Anlagenteile und dem elektrischen Energieverbrauch zusammen. Im Bilanzjahr 2005 wurde ein Gesamtenergieeinsatz von 13.601 TJ verzeichnet (Abbildung 4-7). Davon entfielen 86,8% auf den thermischen 13,2% auf den elektrischen Energiebedarf. Der Gesamtenergieeinsatz war somit um ca. 1,9% höher als der im Jahr 2003. Während sich der Wärmebedarf von 11.593 TJ im Jahr 2003 um ca. 1,8% auf 11.801 TJ im Jahr 2005 erhöhte, nahm der elektrische Energieeinsatz von 1.753 TJ auf 1.801 TJ um ca. 2,7% zu.

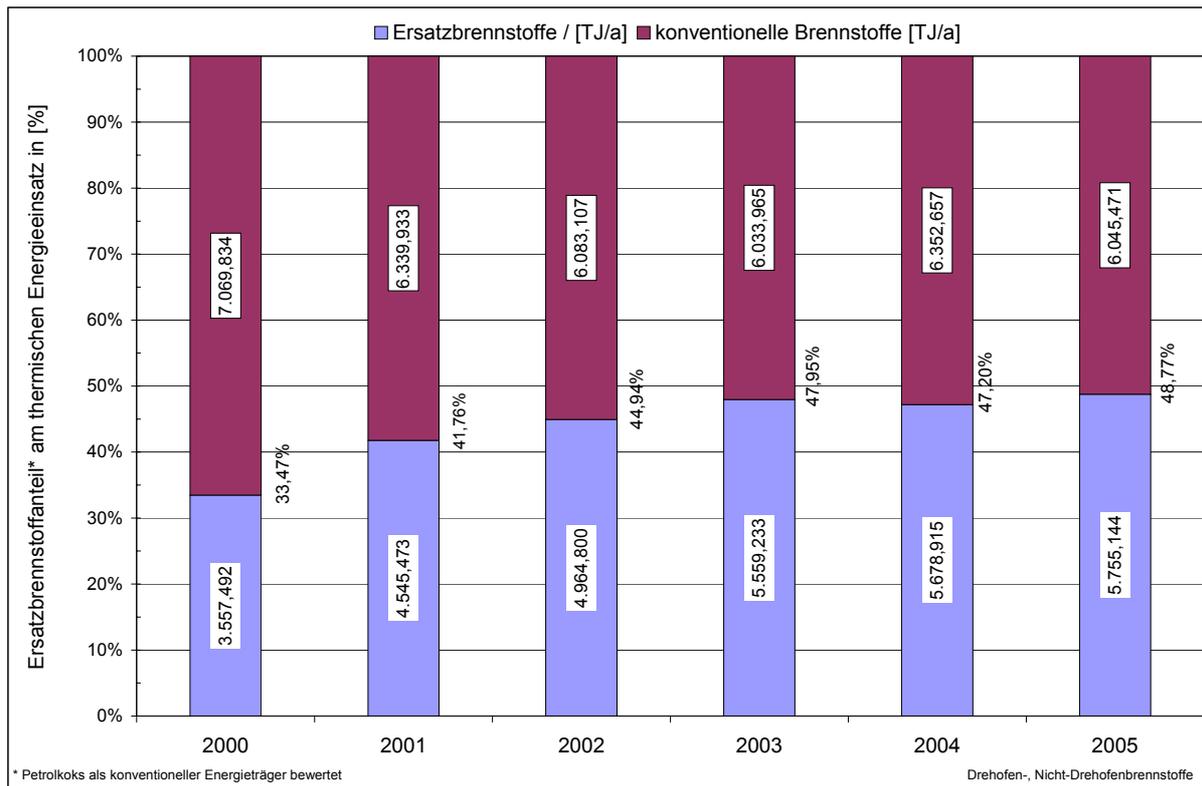


Abbildung 4-8: Ersatzbrennstoffenergieanteil am thermischen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 (Petrolkoks wurde als konventioneller, fossiler Energieträger bewertet)

Bewertet man Petrolkoks als konventionellen fossilen Energieträger so wurde im Bilanzjahr 2005 vom Gesamtwärmebedarf von 11.801 TJ, ca. 48,8% durch das Verfeuern von Ersatzbrennstoffen aufgebracht (Abbildung 4-8). Somit erhöhte sich seit 2003 der Anteil, der durch Ersatzbrennstoffe erzeugten Wärmemenge am Gesamtwärmebedarf (Substitutionsgrad) um ca. 0,8 Prozentpunkte, dies entspricht einer geringfügigen Steigerungsrate von ca. 1,7%. Im Bezug auf das Bilanzjahr 2003 war in 2004 zwar ein mengenmäßiger Anstieg des Ersatzbrennstoffeinsatzes von ca. 1,4% auf mehr als 257.000 Jahrestonnen feststellbar (Tabelle 4-1, Seite 11), dessenungeachtet ging jedoch der Substitutionsgrad in 2004 erstmals um 0,8 Prozentpunkte von ca. 48% auf ca. 47,2% zurück.

Im Bilanzzeitraum erhöhte sich zunächst der auf die Tonne Klinker bezogene spezifische Brennstoffenergieeinsatz von 3.541 MJ im Jahr 2003 um 192 MJ oder ca. 5,4% auf 3.733 MJ im Jahr 2004, der auf die Tonne Zement bezogene Kennwert stieg um 94 MJ oder ca. 3,5% auf 2.762 MJ (Abbildung 4-9). Im Folgejahr verringerten sich die spezifischen Brennstoffenergieeinsätze. Im Jahresvergleich 2005 zu 2003 erhöhte sich der klinkerbezogene spezifische Energieeinsatz um fast 3,5% auf 3.663 MJ je Tonne Klinker, während sich der zementbezogene Kennwert um fast 3% auf 2.588 MJ je Tonne Zement verringerte.

Abbildung 4-10 verdeutlicht, daß im Jahresvergleich 2005 zu 2003 der mittlere Heizwert des in der österreichischen Zementindustrie eingesetzten Ersatzbrennstoffgemisches mit 21,96 MJ je kg nahezu unverändert blieb. Hingegen verringerte sich der mittlere Heizwert des Einsatzgemisches an konventionellen Brennstoffen von 28,85 MJ je kg um ca. 2,9% auf 28,01 MJ je kg. Nachdem die konventionellen Energieträger den größeren Anteil vom Gesamtwärmebedarf abdecken, verschlechterte sich infolge der mittlere Heizwert des Gesamtbrennstoffmix von 25,04 MJ je kg um ca. 1,4% auf 24,69 MJ je kg.



Abbildung 4-9: auf die Tonne Zement bzw. auf die Tonne Klinker bezogener spezifischer Brennstoffenergieeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005

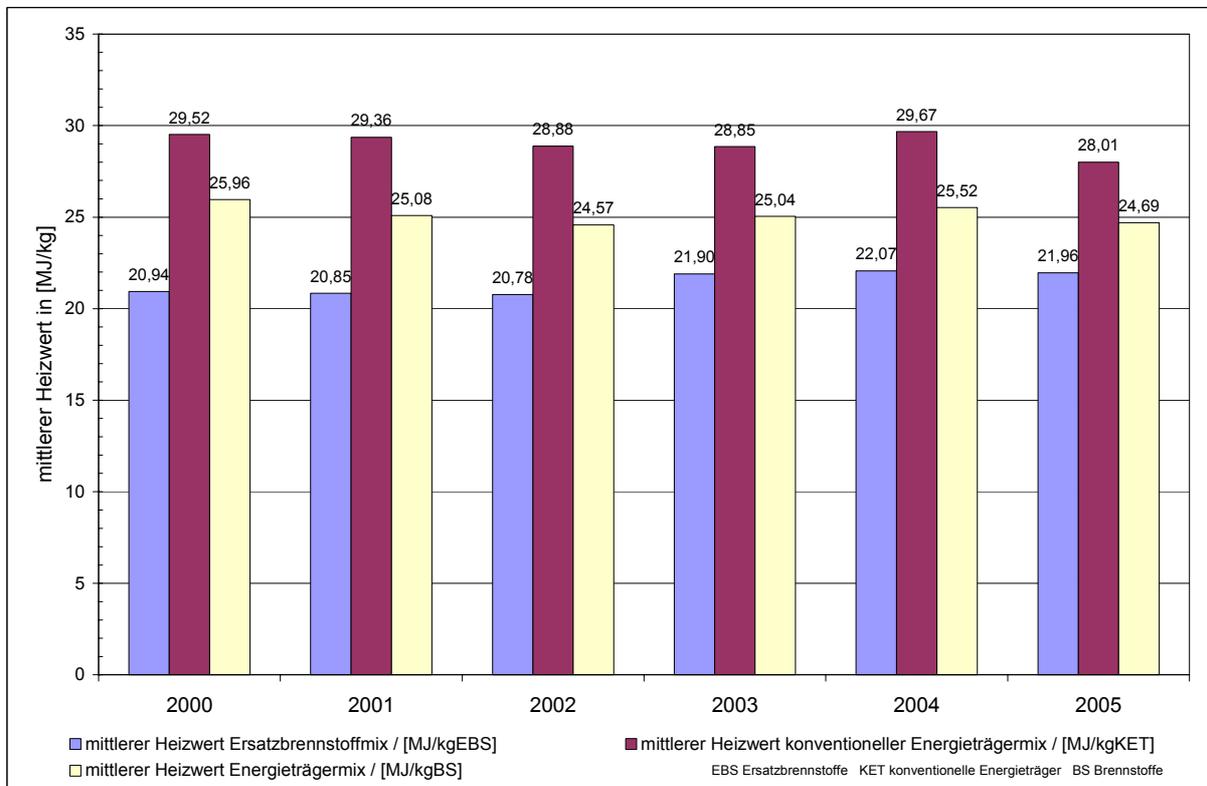


Abbildung 4-10: mittlere Heizwerte der in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 eingesetzten Einsatzgemische an Brennstoffen (BS) unterteilt in konventionelle Energieträger (KET) und in Ersatzbrennstoffe (EBS)

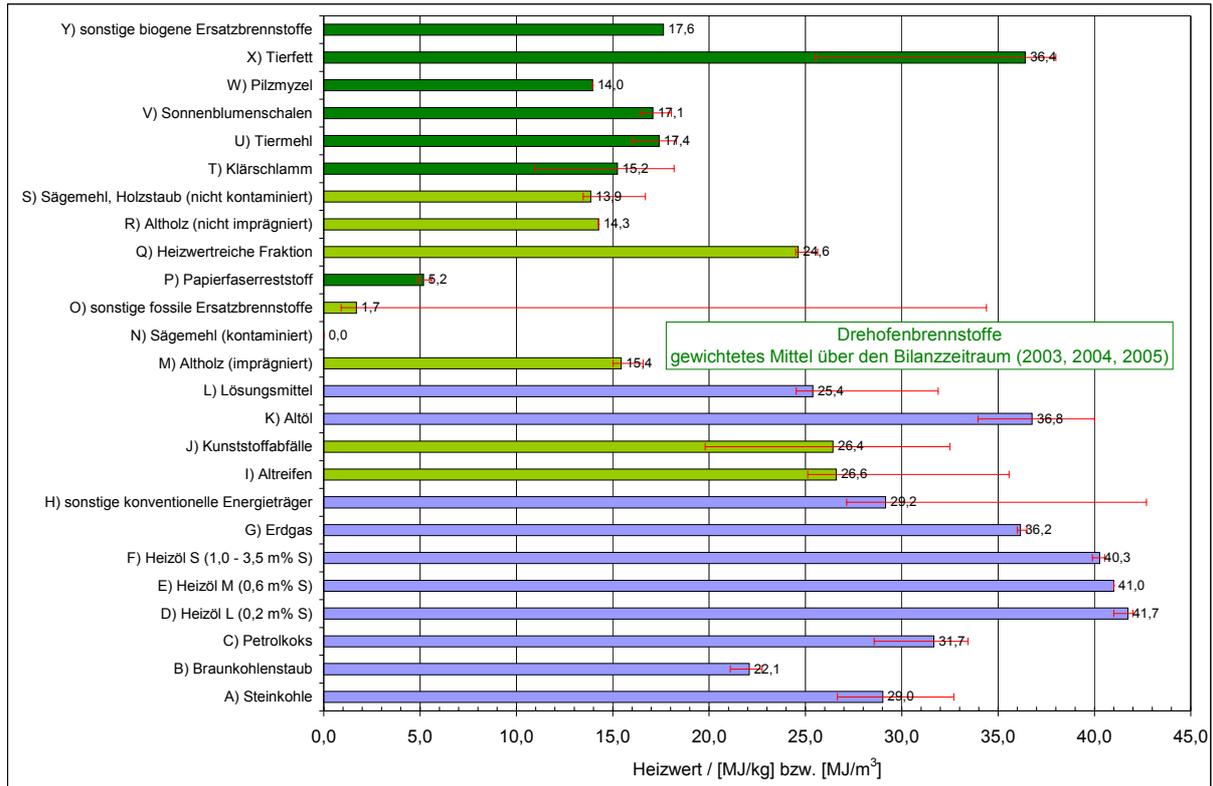


Abbildung 4-11: über den Bilanzzeitraum 2003, 2004 und 2005 mengengewichtete Mittelwerte von Heizwerten unterschiedlicher Drehofenbrennstoffe (im Einsatzzustand) mit werkspezifischen Minimal- und Maximalwerten

Abbildung 4-11 zeigt die über den Bilanzzeitraum 2003 bis 2005 mengengewichteten Mittelwerte der Heizwerte von Drehofenbrennstoffen im Einsatzzustand. Als Spreizung sind werkspezifische Minimal- und Maximalwerte aus den Jahren 2003, 2004 bzw. 2005 angegeben. Größere Heizwertschwankungen sind in erster Linie auf die uneinheitlicheren Zusammensetzungen bei den Ersatzbrennstoffen i.e. Altreifen, Lösungsmittel, Altöl und Kunststoffabfällen zurückführbar.

Der mittlere auf die Tonne Zement bezogene spezifische Gesamtenergieeinsatz, der sowohl den Wärmebedarf als auch den elektrischen Energieeinsatz für die Produktion einer Tonne Zement umfaßt, verringerte sich von 3,072 GJ im Jahr 2003 um ca. 2,9% auf 2,983 GJ im Jahr 2005 (Abbildung 4-12).

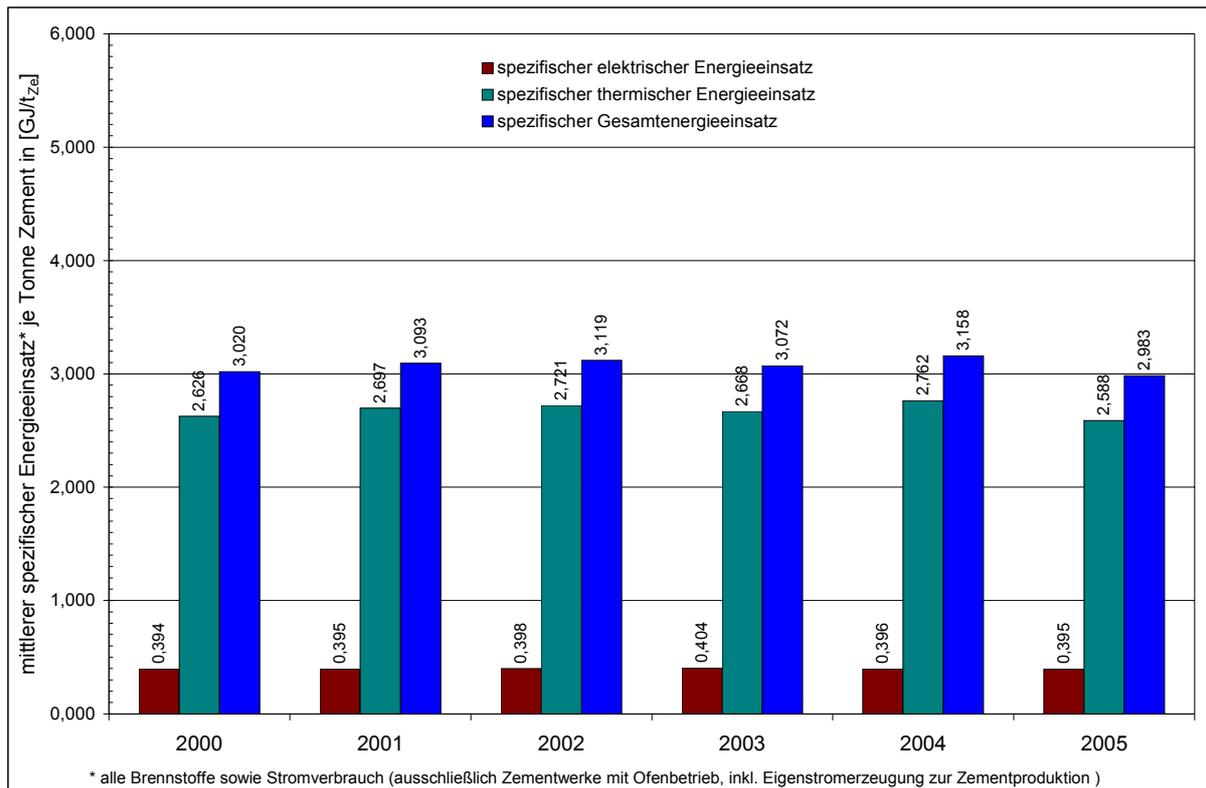


Abbildung 4-12: mittlerer spezifischer Energieeinsatz je Tonne Zement in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 2000 bis 2005

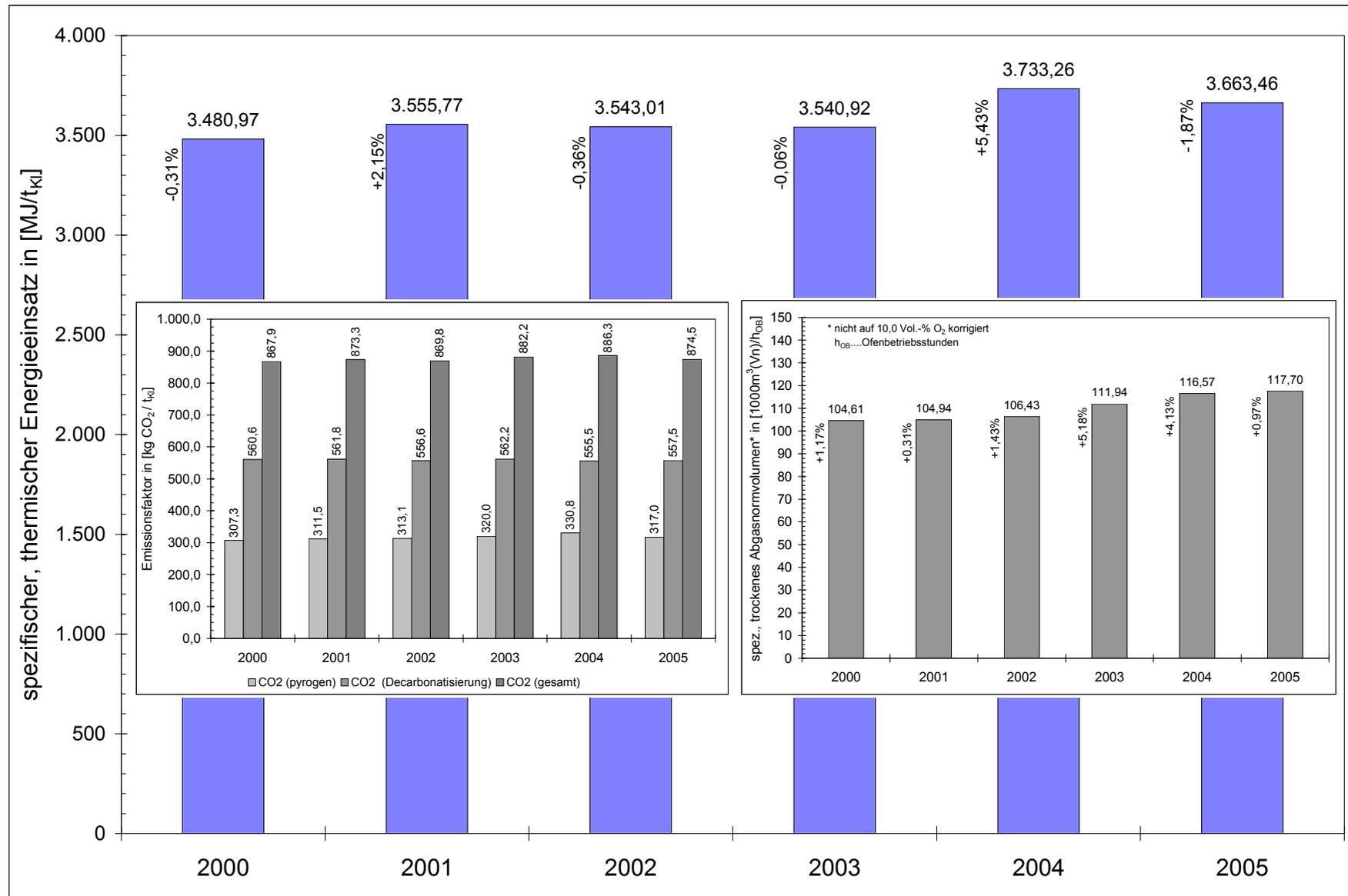


Abbildung 4-13: Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes (exklusive elektrischer Energieeinsatz) bzw. Darstellung des spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionsmassenstroms und des spezifischen, trockenen Gesamtabgasnormvolumens (nicht auf 10,0 Vol.-% O<sub>2</sub> bezogen) in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung jeweils für den Zeitraum 2000 bis 2005

4.4 Sekundärrohstoff- und Sekundärzumahlstoffstatistik

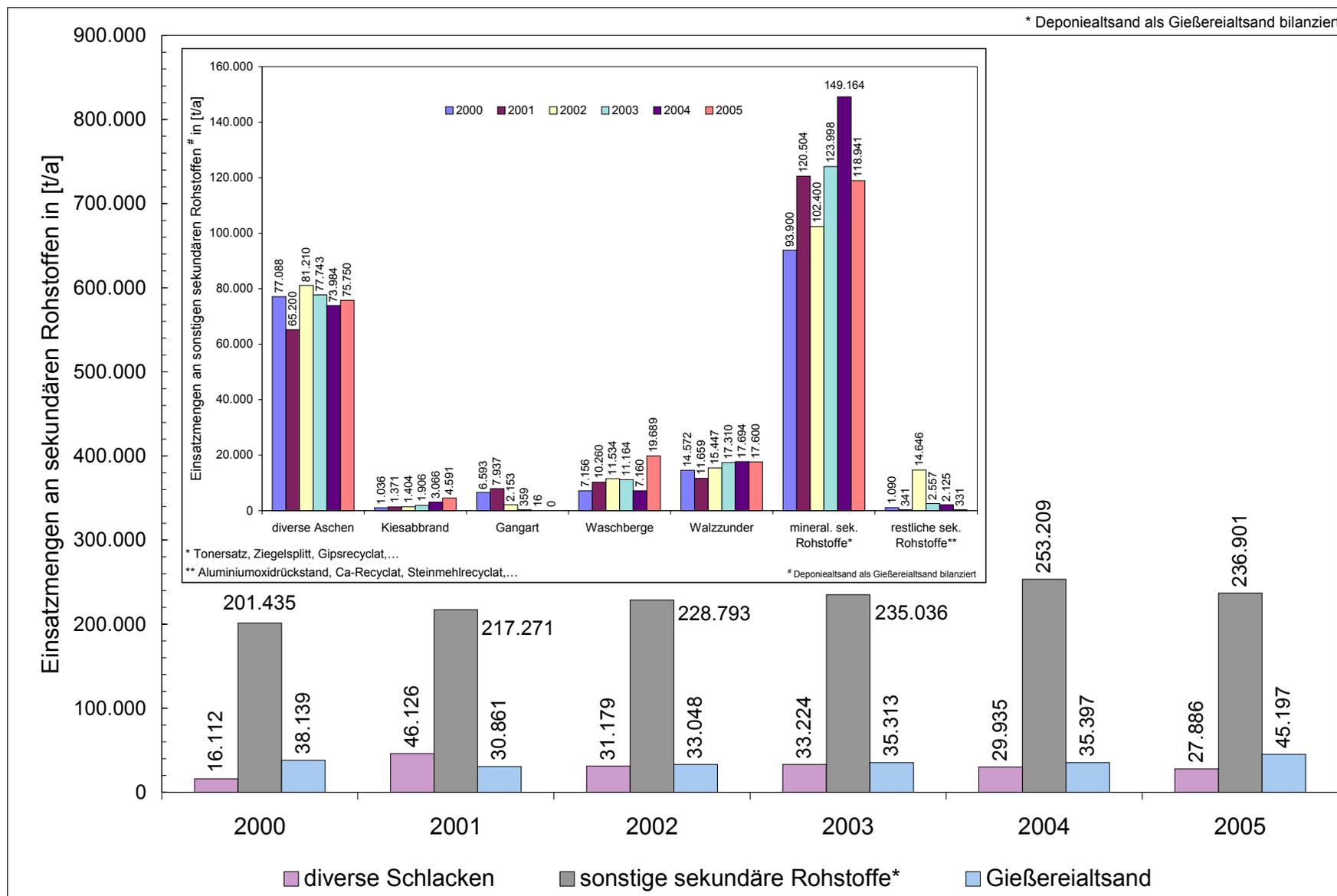


Abbildung 4-14: Einsatzmengen sekundärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 2000 bis 2005

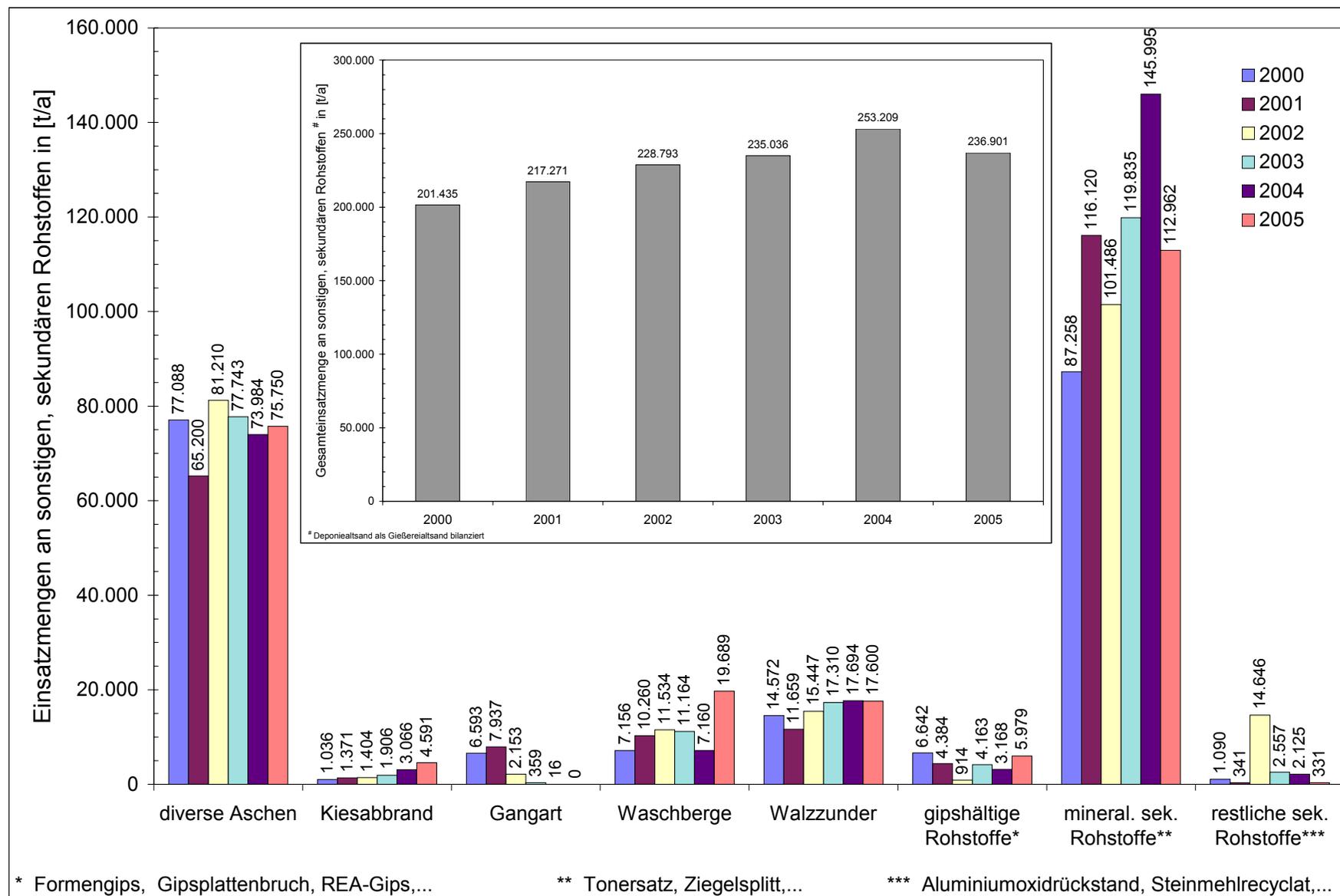


Abbildung 4-15: Spezifizierung der im Zeitraum von 2000 bis 2005 in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) verwendeten sonstigen sekundären Rohstoffmassenströme

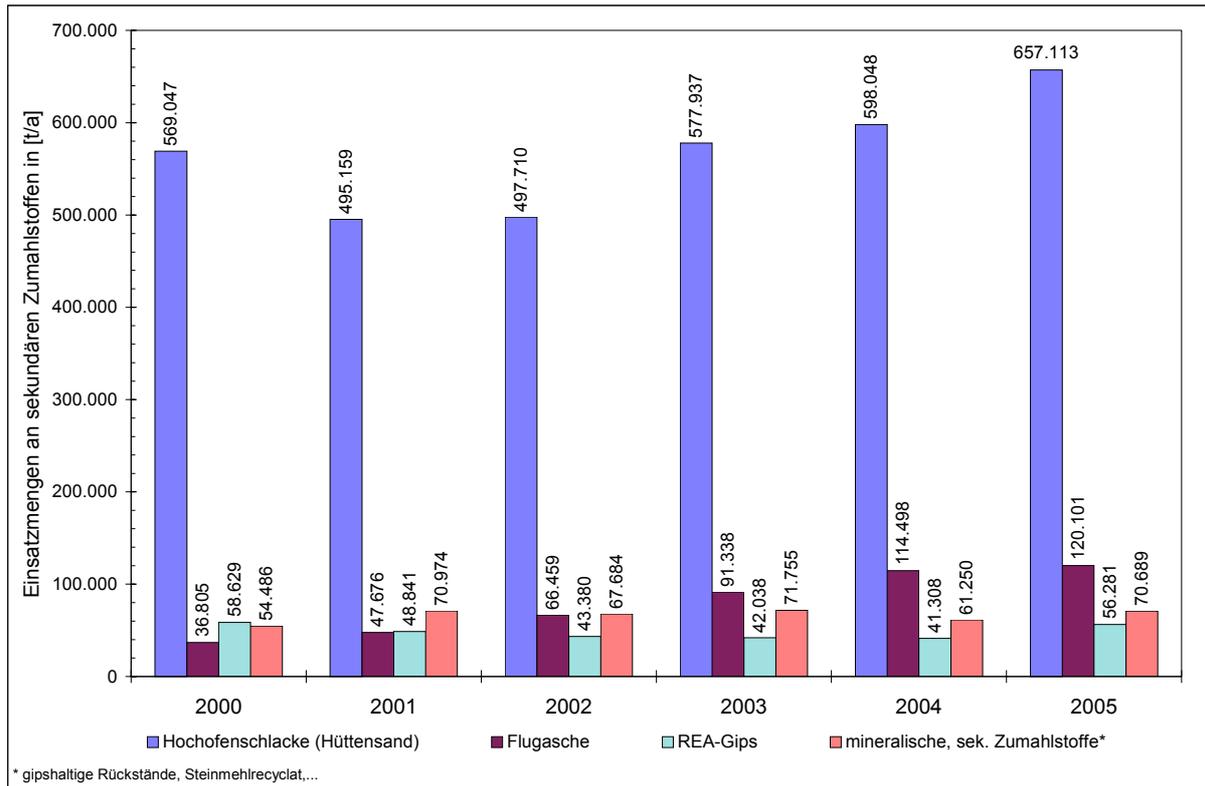


Abbildung 4-16: Einsatzmengen sekundärer Zusatzstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 2000 bis 2005 (ohne Mahlwerke)

In Anlagen der österreichischen Zementindustrie werden Ersatzstoffe nicht nur als Brennstoffe sondern auch als Substitut für primäre Rohstoffe und primäre Zusatzstoffe verwendet.

Portlandzementklinker besteht zu mehr als 90% aus Klinkermineralien, welche Verbindungen des Elementes Calcium mit den Hydraulfaktoren Kieselsäure, Tonerde und Eisenoxid darstellen. Das Mengenverhältnis i.g. Elemente muß aufeinander abgestimmt werden. Es ist deshalb erforderlich, die in einem natürlichen Rohstoffvorkommen in ungenügendem Ausmaß vorhandenen Verbindungen dem Rohmehl beizufügen. Diese Korrekturmateriale sind zumeist natürlichen Ursprungs, wie Kalkstein, Quarzsand, Bauxit, Eisenoxid, usw.. Anstelle natürlicher Korrekturstoffe können auch Sekundärstoffe eingesetzt werden. Die Schonung natürlicher Ressourcen und die stoffliche Verwertung von bisher deponierten Reststoffen anderer Industrien sind als Vorteile für die Verwendung von Sekundärrohstoffen als Korrekturstoffe bei der Zementklinkererzeugung zu nennen. Im Bilanzjahr 2005 wurden in Anlagen der österreichischen Zementindustrie ca. 310.000 Jahrestonnen an Sekundärrohstoffen eingesetzt, dies ist um ca. 2,1% mehr als im Jahr 2003. Wie Abbildung 4-14 und Abbildung 4-15 zeigen, werden u.a. Aschen und Schlacken, Gießereialtsand, Walzzunder, Waschberge und Ziegelsplitt als Roh- bzw. Korrekturstoffsubstitute eingesetzt.

Gleichfalls werden Sekundärstoffe als Zusatzstoffe mit Klinker zu einer breiten Palette unterschiedlicher Zemente vermahlen. Durch den Einsatz von Zusatzstoffen wird der Klinkeranteil im Zement (Klinkerfaktor) gesenkt. Damit verringert sich der Bedarf an herkömmlichen Einsatzstoffen, natürliche Lagerstätten werden geschont und der spezifische Wärmebedarf zur Zementerzeugung wird gesenkt. Mit Hochofenschlacke und Flugasche stehen Sekundärstoffe als Zusatzstoffe zur Verfügung, die als künstliche Puzzolane mit latent hydraulischem Verhalten als Klinkerersatzstoffe in der Zementerzeugung verwendet werden. Rauchgasentschwefelungsgips (REA-Gips) ersetzt Naturgips (bzw. Anhydrit), der dem Portlandzementklinker bei der Vermahlung zur Regelung des Erstarrungsverhaltens zugesetzt wird. Insgesamt wurden 2005 mit mehr als 900.000 Jahrestonnen um ca. 15,5% mehr Sekundärzusatzstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) eingesetzt als im Jahr 2003 (Abbildung 4-16).

4.5 Emissionen

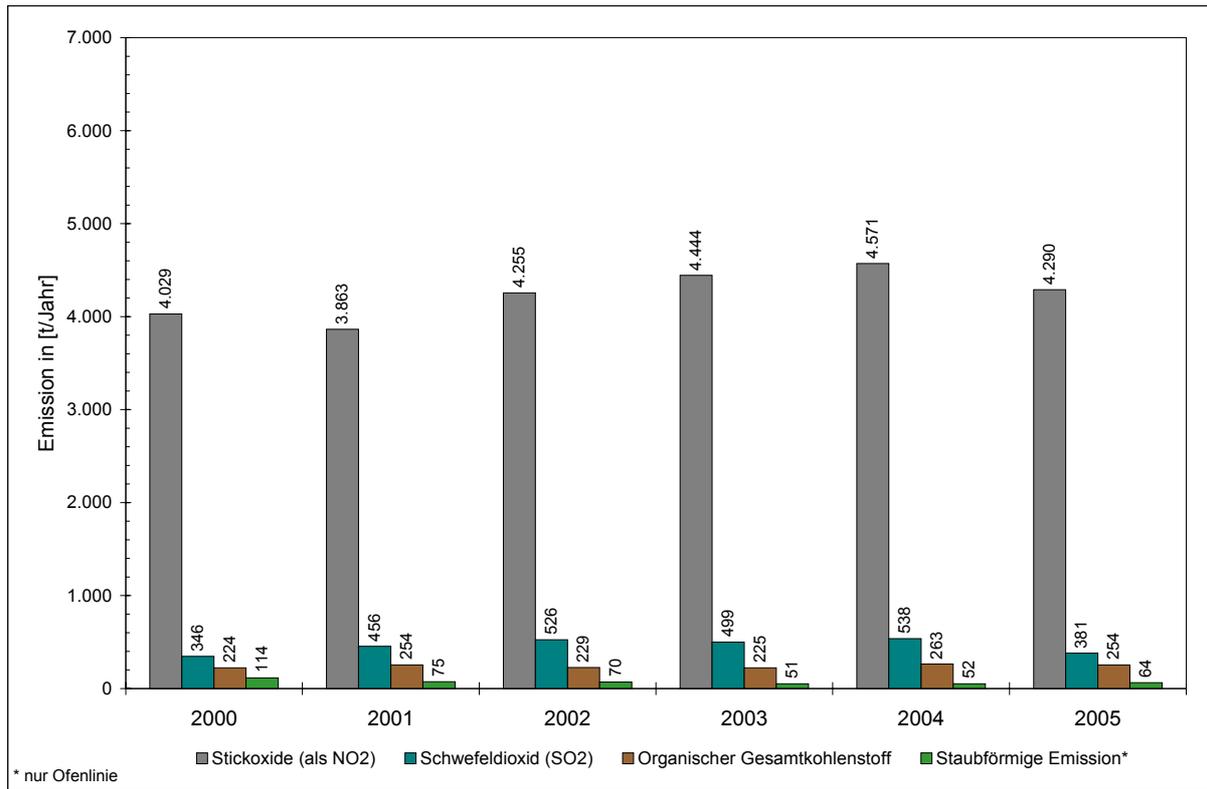


Abbildung 4-17: jährliche Emissionen an Stickoxiden (als NO<sub>2</sub>), an Schwefeldioxid, an organischem Gesamtkohlenstoff und an Staub aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 2000 bis 2005

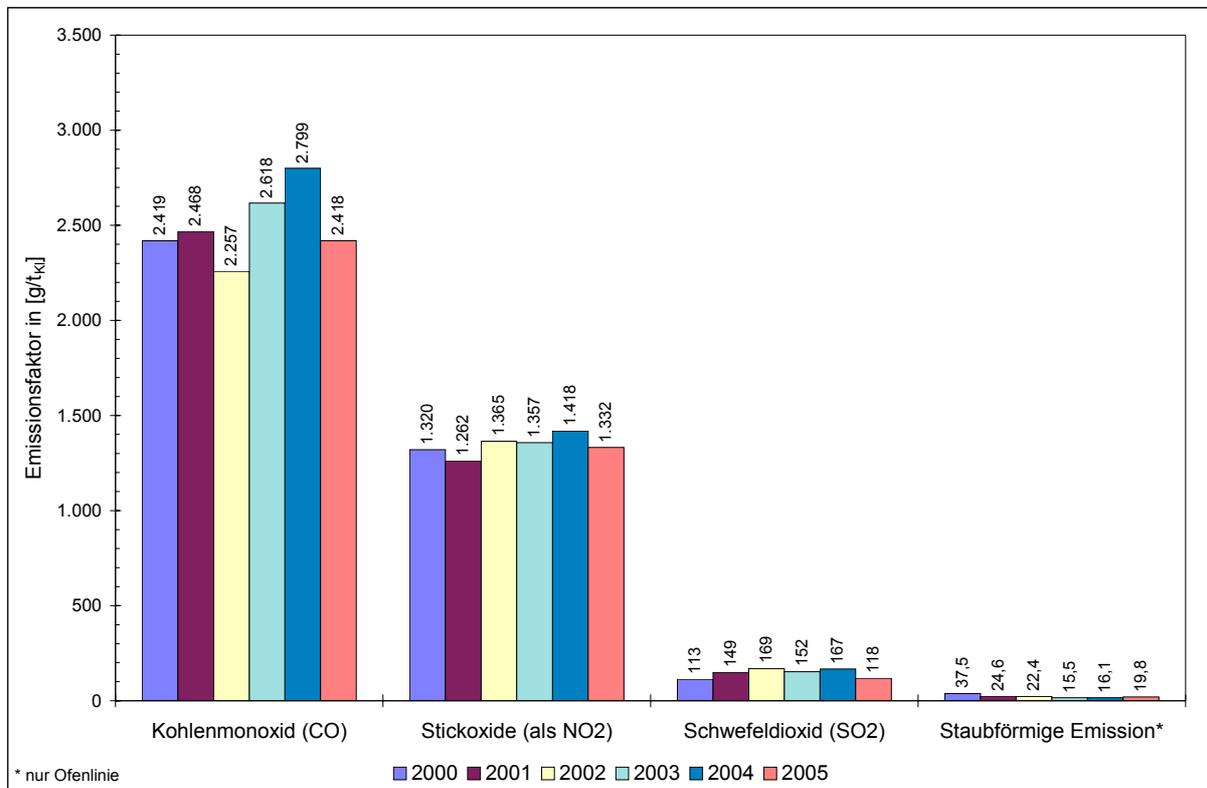


Abbildung 4-18: zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO<sub>2</sub>), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Klinker (2000 - 2005, ohne Mahlwerke)

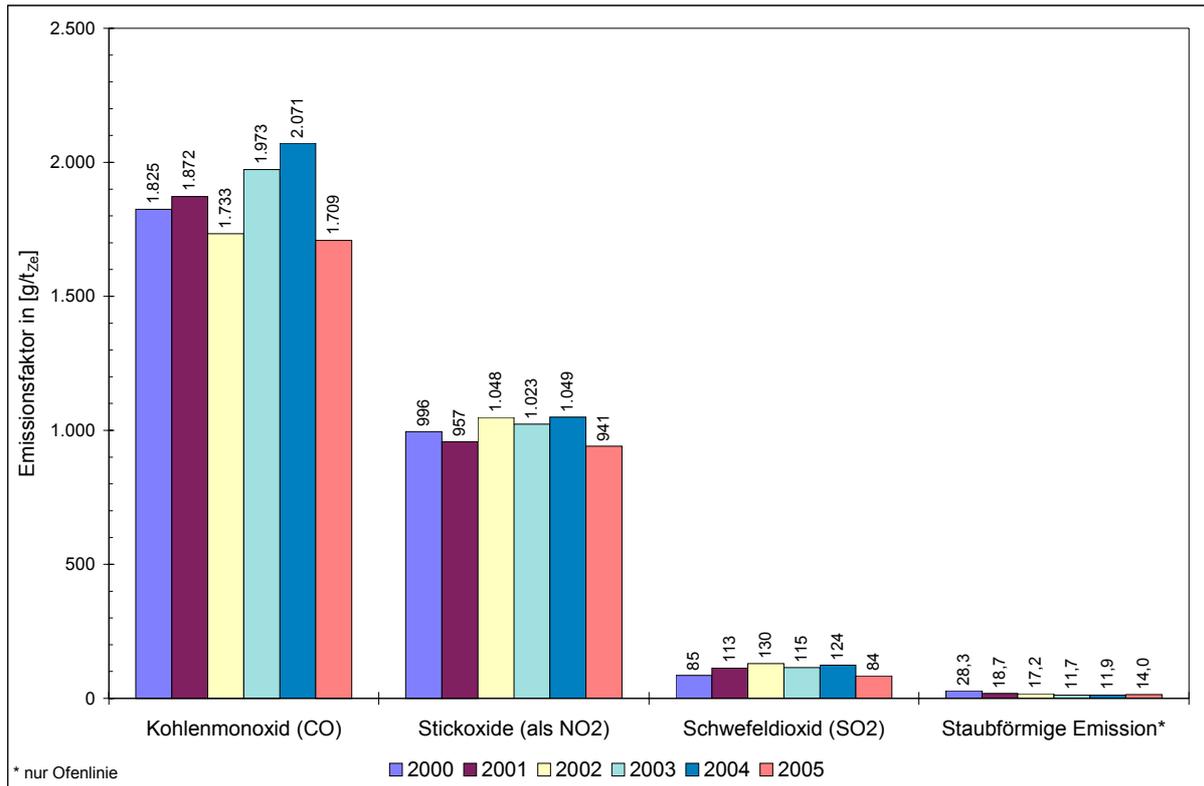


Abbildung 4-19: zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO<sub>2</sub>), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Zement (2000 - 2005, ohne Mahlwerke)

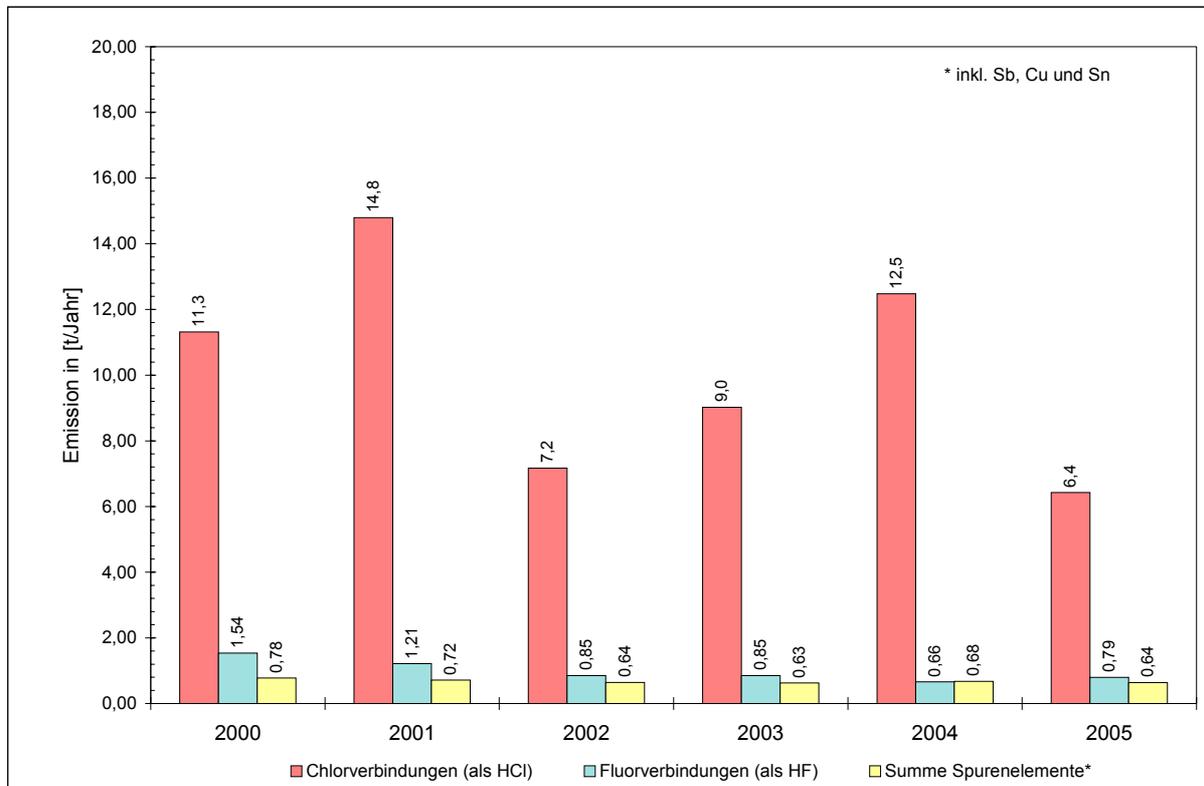


Abbildung 4-20: zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an chlor- und fluorhaltigen Verbindungen (ausgewiesen als HCl bzw. HF) sowie der jährlichen Gesamtemissionen an Spurenelementen jeweils für den Zeitraum 2000 bis 2005 (ohne Mahlwerke)

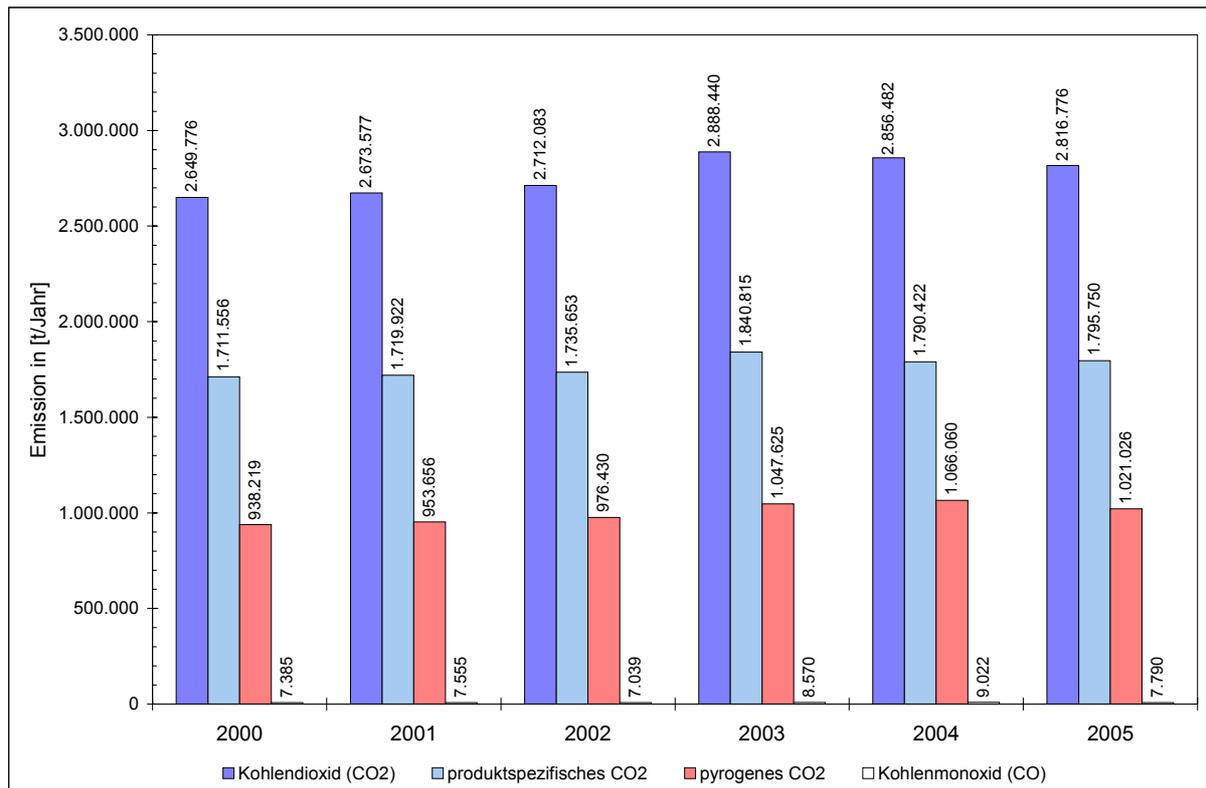


Abbildung 4-21: zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an Kohlendioxid und Kohlenmonoxid aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) jeweils für den Zeitraum 2000 bis 2005

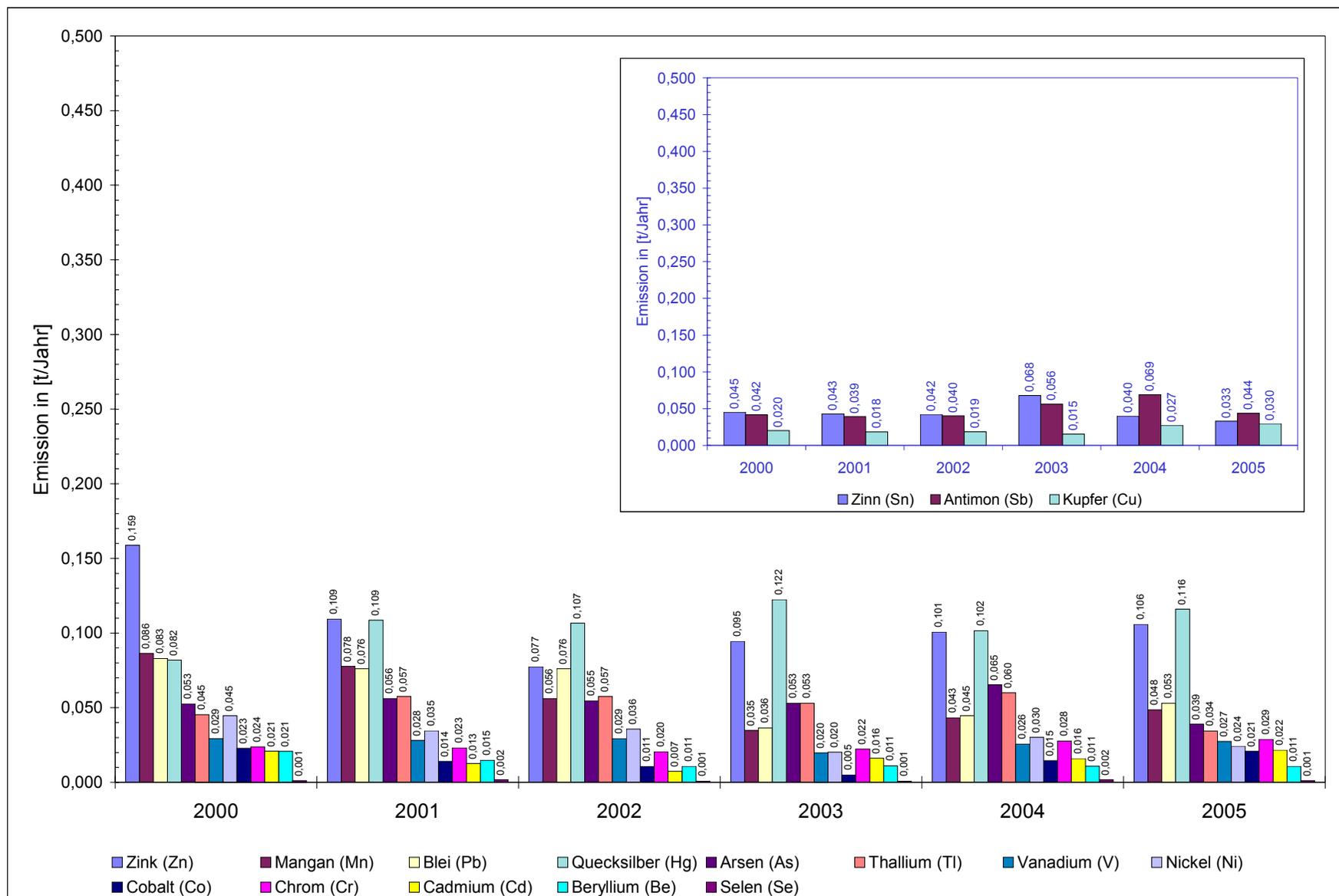


Abbildung 4-22: Emissionen diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 2000 bis 2005

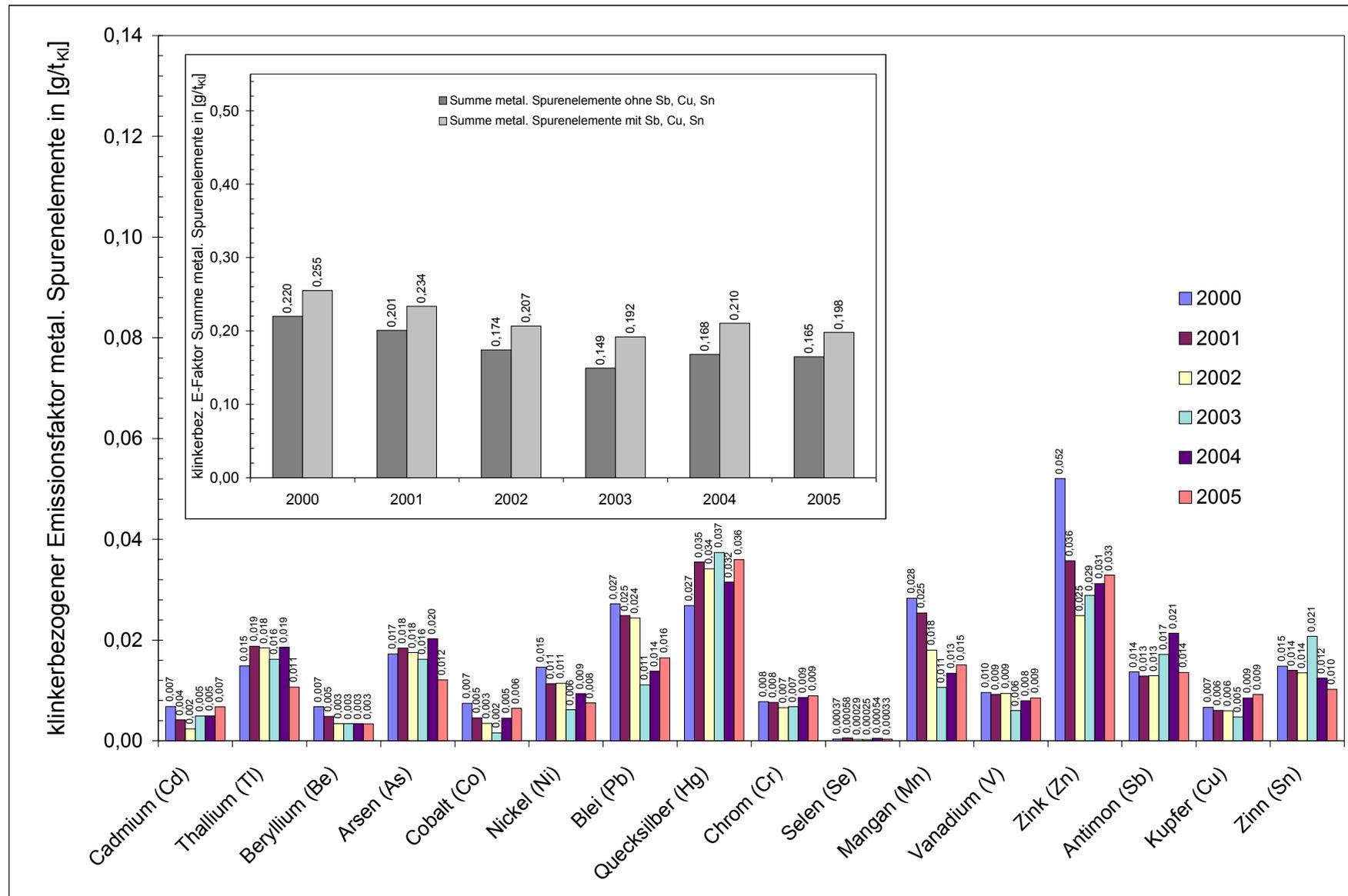


Abbildung 4-23: klinkerbezogene Emissionsfaktoren diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 2000 bis 2005

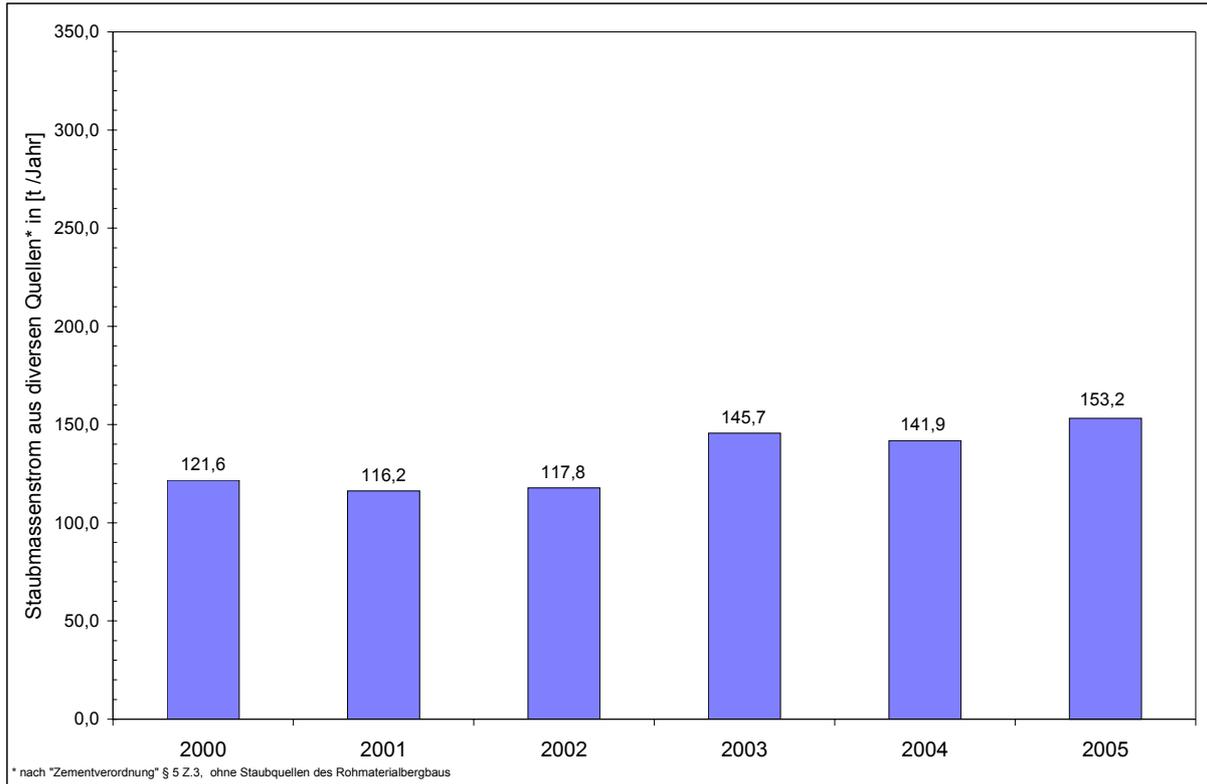


Abbildung 4-24: Staubmassenstrom aus "sonstigen definierten Quellen" nach "Zementverordnung" § 5 Z.3 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005

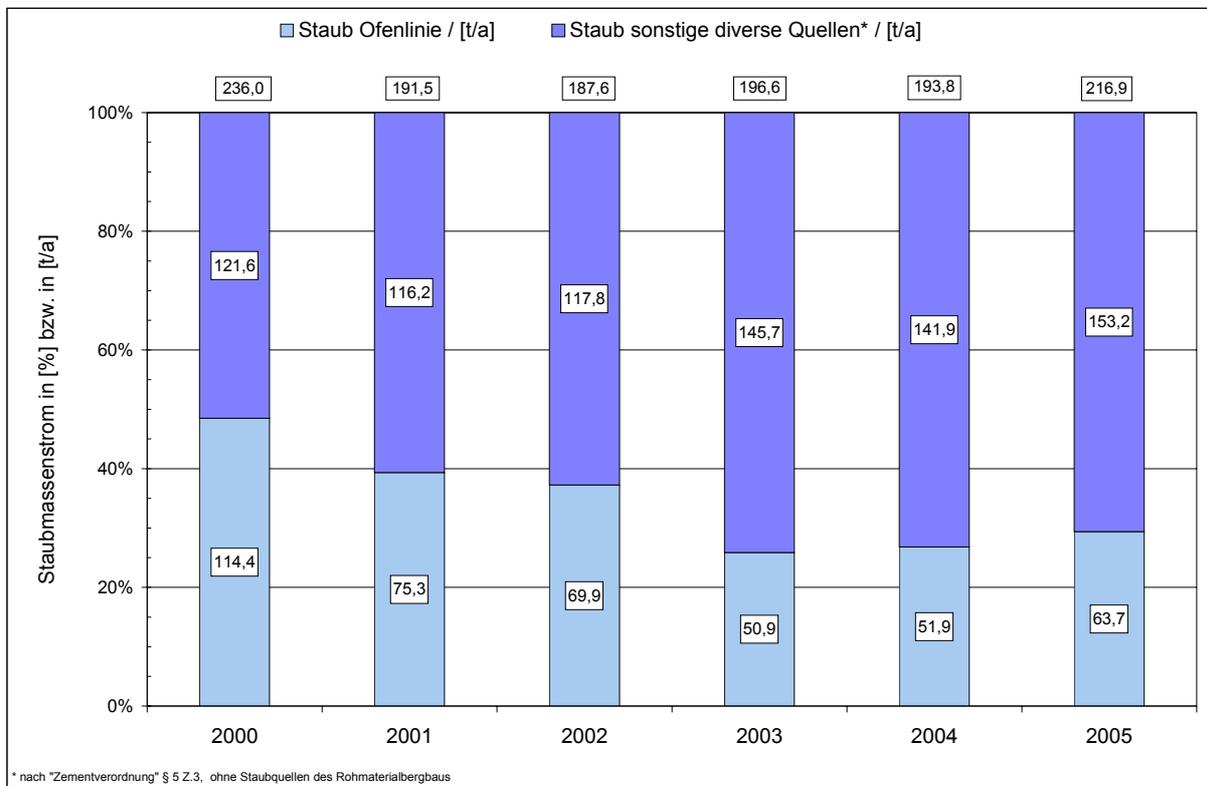


Abbildung 4-25: staubförmige Emissionen unter Berücksichtigung von Staubemissionen aus "sonstigen definierten Quellen" nach "Zementverordnung" § 5 Z.3 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005

## 5 Kommentierung der Ergebnisse

### 5.1 Anlagen- und Produktionsdaten

Kenndaten zur Anlagentechnik, Angaben zu den verfeuerten Brennstoffen und der jeweils installierten Klinkerkapazität sind für die einzelnen Werksstandorte der österreichischen Zementindustrie in Tabelle 2-3 (Seite 6) zusammengefaßt. Es zeigt sich ein Rückgang der installierten Klinkerkapazität von 4.262.500 Jahrestonnen im Jahr 2002 [4] um ca. 0,5% auf 4.240.500 Jahrestonnen im Jahr 2005, infolge von Neubewertungen der installierten Klinkerkapazitäten in den Zementwerken von Kirchdorf und von Wopfing. Mit Jahreswechsel 2005 zu 2006 erhöhte sich die installierte Klinkerkapazität am Werksstandort Wietersdorf der Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH um 90.000 Jahrestonnen. Diese Steigerung ist auf den Umbau des örtlichen Lepolofens in einen fünfstufigen Zyklonwärmetauscherofen mit Vorcalcinator zurückzuführen. L.g. Änderung der installierten Klinkerkapazität wird erst ab 2006 bilanzwirksam. Somit waren in österreichischen Zementwerken (ohne Mahlwerke) 2005 drei Lepolöfen mit einer installierten Klinkerkapazität von 778.000 Jahrestonnen, fünf Wärmetauscheröfen mit einer installierten Klinkerkapazität von 1.925.500 Jahrestonnen und drei Wärmetauscheröfen mit Vorcalcinator mit einer installierten Klinkerkapazität von 1.537.000 Jahrestonnen in 12 Rohmehllinien mit 11 Klinkerkühlern betriebsbereit.

Das Datenblatt zeigt ferner, daß in den Zementwerken von Kirchdorf und von Vils im Jahr 2003 mit der Verfeuerung von Kunststoffabfällen begonnen wurde. Seit dem Jahr 2003 wird mit dem Einsatz von Altreifen im Zementwerk Kirchdorf nunmehr in fünf von neun österreichischen Zementwerken Altreifen verbrannt. Die Klärschlamm-Mitverbrennung wurde am Standort Kirchdorf im Jahr 2003 und am Standort Wietersdorf im Jahr 2004 aufgenommen.

Mit der 2005 installierten Klinkerkapazität von 4.240.500 Jahrestonnen wurden ca. 3,221 Millionen Jahrestonnen Klinker gebrannt um 1,62 % weniger als im Jahr 2003. Die Klinkermenge wurde zu ca. 4,560 Millionen Jahrestonnen diverser Zemente vermahlen. Im Bilanzzeitraum entspricht dies einem Anstieg um 4,95 % (Abbildung 4-1, Seite 12).

### 5.2 Energieeinsatz

Im Berichtszeitraum 2003 bis 2005 hat die Zementproduktion der österreichischen Zementindustrie systematisch um 4,95 % zugenommen, die für emissions- und energiebezogene Daten dominante Klinkerproduktion systematisch um 1,62 % abgenommen. Da die meisten der emissions- und energiebezogenen Daten, auch die auf die Produktionseinheit bezogenen spezifischen Daten einen unsystematischen Verlauf zeigen, wurde zur besseren Darstellung des Trends dieser Kriterien auch der Mittelwert der Periode 2003 bis 2005 mit dem Mittelwert der vorangegangenen Periode 2000 bis 2002 verglichen.

Kennzahl	Dimension	2003	2004	2005	$\Delta 2005/03$ in [%]
Klinkerproduktionsmenge	[t <sub>K</sub> /a]	3.274.067	3.222.802	3.221.167	-1,62
Ofenbetriebsstunden	[h <sub>OB</sub> /a]	65.190,6	66.747,0	65.942,9	1,15
thermischer Gesamtenergieeinsatz	[GJ/a]	11.593.198	12.031.572	11.800.615	1,79
spez. Energiegehalt aller Brennstoffe (KET + EBS = BS)	[GJ <sub>BS</sub> /t <sub>BS</sub> ]	25,04	25,52	24,69	-1,39
spez. Energiegehalt aller konventionellen Brennstoffe (KET)	[GJ <sub>KET</sub> /t <sub>KET</sub> ]	28,85	29,67	28,01	-2,93
spez. Energiegehalt aller Ersatzbrennstoffe (EBS)	[GJ <sub>EBS</sub> /t <sub>EBS</sub> ]	21,90	22,07	21,96	0,29
Anteil der Ersatzbrennstoffe am therm. Gesamtenergieeinsatz	[%]	47,95	47,20	48,77	1,70
O <sub>2</sub> -bezogenes trockenes Abgasnormvolumen	[1000 m <sup>3</sup> (Vn)/a]	6.873.594	7.087.052	7.093.925	3,21
Abgas-Sauerstoffkonzentration	[Vol.-%]	10,64	10,98	10,95	2,89
spez. thermischer Energieeinsatz	[GJ/t <sub>K</sub> ]	3,541	3,733	3,663	3,46
rel. thermischer Energieeinsatz	[GJ/h <sub>OB</sub> ]	177,84	180,26	178,95	0,63
Klinkerbrandfaktor (Ofenleistung)	[t <sub>K</sub> /h <sub>OB</sub> ]	50,22	48,28	48,85	-2,74
(ohne Mahlwerke)					

Tabelle 5-1: energiebezogene Produktionskennzahlen

Aus Tabelle 5-1 ist ersichtlich, daß die Klinkerproduktion von 2003 bis 2005 eine systematische Abnahme um 1,62 % erfahren hat. Konträr dazu haben die Ofenbetriebsstunden und der thermische Energieeinsatz zugenommen. Die Anzahl der Ofenbetriebsstunden hat um 1,15 %, der thermische Energieverbrauch stärker, um 1,79 % zugenommen, woraus eine Spreizung von 3,46 % für den klinkerbezogenen thermischen Energieeinsatz resultiert.

Kriterium	Dimension	Periode A 2000 - 2002	Periode B 2003 - 2005	Änderung B/A in [%]
spez. Energiegehalt aller Brennstoffe (KET + EBS = BS)	[GJ <sub>BS</sub> /t <sub>BS</sub> ]	25,18	25,08	-0,40
spez. Energiegehalt aller Ersatzbrennstoffe (EBS)	[GJ <sub>EBS</sub> /t <sub>EBS</sub> ]	20,85	21,98	5,42
Anteil der Ersatzbrennstoffe am therm. Gesamtenergieeinsatz	[%]	40,13	47,97	19,52
spez. thermischer Energieeinsatz	[GJ/t <sub>Kl</sub> ]	3,527	3,645	3,36
rel. thermischer Energieeinsatz (ohne Mahlwerke)	[GJ/h <sub>OB</sub> ]	174,42	179,02	2,64

Tabelle 5-2: energiebezogene Mittelwerte der Perioden 2000 - 2002 und 2003 - 2005

Da die anderen energiebezogenen Kriterien einen zum Teil unsystematischen Verlauf zeigen, sind in Tabelle 5-2 die Mittelwerte spezifischer Daten für die Periode 2003 bis 2005 mit den spezifischen Mittelwerten der Periode 2000 bis 2002 zum Vergleich dargestellt. Auch hier zeigt sich, daß der thermische Energieaufwand pro Ofenstunde um 2,64 %, der thermische Energieaufwand pro Tonne Klinker jedoch um 3,36 % zugenommen hat.

Diese Steigerungen sind in Bezug zu setzen mit den Heizwerten der eingesetzten Energieträger. Der durchschnittliche Heizwert der eingesetzten Ersatzbrennstoffe hat im Periodenvergleich um 5,42 % zugenommen. Der durchschnittliche Heizwert der Summe aus Ersatz- und konventionellen Energieträgern hat jedoch um 0,40 % abgenommen, ein Rückgang, der in seinem geringen Ausmaß die stattgefundene Steigerung des spezifischen Energieverbrauches nicht erklären kann. Auch der Rohmehlfaktor hat im Periodenvergleich um nur 0,06 % zugenommen. Da die Zunahme des thermischen Energieeinsatzes pro Ofenstunde im Vergleich mit der des thermischen Energieeinsatzes pro Tonne Klinker wesentlich niedriger liegt, ist eine Verschlechterung des ofentechnischen Wirkungsgrades als basale Ursache des Energiemehrverbrauches auszuschließen.

Es kann daher geschlossen werden, daß zu unterscheiden sein wird, zwischen dem Energiebedarf einerseits, soll heißen, der notwendigen Energie zum Brand des Klinkers aus Rohmehl und Zuschlagstoffen, und dem thermischen Energieeinsatz andererseits, der als Größe die tatsächlich dem Ofen zugeführte Energiemenge angibt. Dieser Energieeinsatz sichert die Energie für den Klinkerbrand (Nutzenergie) und deckt die Wärmebilanz des Ofens mit den enthaltenen ofen- und feuerungstechnischen Verlusten ab. Ein über diesen Wärmebedarf hinausgehende Energiezufuhr könnte dadurch erklärt werden, daß durch den Einsatz neuer und/oder zusätzlicher Ersatzbrennstoffe, für welche der Ofen ursprünglich nicht vorgesehen und ausgelegt worden war, in der Wärmebilanz des Ofens zusätzliche Wärmeverlustglieder auftreten, die um die Nutzwärme nicht zu verringern, einen erhöhten Gesamtenergiebedarf verursachen. Mit anderen Worten: pro Energieeinheit wird eine kürzere Ofenzeit versorgt, noch weniger Klinker gebrannt. Um den schlechteren Wirkungsgrad auszugleichen wird die Energiezufuhr gesteigert.

### 5.2.1 Konventionelle Energieträger

Der jährliche Verbrauch an konventionellen Energieträgern hat in der Berichtsperiode an Menge systematisch um 3,22 % zugenommen. Der durchschnittliche Heizwert hat jedoch um 2,93 % abgenommen, sodaß der thermische Energieeinsatz aus dem Bereich der konventionellen Energieträger nur minimal um 0,19 % gestiegen ist.

Diese Entwicklung ist das Resultat der in Tabelle 5-3 dargestellten Verschiebungen im Energiebeitrag der einzelnen konventionellen Energieträger und damit der Änderung zwischen 2003 und 2005. Der starken

Reduktion bei Petrolkoks steht eine gleichfalls starke Steigerung bei Steinkohle gegenüber, die aber ihren Heizwert um 5,81 % verschlechtert hat.

Emissionstechnisch gesehen hat die Zunahme der Steinkohle zu einer höheren Staubfracht, der Rückgang bei Petrolkoks zu einer Abnahme der Schwefelfracht geführt.

Brennstoff	2003	2005	2005/2003
	[%]	[%]	[%]
Steinkohle	34,823	39,405	13,16
Braunkohlenstaub	25,336	24,000	-5,28
Heizöl L	0,378	0,794	110,37
Heizöl M	0,000	0,031	
Heizöl S	7,796	9,684	24,21
Erdgas	5,416	3,526	-34,90
Petrolkoks	26,192	22,487	-14,14
Sonstige	0,058	0,072	25,06
<b>Summe</b>	<b>100,000</b>	<b>100,000</b>	

Tabelle 5-3: prozentuelle Beiträge der konventionellen Energieträger (KET) zur Jahresbrennstoffenergie des KET - Bereichs

### 5.2.2 Ersatzbrennstoffe

Die stetige Zunahme des Einsatzes von Ersatzbrennstoffen drückt sich aus in der laufenden Zunahme der jährlichen Tonnage [t/a], des jährlichen Energieeinsatzes [GJ/a] sowie des prozentuellen Anteils am thermischen Gesamtenergieeinsatz. In der Berichtsperiode ist dieser von 47,95 % in 2003 auf 48,77 % in 2005 gestiegen. Leicht gestiegen ist auch der durchschnittliche Heizwert des Ersatzbrennstoffpaketes um 0,29 %, wodurch der Heizwertverlust bei den KET in seinem Einfluß auf den durchschnittlichen Heizwert aller Brennstoffe auf einen Rückgang von 1,39 % gemildert werden konnte (Tabelle 5-1, Seite 32).

Die energetischen Beiträge der einzelnen Ersatzbrennstoffe zum Energieaufkommen dieses Bereiches und ihre Entwicklung von 2003 zu 2005 ist in Tabelle 5-4 zusammengestellt.

	2003	2005	2005/2003
	[%]	[%]	[%]
Altreifen	15,262	15,189	-0,48
Kunststoffabfälle	30,124	38,860	29,00
Altöl	19,841	16,993	-14,35
Lösungsmittel	5,630	6,766	20,18
Landwirtschaftliche Rückstände	2,568	1,538	-40,10
Papierfaserreststoff	2,863	2,904	1,42
Sonstige	23,712	17,750	-25,15
<b>Summe</b>	<b>100,00</b>	<b>100,00</b>	

Tabelle 5-4: prozentuelle Beiträge der Ersatzbrennstoffe (EBS) zur Jahresbrennstoffenergie des EBS - Bereichs

Es zeigen sich der starke Ausbau der Dominanz der Kunststoffabfälle, gleich bleibende Anteile der Altreifen und ein signifikanter Rückgang bei sonstigen Ersatzbrennstoffen. Unter sonstigen Ersatzbrennstoffen ist ein Konglomerat von rund einem Dutzend biogenen und fossilen Ersatzbrennstoffen zusammengefaßt.

Diese Entwicklung zeigt an, daß man begonnen hat, die breite Palette der möglichen Ersatzbrennstoffe als Folge der mit ihnen gewonnenen feuerungstechnischen und prozeßtechnischen Erfahrungen, zum Teil auch den Marktentwicklungen folgend, zu reduzieren. Demgemäß liegen die starken Zuwachsraten bei Kunststoffabfällen und Lösungsmittelrückständen.

Die langfristige Entwicklung des Einsatzes der Ersatzbrennstoffe, dargestellt in Tabelle 5-5, zeigt, daß in den vergangenen 18 Jahren der EBS – Beitrag von 6,04 % auf 48,77 % gesteigert wurde. Diese Steigerung ist bis 2003 sehr rasant erfolgt, hat jedoch im Berichtszeitraum 2003 bis 2005 nur mehr eine Zunahme um weniger als ein Prozentpunkt in drei Jahren erfahren, wohingegen in den vorausgegangenen zehn Jahren die jährlichen Steigerungen des Anteils bis zu ca. 8,3 Prozentpunkte betragen haben.

Dieser Trend signalisiert, daß der ursprünglich von der Zementindustrie als wünschenswertes Ziel formulierte thermische Substitutionsgrad von 70 % in einem bestehenden Park von Altanlagen ohne wesentliche verfahrens- ofen- und feuerungstechnische Änderungen kaum realisierbar sein wird.

Jahr	Ersatzbrennstoffe	
	Brennstoffenergie [GJ/a]	Substitutionsgrad [%]
1988	755.009	6,04
1989	925.882	7,41
1990	1.311.407	10,20
1991	1.665.160	13,23
1992	1.875.776	14,21
1993	1.819.254	14,32
1994	1.934.637	14,57
1995	1.976.013	18,84
1996	2.164.665	20,85
1997	2.100.609	19,04
1998	2.674.725	25,99
1999	2.893.706	28,66
2000	3.557.492	33,47
2001	4.545.473	41,76
2002	4.964.800	44,94
2003	5.559.233	47,95
2004	5.678.915	47,20
2005	5.755.144	48,77

Petrolkoks bewertet als konventioneller Energieträger

Tabelle 5-5: Einsatz von Ersatzbrennstoffen

### 5.2.3 Elektrischer Energieeinsatz

Betrachtet man die Entwicklung des jährlichen Stromverbrauchs in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (Abbildung 4-7, Seite 17) so wird deutlich, daß sich dieser unter Mitberücksichtigung der Eigenstromerzeugung im Bilanzzeitraum 2003 bis einschließlich 2005 von 1.753 TJ um ca. 2,7 % auf 1.801 TJ erhöht hat. Hierbei findet aufgrund der gewählten Bilanzgrenzen der elektrische Energieeinsatz für bergbauliche Aktivitäten keine Berücksichtigung. Seit 2000 ist der elektrische Energiebedarf um ca. 12,8 % gestiegen. Diese Erhöhung ist im unmittelbaren Konnex mit der von ca. 4,047 Millionen um ca. 12,7 % auf 4,560 Millionen Jahrestonnen gestiegenen Zementproduktion zu sehen. Im Beobachtungszeitraum 2000 zu 2005 blieb somit der auf die Tonne Zement bezogene spezifische Strombedarf mit 395 MJ im Jahr 2005 annähernd konstant (Abbildung 4-12, Seite 21) und dies trotz erhöhten Strombedarfs für Umweltschutzmaßnahmen. Der Rückgang des zementbezogenen spezifischen elektrischen Energiebedarfs im Bilanzzeitraum 2003 bis 2005 von ca. 404 MJ je Tonne Zement um ca. 2,2 % auf annähernd 395 MJ ist auch eine Folge von Neuinvestitionen im energieintensiven Mühlenbereich und bei den Entstaubungsanlagen.

## 5.3 Emissionen

### 5.3.1 Klassische Schadstoffe

Im Berichtszeitraum hat die spezifische Staubemission systematisch zugenommen. Dies gilt sowohl für den klinkerbezogenen Emissionsfaktor  $[g/t_{kl}]$ , der um 27,34 % gestiegen ist, als auch für den zementbezogenen Emissionsfaktor  $[g/t_{ze}]$ , der sich um 19,38 % erhöht hat (Tabelle 5-6). Dieser Trend beendet zunächst eine

Entwicklung in welcher diese Emissionsfaktoren seit 1997 systematisch abgenommen haben (vergleiche Studie IV [4]). Diese Trendumkehr wird zwar dadurch gebremst, daß im Vergleich der Perioden 2000 - 2002 und 2003 - 2005 der Dreijahres-Mittelwert eine Abnahme um 39,05 % bei Klinker, um 41,25 % bei Zement zeigt (Tabelle 5-7), dennoch ist dem systematischen Anstieg der letzten drei Jahre auch vor dem Hintergrund der steigenden Bedeutung von Feinstaub entgegenzuwirken.

Vergleichsjahr	2003	2005	Δ 2005/2003	2003	2005	Δ 2005/2003
Komponente	E-Faktor [g / t <sub>Klinker</sub> ]	E-Faktor [g / t <sub>Klinker</sub> ]	Änderung [%]	E-Faktor [g / t <sub>Zement</sub> ]	E-Faktor [g / t <sub>Zement</sub> ]	Änderung [%]
Staub	15,54	19,79	27,34	11,71	13,98	19,38
Stickstoffoxide (als NO <sub>2</sub> )	1.357,39	1.331,67	-1,89	1.022,91	940,76	-8,03
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	152,45	118,37	-22,36	114,89	83,62	-27,21
chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	2,755	1,995	-27,59	2,076	1,409	-32,12
fluorhaltige Verbindungen (als HF)	0,260	0,247	-5,06	0,196	0,174	-11,00
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	68,583	78,845	14,96	51,683	55,700	7,77
Kohlenmonoxid (CO)	2.617,6	2.418,5	-7,61	1.972,6	1.708,5	-13,39
(ohne Mahlwerke)						

Tabelle 5-6: spezifische Emissionsfaktoren der klassischen Schadstoffe im Jahresvergleich 2005 zu 2003

Für die folgenden Schadstoffe werden - da im direkten Zusammenhang mit dem Ofenbetrieb stehend - die spezifischen klinkerbezogenen Emissionsfaktoren [g/t<sub>K</sub>] besprochen.

Da die meisten der Emissionsfaktoren für die einzelnen Schadstoffe im Berichtszeitraum einen unsystematischen Verlauf zeigen, wurden die Mittelwerte für diese Periode 2003 bis 2005 und für die vorangegangene Periode 2000 bis 2002 gebildet und miteinander verglichen (siehe Tabelle 5-7).

Schadstoff	Mittelwerte der klinkerbez. Emissionsfaktoren / [g/t <sub>K</sub> ]		
	Periode A 2000 - 2002	Periode B 2003 - 2005	Änderung B/A in [%]
Staubförmige Emissionen <sup>(1)</sup> je Tonne Zement	21,38	12,56	-41,25
Staubförmige Emissionen <sup>(1)</sup> je Tonne Klinker	28,12	17,14	-39,05
Stickstoffoxide (als NO <sub>2</sub> )	1.315,70	1.369,05	4,05
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	143,84	145,97	1,49
chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	3,604	2,873	-20,27
fluorhaltige Verbindungen (als HF)	0,390	0,237	-39,17
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	76,522	76,337	-0,24
Kohlenmonoxid (CO)	2.380,7	2.611,9	9,71
Cobalt (Co)	0,005139	0,004161	-19,04
Quecksilber (Hg)	0,032184	0,034977	8,68
Cadmium (Cd)	0,004425	0,005536	25,12
Kupfer (Cu)	0,006209	0,007450	19,98
Summe Spurenelemente*	0,231656	0,200104	-13,62
pyrogenes CO <sub>2</sub>	310.673,4	322.566,3	3,83

\* inklusive Sb, Cu, Sn; ohne Mahlwerke;  
<sup>(1)</sup> ohne Staubemissionen aus "sonstigen definierten Quellen" (Zementverordnung §5 Z.3)

Tabelle 5-7: Mittelwerte klinkerbezogener Emissionsfaktoren in den Perioden 2000 - 2002 und 2003 - 2005 für ausgewählte Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie

Für Stickstoffoxide (als NO<sub>2</sub>) ergibt sich in 2003 eine geringe Abnahme des klinkerbezogenen Emissionsfaktors gegenüber 2002 (-0,53 %), einen Anstieg in 2004 um 4,48 %, einen Rückgang in 2005 um 6,10 %, resultierend in einer Minderung um 1,89 % innerhalb der Berichtsperiode (Tabelle 5-6). Vergleicht man die beiden Periodenmittelwerte so zeigt sich jedoch eine Zunahme um 4,05 % (Tabelle 5-7). Die ab 1992 erzielte Reduktion des jährlichen klinkerbezogenen Emissionsfaktors, die weitgehend systematisch bis 2001 in dem Bereich von 30 %, bezogen auf 1992 gehoben werden konnte, ist damit nicht nur zum Stillstand gekommen, sondern hat sich in einen rückläufigen Trend, das heißt zu wieder gestiegenen Emissionsfaktoren gewandelt.

Bei Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) wurde die starke Steigerung des klinkerbezogenen Emissionsfaktors der Jahre 2000 bis 2002 in 2003 und 2004 auf etwa konstantem Niveau gehalten und 2005, bezogen auf 2003 um 22,36 % wieder stark abgesenkt. Dieser Verlauf steht im Zusammenhang mit der Funktionstüchtigkeit einer werksspezifischen SO<sub>2</sub>-Wäsche.

Für die TOC - Emissionsfaktoren ergibt sich ein unsystematischer Verlauf der über dem Berichtszeitraum jedoch zu einer Zunahme von 14,96 % führt. Auch für CO zeigt sich ein unsystematischer Verlauf mit Steigerung in 2003 (+15,95 %) und 2004 (6,95 %), einer Abnahme in 2005 (-13,61 %) resultierend in einem Rückgang von 7,61 % innerhalb des Berichtszeitraumes (Tabelle 5-6). Der Vergleich der Periodenmittelwerte bringt für TOC eine minimale Reduktion von 0,24 %, für CO eine Erhöhung um 9,71 %. Es ist anzunehmen, daß trotz der Steigerung des Heizwertes der Ersatzbrennstoffe eine partielle Verschlechterung der feuerungstechnischen Bedingungen zu diesem Ergebnis geführt hat.

Bei chlor- und fluorhaltigen Verbindungen zeigen sich Reduktionen, sowohl innerhalb des Berichtszeitraumes als auch im periodischen Vergleich. Innerhalb dieses Ergebnisses ergibt sich für chlorhaltige Verbindungen eine deutliche bis starke Zunahmen in 2003 (+19,89 %) und 2004 (+40,54 %), die jedoch mit einer Abnahme in 2005 um 48,48 % aufgefangen wurden. Aus der Palette der eingesetzten Brennstoffe könnte sich ein Bezug zum stark gestiegenen Einsatz von Kunststoffabfällen, 2003 um 39,28 %, 2004 nochmals um 30,12 %, 2005 jedoch konstant, ergeben, der jedoch durch Auswahl der angelieferten Kunststoffsorten nur in geringem Maße zum Tragen kommen dürfte. Ein nicht zu unterschätzender Chloreintrag ergibt sich durch den natürlichen Gang der Rohstoffe.

### 5.3.2 Metallische Spurenelemente

Aus Tabelle 5-9 (Seite 39) ist ersichtlich, daß von den sechzehn erfaßten Spurenelementen 2003 von den klinkerbezogenen Emissionsfaktoren sechs zu- und zehn abgenommen, 2004 dreizehn zu- und drei abgenommen, 2005 neun zu- und sieben abgenommen haben. Über den Berichtszeitraum gesehen, haben zehn Spurenelemente zu- und sechs abgenommen. Faßt man alle 16 Spurenelemente zusammen, so ergibt sich für 2003 bis 2005 eine Steigerung des summierten klinkerbezogenen Emissionsfaktors um 3,13 % (Tabelle 5-8). Dem steht gegenüber eine Abnahme um 13,62 %, wenn man die Mittelwerte der Perioden 2003 - 2005 und 2000 - 2002 vergleicht (Tabelle 5-7, Seite 36).

Vergleichsjahr	2003	2005	Δ 2005/2003
Komponente	E-Faktor [g / t <sub>klinker</sub> ]	E-Faktor [g / t <sub>klinker</sub> ]	Änderung [%]
Cadmium (Cd)	0,004921	0,006734	36,85
Thallium (Tl)	0,016206	0,010676	-34,12
Beryllium (Be)	0,003381	0,003332	-1,47
Arsen (As)	0,016179	0,012083	-25,32
Cobalt (Co)	0,001557	0,006453	314,45
Nickel (Ni)	0,006160	0,007533	22,30
Blei (Pb)	0,011127	0,016462	47,94
Quecksilber (Hg)	0,037392	0,035979	-3,78
Chrom (Cr)	0,006775	0,008931	31,82
Selen (Se)	0,000252	0,000333	32,20
Mangan (Mn)	0,010590	0,015053	42,15
Vanadium (V)	0,005994	0,008508	41,95
Zink (Zn)	0,028866	0,032893	13,95
Antimon (Sb)	0,017173	0,013596	-20,83
Kupfer (Cu)	0,004699	0,009192	95,61
Zinn (Sn)	0,020732	0,010249	-50,57
<b>Summe metallische Spurenelemente</b>	<b>0,192004</b>	<b>0,198006</b>	<b>3,13</b>
(ohne Mahlwerke)			

Tabelle 5-8: spezifische Emissionsfaktoren metallischer Spurenelemente im Jahresvergleich 2005 zu 2003

Tabelle 5-9 (Seite 39) informiert über die Entwicklung der klinkerbezogenen Emissionsfaktoren metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Langzeitvergleich 1988 bis einschließlich 2005. Minimal- und Maximalwerte sind entsprechend gekennzeichnet.

Zusammenfassend ergibt sich für den Berichtszeitraum für die Emissionsfaktoren und Emissionsmassenströme folgendes Bild:

- Nach weitgehend unsystematischem Verlauf in den drei Berichtsjahren zeigen sich für die klassischen Schadstoffe in 2005 bezogen auf 2003 deutliche Zunahmen bei Staub und bei TOC. Für die übrigen Schadstoffe NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, chlorhaltige und fluorhaltige Verbindungen haben geringe bis starke Abnahmen stattgefunden. Eine systematische Zunahme liegt nur bei Staub vor. Dies gilt nicht nur für den klinkerspezifischen sondern auch für den zementspezifischen Emissionsfaktor.
- Bei den metallischen Spurenelementen ist von sechzehn erfaßten Elementen bei zehn Komponenten eine auf den Berichtszeitraum bezogene Steigerung des klinkerbezogenen Emissionsfaktors festzustellen. Für die Summe der Spurenelemente liegt die Erhöhung bei 3,13 %. Der zementbezogene Emissionsfaktor bringt für die Summe der Spurenelemente eine Reduktion um 3,32 %. Die Jahresfracht zeigt eine Erhöhung um 1,46 %.
- Die erhöhten spezifischen Emissionsfaktoren haben ein Analogon in einem adäquaten Anstieg der Emissionsmassenströme der zehn metallischen Spurenelemente Cd, Co, Ni, Pb, Cr, Se, Mn, V, Zn und Cu.

Jahr	Klinkerbezogene Emissionsfaktoren metallischer Spurenelemente															
	Cadmium [g/t <sub>kl</sub> ]	Thallium [g/t <sub>kl</sub> ]	Beryllium [g/t <sub>kl</sub> ]	Arsen [g/t <sub>kl</sub> ]	Cobalt [g/t <sub>kl</sub> ]	Nickel [g/t <sub>kl</sub> ]	Blei [g/t <sub>kl</sub> ]	Quecksilber [g/t <sub>kl</sub> ]	Chrom [g/t <sub>kl</sub> ]	Selen [g/t <sub>kl</sub> ]	Mangan [g/t <sub>kl</sub> ]	Vanadium [g/t <sub>kl</sub> ]	Zink [g/t <sub>kl</sub> ]	Antimon [g/t <sub>kl</sub> ]	Kupfer [g/t <sub>kl</sub> ]	Zinn [g/t <sub>kl</sub> ]
1988	0,010850	0,012563	0,001088	0,005083	0,040352	0,004649	0,026639	0,016671	0,008787	0,000250	0,062815	0,026833	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	0,004784	0,015839	0,005129	0,022942	0,007669	0,010239	0,032867	0,025062	0,008730	0,000277	0,051796	0,014921	0,082250			
1999	0,006933	0,017355	0,006232	0,020768	0,009871	0,012273	0,030795	0,026865	0,009765	0,000280	0,052509	0,016061	0,103667			
2000	0,006819	0,014851	0,006774	0,017240	0,007446	0,014634	0,027188	0,026837	0,007784	0,000374	0,028310	0,009589	0,052037	0,013695	0,006649	0,014839
2001	0,004131	0,018768	0,004831	0,018393	0,004556	0,011316	0,024846	0,035493	0,007594	0,000579	0,025392	0,009192	0,035748	0,012834	0,006031	0,013999
2002	0,002370	0,018436	0,003441	0,017533	0,003453	0,011428	0,024385	0,034171	0,006569	0,000285	0,018000	0,009414	0,024851	0,012919	0,005954	0,013514
2003	0,004921	0,016206	0,003381	0,016179	0,001557	0,006160	0,011127	0,037392	0,006775	0,000252	0,010590	0,005994	0,028866	0,017173	0,004699	0,020732
2004	0,004965	0,018581	0,003379	0,020261	0,004515	0,009333	0,013824	0,031521	0,008600	0,000543	0,013407	0,007942	0,031234	0,021364	0,008503	0,012458
2005	0,006734	0,010676	0,003332	0,012083	0,006453	0,007533	0,016462	0,035979	0,008931	0,000333	0,015053	0,008508	0,032893	0,013596	0,009192	0,010249
MW	0,004440	0,017352	0,005015	0,017722	0,005152	0,012459	0,025473	0,032167	0,007316	0,000413	0,023901	0,009399	0,037545	0,013149	0,006211	0,014117
MAX	0,022165	0,027527	0,010247	0,022942	0,044584	0,024937	0,056478	0,037392	0,013272	0,000579	0,091876	0,030547	0,171135	0,021364	0,009192	0,020732
MIN	0,002370	0,008416	0,001062	0,003147	0,001557	0,003178	0,011127	0,016671	0,006569	0,000246	0,010590	0,005994	0,024851	0,012834	0,004699	0,010249

Tabelle 5-9: Klinkerbezogene Emissionsfaktoren metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Langzeitvergleich 1988 bis einschließlich 2005

### 5.3.3 Klimarelevante Schadgase

Bei der Bilanzierung von Treibhausgasemissionen aus zementherzeugenden Prozessen ist von den im Kyoto-Protokoll angeführten klimarelevanten Schadgasen (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFCs, PFCs, SF<sub>6</sub>) ausschließlich Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) zu erfassen. Hierbei ist zwischen den prozeßspezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen, auch geogene CO<sub>2</sub>-Emissionen genannt, und den pyrogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen zu unterscheiden. Während sich geogene CO<sub>2</sub>-Emissionen auf die thermische Decarbonatisierung der in den Einsatzstoffen enthaltenen carbonatischen Bestandteile während des Zementklinkerbrandes zurückführen lassen, resultieren die pyrogenen CO<sub>2</sub>-Freisetzungen aus der Verfeuerung kohlenstoffhaltiger Brennstoffe. Bei den pyrogenen Emissionen ist zwischen pyrogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verfeuerung fossiler Kohlenstoffanteile des Brennstoffes und jenen CO<sub>2</sub>-Emissionen, die aus der Verfeuerung biogener Kohlenstoffanteile entstehen, zu unterscheiden. Letztere gelten als klimaneutral.

Die für die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung herangezogene Methodik orientiert sich an den Bilanzierungsrichtlinien des *Intergovernmental Panel on Climate Change* [8, 9] und des *World Business Council of Sustainable Development* [10]. Es wurden alle für die Zementherstellung erforderlichen Brennstoffe in die CO<sub>2</sub>-Bilanzierung aufgenommen. Die Berechnung der prozeßspezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen erfolgte aus der chemischen Zusammensetzung des Rohmehls. Zur Berechnung der biogenen, klimaneutralen CO<sub>2</sub>-Emissionen wurden für die verwendeten Ersatzbrennstoffe, die in Tabelle 5-10 angegebenen, auf Gesamtkohlenstoff bezogenen, biogenen Kohlenstoffanteile herangezogen.

Energieträger	2003	2004	2005	Bemerkungen zum biogenen Anteil
	[%]	[%]	[%]	
I) Altreifen, Reifengranulat	27,26	26,09	26,67	Naturkautschuk
J) Kunststoffabfälle	3,68	3,53	4,31	Etiketten-, Verpackungsreste
K) Altöl	0,00	0,00	0,00	
L) Lösungsmittel	0,00	0,00	0,00	
M) Altholz (imprägniert)	60,00	60,00		Holzanteil
N) Sägemehl (kontaminiert)				
O) sonstige fossile EBS	0,00	17,73	0,00	Naturkautschuk, Holzanteil
P) Papierfaserreststoff	100,00	100,00	100,00	
Q) Heizwertreiche Fraktion	44,00	44,00	44,00	Mischung mechanisch aufbereiteter Fraktionen
R) Altholz		95,00		
S) Sägemehl, Holzstaub***	100,00	100,00	100,00	
T) Klärschlamm	100,00	100,00	100,00	
U) Tiermehl	100,00	100,00	100,00	
V) Sonnenblumenschalen	100,00	100,00	100,00	
W) Pilzmyzel	100,00			
X) Tierfett	100,00	100,00	100,00	
Y) sonstige biogene EBS	95,00	95,40	95,37	landwirtschaftliches Gut

\*\*\* nicht kontaminiert

Tabelle 5-10: auf Gesamtkohlenstoff bezogene, biogene C-Anteile von Ersatzbrennstoffen  
(Jahresmittelwerte 2003, 2004, 2005)

Die Bilanzgrenzen wurden umfassend gewählt, sodaß alle für die Zementherzeugung relevanten Anlagen, die an der CO<sub>2</sub>-Freisetzung beteiligt sind, von der Bilanzierung erfaßt wurden. Von der Bilanzierung ausgeschlossen blieben Bereitstellungsemissionen für Brennstoffe, Zuschlagstoffe, Korrekturstoffe, für elektrische Energie sowie CO<sub>2</sub>-Emissionen aus dem Einsatz mobiler Verbrennungskraftmaschinen.

Abbildung 5-1 zeigt die von Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 freigesetzten Kohlendioxidemissionen.

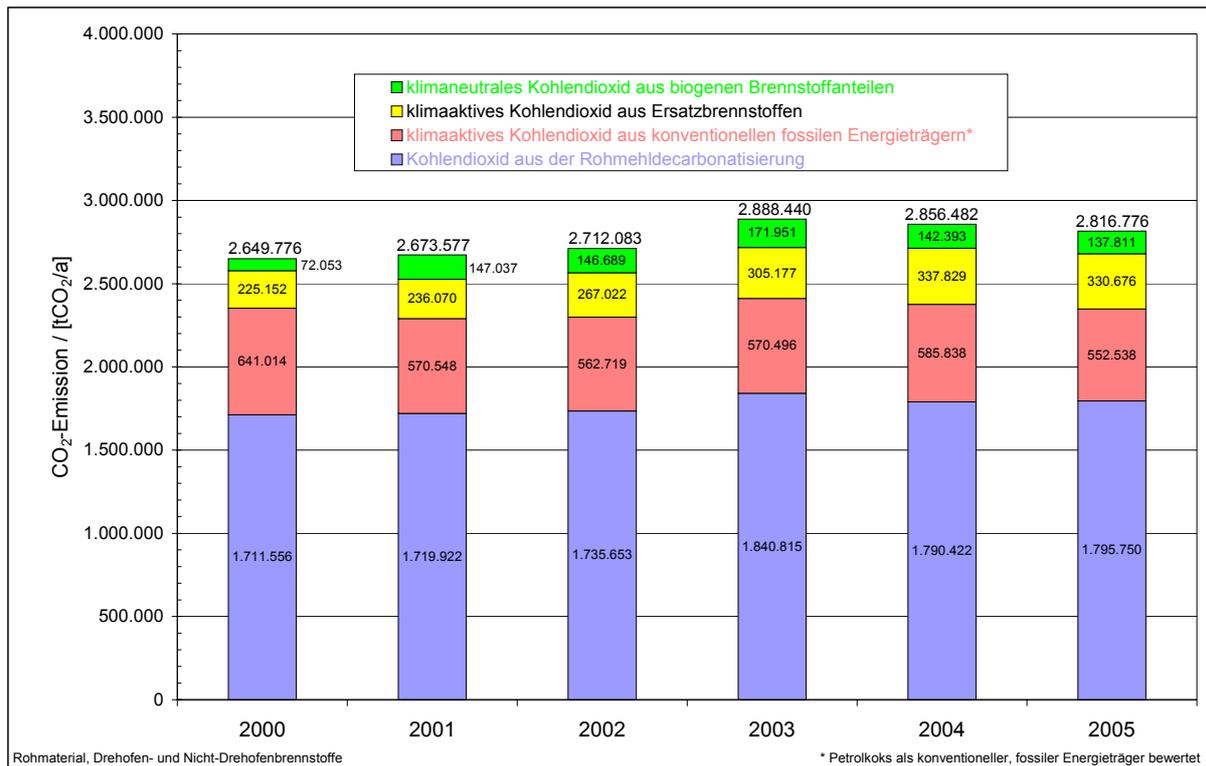


Abbildung 5-1: CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005

Im Bilanzzeitraum 2003 bis 2005 reduzierten sich die CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen einschließlich der CO<sub>2</sub>-Emissionen aus verfeuerten biogenen Kohlenstoffanteilen von ca. 2,888 Millionen Jahrestonnen im Jahr 2003 um ca. 2,5% auf annähernd 2,817 Millionen Jahrestonnen im Jahr 2005. Sowohl die geogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen als auch die pyrogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen waren im Bilanzzeitraum um ca. 2,5% rückläufig. So verringerten sich die geogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen um mehr als 45.000 Jahrestonnen auf ca. 1,796 Millionen Jahrestonnen. Die pyrogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen verzeichneten einen Rückgang um fast 26.600 Jahrestonnen auf ca. 1,021 Millionen Jahrestonnen. Aufgrund der eingeschränkten Verfügbarkeit vor allem von höherkalorischen Ersatzbrennstoffen mit biogenen Kohlenstoffanteilen wie Tiermehl und Tierfett reduzierte sich der Anteil der als klimaneutral bilanzierten biogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen von ca. 172.000 Jahrestonnen im Jahr 2003 um ca. 19,9% auf ca. 138.000 Jahrestonnen im Jahr 2005 (Abbildung 5-1).

Damit verringerte sich die auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische Kohlendioxidgesamtemission - inklusive biogenem CO<sub>2</sub>-Anteil - von 882 kg CO<sub>2</sub> je Tonne Klinker um 8 kg CO<sub>2</sub> je Tonne Klinker auf 874 kg CO<sub>2</sub> je Tonne Klinker. Dies entspricht einem unsystematischen Rückgang von ca. 0,9% (Abbildung 5-3). Während die auf die Tonne Klinker bezogene spezifische, geogene CO<sub>2</sub>-Emission im Bilanzzeitraum gleichfalls einen Rückgang um ca. 0,9% auf 557 kg CO<sub>2</sub> je Tonne Klinker zeigte, erhöhte sich die spezifische, pyrogene CO<sub>2</sub>-Emission aus der Verfeuerung von fossilen Brennstoffanteilen um 2,6% auf 274 kg CO<sub>2</sub> je Tonne Klinker. Die spezifischen, pyrogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verfeuerung biogener C-Anteile in den Brennstoffen reduzierten sich um ca. 18,9% auf 43 kg CO<sub>2</sub> je Tonne Klinker.

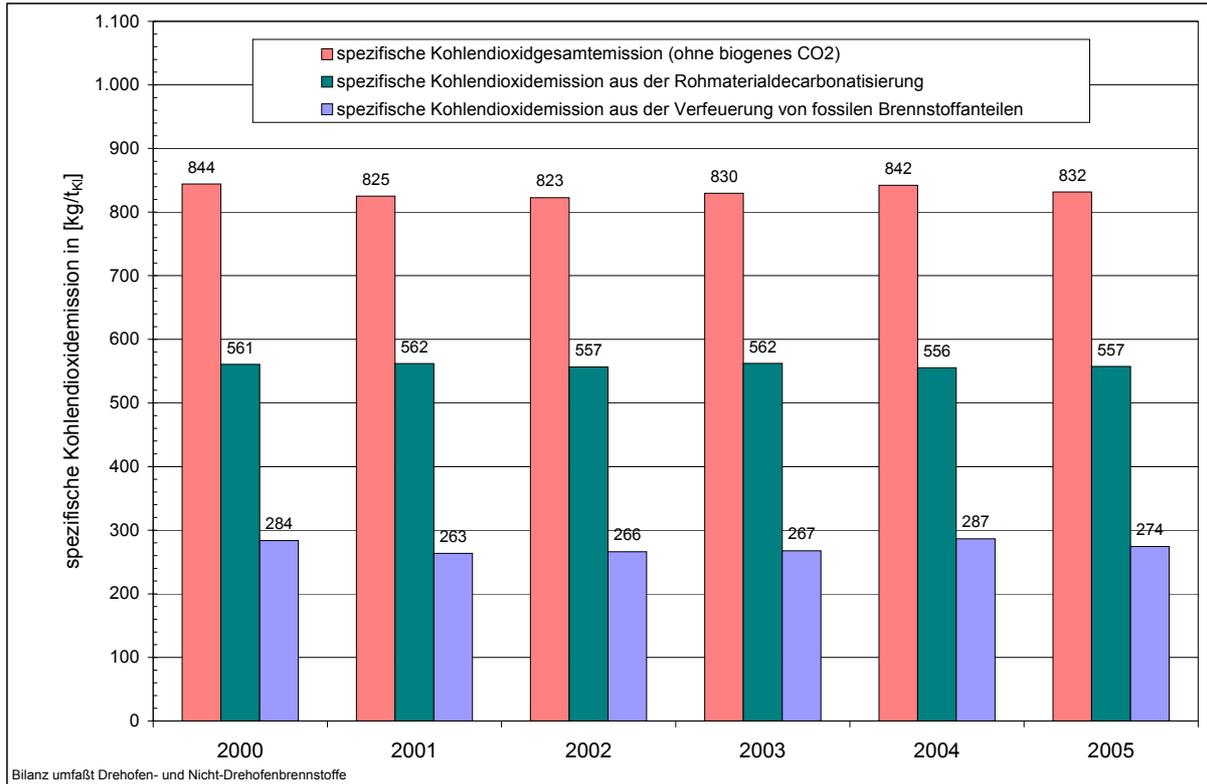


Abbildung 5-2: auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen (ohne biogene CO<sub>2</sub>-Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005



Abbildung 5-3: auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen (mit biogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005

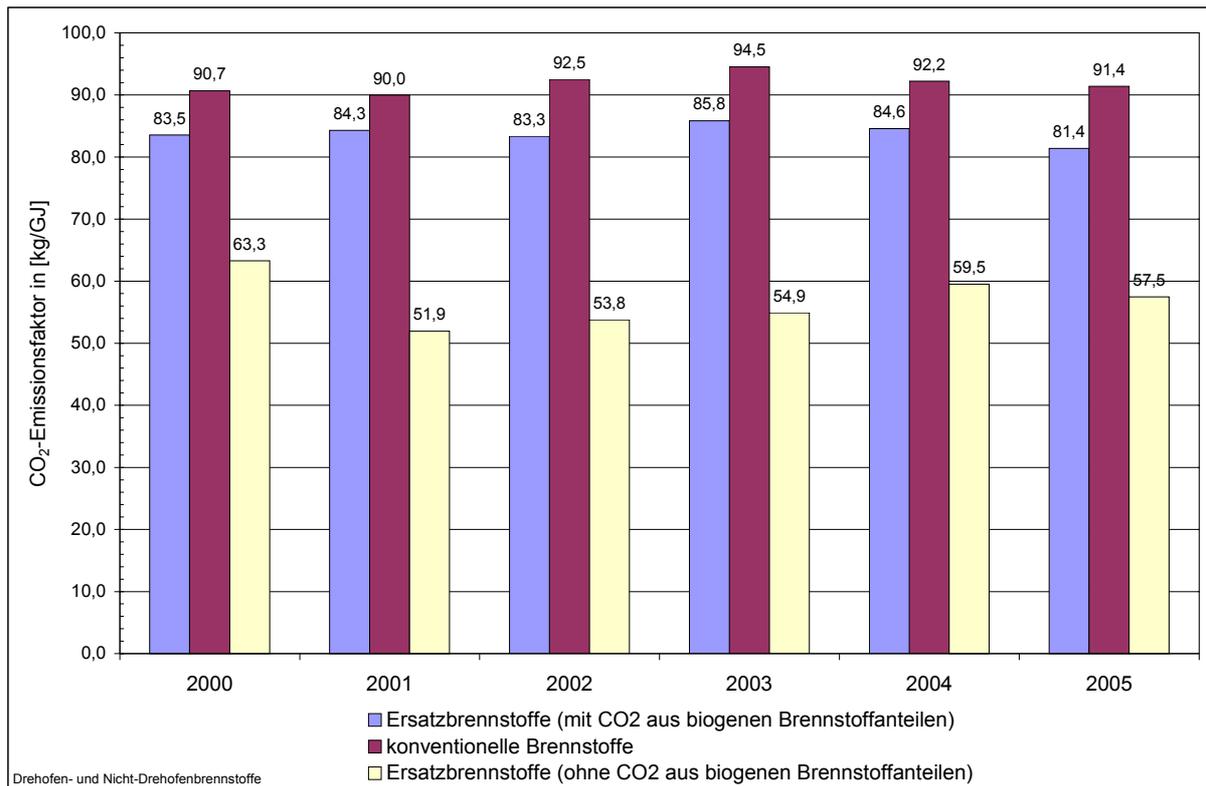


Abbildung 5-4: auf die Brennstoffwärmemenge bezogene, spezifische CO<sub>2</sub>-Emissionen (CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005

Der auf den Brennstoffwärmehalt bezogene CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den sektorspezifischen Brennstoffmix, errechnet aus den werkspezifischen, konventionellen Energieträgern, erniedrigte sich im Vergleichszeitraum 2003 bis 2005 systematisch von ca. 94,5 kgCO<sub>2</sub>/GJ um ca. 3,3% auf 91,4 kgCO<sub>2</sub>/GJ (Abbildung 5-4). Damit verbesserte sich aus der Sicht der CO<sub>2</sub>-Emissionsinventur die Qualität der verfeuerten konventionellen Brennstoffe. Unter Miteinbeziehungen der biogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen verringerte sich im Bilanzzeitraum der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für die in den Anlagen der österreichischen Zementindustrie verfeuerten Ersatzbrennstoffe von ca. 85,8 kgCO<sub>2</sub>/GJ im Jahr 2003 um ca. 5,1% auf 81,4 kgCO<sub>2</sub>/GJ. Damit verbesserte sich die Qualität der Ersatzbrennstoffe im Hinblick auf die energiebezogene CO<sub>2</sub>-Emissionsfreisetzung. Unter Nichtberücksichtigung der biogenen CO<sub>2</sub>-Emissionen konnte ein Anstieg des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors für Ersatzbrennstoffe von 54,9 kgCO<sub>2</sub>/GJ im Jahr 2003 auf 57,5 kgCO<sub>2</sub>/GJ im Jahr 2005, um 4,7% verzeichnet werden. Dies bedeutet, daß sich bei Nichtberücksichtigung der aus der Verfeuerung biogener Kohlenstoffanteile resultierenden CO<sub>2</sub>-Emissionen die Qualität der Ersatzbrennstoffe hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Freisetzung verschlechtert hat.

Berücksichtigt man neben der CO<sub>2</sub>-Freisetzung aus den verfeuerten Ersatzbrennstoffen zusätzlich die CO<sub>2</sub>-Emission aus den verbrannten konventionellen Energieträgern, so zeigt sich, daß der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den sektorenspezifischen Gesamtbrennstoffmix unter Mitberücksichtigung biogener CO<sub>2</sub>-Emissionen im Bilanzzeitraum von ca. 90,4 kg CO<sub>2</sub> je GJ Brennstoffwärmemenge im Jahr 2003 um ca. 4,3% auf 86,5 kg CO<sub>2</sub> je GJ Brennstoffwärmemenge rückläufig war (Abbildung 5-5). Der Kennwert sank ohne Berücksichtigung biogener CO<sub>2</sub>-Emissionen um ca. 0,9% auf 74,8 kg CO<sub>2</sub> je GJ Brennstoffwärmemenge. Aus Sicht der CO<sub>2</sub>-Freisetzung ist ein Rückgang des CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktors gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Brennstoffqualität und/oder des Ofenwirkungsgrades.

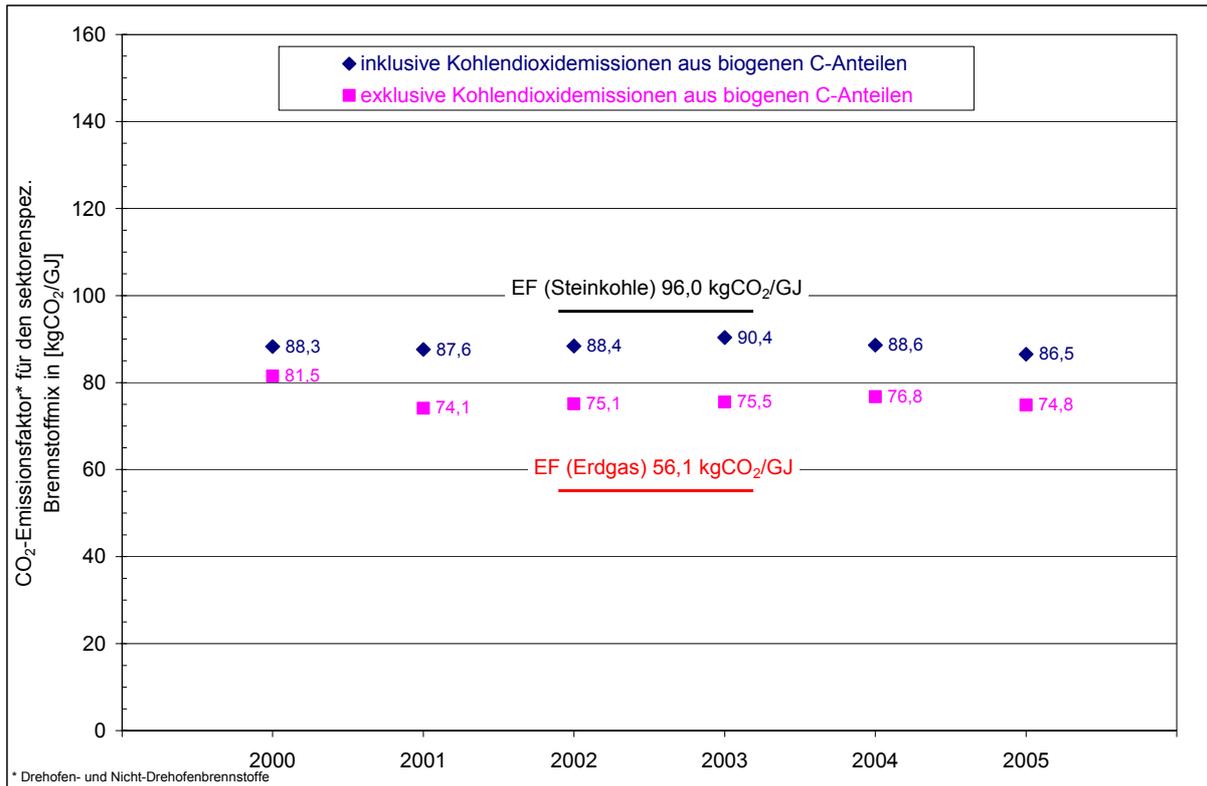


Abbildung 5-5: CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für den sektorspezifischen Brennstoffmix für die Beobachtungsjahre 2000 bis 2005 (zu Vergleichszwecken ist der IPCC Default -Wert für den CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktor für Erdgas mit 56,1 kg CO<sub>2</sub>/GJ und der für Steinkohle mit 96,0 kgCO<sub>2</sub>/GJ eingezeichnet)

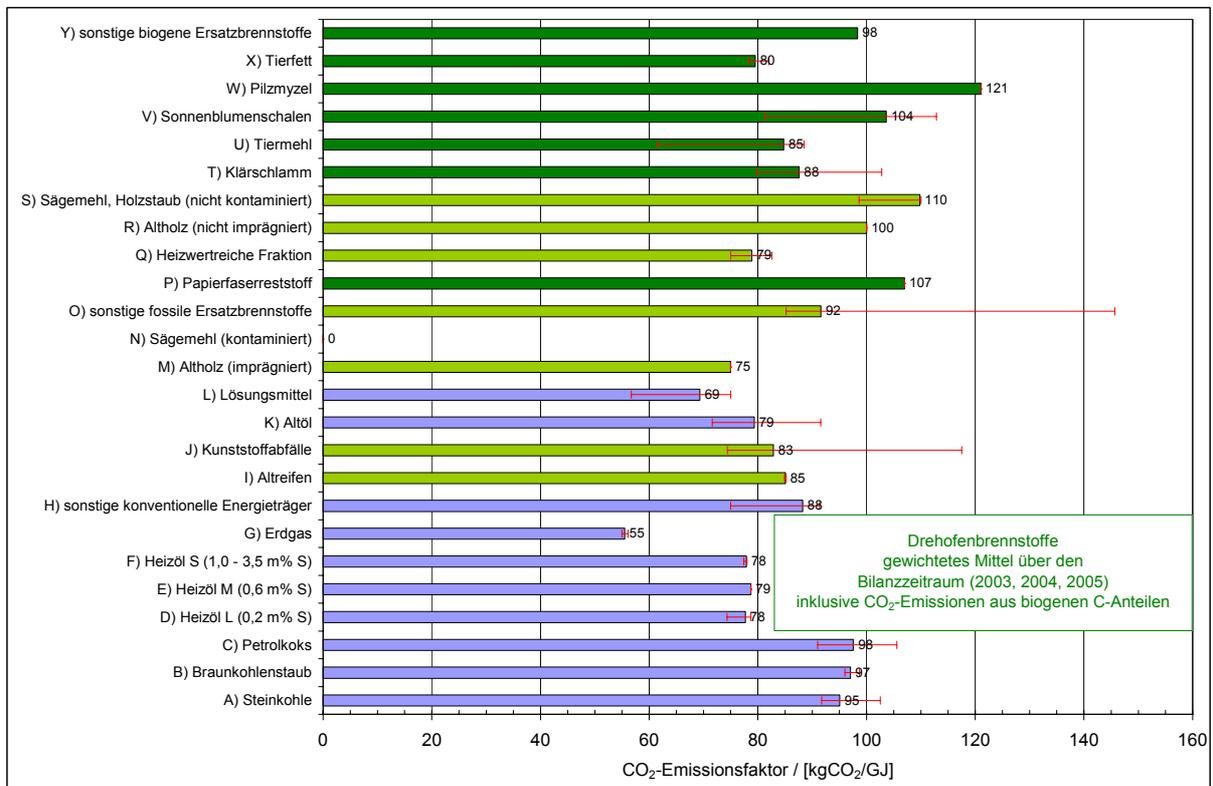


Abbildung 5-6: über den Bilanzzeitraum 2003, 2004 und 2005 mengengewichtete Mittelwerte von CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren unterschiedlicher Drehofenbrennstoffe (im Einsatzzustand, inklusive biogene CO<sub>2</sub>-Emissionen) mit werksspezifischen Minimal- und Maximalwerten

In Abbildung 5-6 werden die über den Bilanzzeitraum 2003 bis 2005 gewichteten Mittelwerte der CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren [kgCO<sub>2</sub>/GJ] von Drehofenbrennstoffen im Einsatzzustand dargestellt. Darüber hinaus finden sich in der Abbildung Angaben über die werksspezifischen Minimal- und Maximalwerte aus den Bilanzjahren 2003, 2004 bzw. 2005. Die angeführten Mittelwerte beinhalten CO<sub>2</sub>-Emissionen aus der Verfeuerung biogener C-Anteile in den Brennstoffen. Größere Schwankungen des CO<sub>2</sub>-Emissionskennwertes waren bei Kunststoffabfälle, Altöl, Lösungsmittelrückstände und Klärschlamm feststellbar - Schwankungen, die sich aus der Zusammensetzung i.g. Brennstoffe ergaben.

Als Resümee kann festgestellt werden:

Im Jahresvergleich 2003 zu 2005 erhöhte sich die spezifische CO<sub>2</sub>-Gesamtemission unter Ausschluß biogener CO<sub>2</sub>-Emissionen um 0,24% von ca. 830 kg CO<sub>2</sub> je Tonne Klinker auf ca. 832 kg CO<sub>2</sub> je Tonne Klinker. Damit betrug 2005 die absolute CO<sub>2</sub>-Gesamtemission ca. 2,679 Millionen Tonnen nach 2,716 Millionen Tonnen im Jahr 2003. Das der Anstieg der spezifischen CO<sub>2</sub>-Gesamtemissionen im Jahresvergleich 2003 zu 2005 aufgrund

- der Zunahme des spezifischen Brennstoffeinsatzes um 3,46% auf 3.663 MJ je Tonne Klinker und
- der um 2,74% geringeren Ofenleistung von 48,85 t Klinker je Ofenbetriebsstunde,

nicht deutlich höher als 0,24% ausfiel, läßt sich auf

- die Erhöhung des Substitutionsgrades für fossile Energieträger durch Ersatzbrennstoffe um ca. 1,7% auf 48,77% und
- die Reduzierung der spezifischen geogenen CO<sub>2</sub>-Emission aus der Rohmehldecarbonatisierung um ca. 0,9% auf ca. 557 kg CO<sub>2</sub> je Tonne Klinker zurückführen.

#### **5.3.4 Emissionskonzentrationen**

Tabelle 5-11 informiert über mittlere Jahresemissionskonzentrationen ausgewählter Schadstoffe die von österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkerproduktion 2005 freigesetzt wurden. Darüber hinaus werden die maximalen und minimalen Beurteilungswerte (Einzelmessungen, ggf. Monatsmittelwerte) die für die Berechnung der mittleren Emissionskonzentrationen herangezogen wurden, als Streubereichsgrenzen angegeben. Die Bezugssauerstoffkonzentration für alle genannten Konzentrationswerte wird gemäß [7] mit 10,0 Vol.-% berücksichtigt.

Vergleicht man die in Tabelle 5-11 ausgewiesenen Emissionskonzentrationen des Jahres 2005 mit jenen des Jahres 2002 [4] so zeigt sich, daß bei Thallium und Schwefeldioxid mit ca. 42,8% bzw. ca. 30,7% deutliche Rückgänge zu verzeichnen waren. Der Summenwert für Arsen, Cobalt, Nickel und Blei verringerte sich um ca. 26,1%, jener für Cadmium, Thallium und Beryllium um ca. 15,6%. Bei den Chlorverbindungen reduzierte sich der Kennwert um ca. 14,3%, jener für Fluorverbindungen um ca. 10,4%. Der Kennwert für staubförmige Emissionen<sup>e)</sup> erniedrigte sich um ca. 12,8%. Für Beryllium und für Stickstoffoxide reduzierte sich die mittlere Emissionskonzentration um ca. 4,4% bzw. ca. 3,7%. Im Gegensatz dazu erhöhten sich im Jahresvergleich 2002 zu 2005 die mittleren auf 10,0 Vol.-% Sauerstoff bezogenen Emissionskonzentrationen für das metallische Spurenelement Cadmium stark um ca. 180,6%. Für Quecksilber erhöhte sich der Kennwert um ca. 3,9%. Gleichfalls waren bei organischem Gesamtkohlenstoff mit ca. 6,2% und bei Kohlenmonoxid mit ca. 5,8% Steigerungen feststellbar.

Alle gemeldeten werksspezifischen Konzentrationswerte blieben deutlich unter den behördlich vorgegeben Grenzwerten.

Schadstoff	mittlere Emissionskonzentration [mg/m <sup>3</sup> (Vn)tr.]	maximale Emissionskonzentration [mg/m <sup>3</sup> (Vn)tr.]	minimale Emissionskonzentration [mg/m <sup>3</sup> (Vn)tr.]	Grenzwert [mg/m <sup>3</sup> (Vn)tr.]
Staubförmige Emissionen <sup>e)</sup>	8,99	12,96	3,66	50 <sup>a)</sup>
Stickstoffoxide (als NO <sub>2</sub> )	604,68	755,43	364,02	500 <sup>b)</sup> / 1.000 <sup>c)</sup>
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	53,75	154,07	2,62	200 <sup>a)</sup> / 400 <sup>d)</sup>
As, Co, Ni, Pb (insgesamt)	0,019312	0,051693	0,001326	1,0 <sup>a)</sup>
Cadmium (Cd)	0,003058	0,007500	0,000030	0,1 <sup>a)</sup>
Thallium (Tl)	0,004848	0,018752	0,000100	0,1 <sup>a)</sup>
Beryllium (Be)	0,001513	0,004083	0,000060	0,1 <sup>a)</sup>
Cd, Tl, Be (insgesamt)	0,009418	0,029930	0,000300	0,2 <sup>a)</sup>
Quecksilber (Hg)	0,016337	0,035439	0,003790	-
Chlorverbindungen (als HCl)	0,906	2,400	0,142	-
Fluorverbindungen (als HF)	0,112	0,204	0,080	-
Kohlenmonoxid (CO)	1.098,17	2.917,77	251,28	-
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	35,801	83,748	11,764	-

Symbolik: <sup>a)</sup> für Neu- und Altanlagen gültig ab 29. 01. 1998

<sup>b)</sup> für Neuanlagen gültig ab 29. 01. 1993

<sup>c)</sup> für Altanlagen gültig ab 31. 12. 1996

<sup>d)</sup> beim Vorliegen S-hältiger Rohstoffe, gültig ab 29. 01. 1998

<sup>e)</sup> ohne Staubemissionen aus „sonstigen definierten Quellen“ (Zementverordnung §5 Z.3)

Tabelle 5-11: Streubreite der mittleren Emissionskonzentrationen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) berechnet für das Jahr 2005 (Bezugssauerstoffkonzentration: 10,0 Vol.-%, angeführte Grenzwerte - unbeschadet anderer rechtlicher Regulative - nach [7])

## 6 Langjährige Entwicklung

Auf Basis der bereits publizierten Entwicklung in den Jahren 1988 bis 2002 [1, 2, 3, 4] soll in diesem Bericht auf einige Trends hingewiesen werden, die energie- und emissionsbezogen von besonderer Aktualität sind.

### ➤ Spezifischer Energieverbrauch

Vergleicht man die spezifischen Wärmeverbräuche pro Tonne Klinker seit 1994, so zeigt sich an den Dreijahresmittelwerten der letzten vier Berichtsperioden, daß diese Werte bis zur vorletzten Berichtsperiode gesenkt werden konnten. In der Periode 2003 bis 2005 mußte jedoch ein Anstieg um 3,36 % festgestellt werden (Tabelle 5-2, Seite 33).

### ➤ Ersatzbrennstoffe und Altstoffe

Der Einsatz von Ersatzbrennstoffen ist von 6,04 % in 1988 auf 48,77 % in 2005 gesteigert worden (Tabelle 5-5, Seite 35). Diese Entwicklung hat ökologische und ökonomische Vorteile gebracht. Eine einwandfreie thermische Behandlung unter energetischer und teils auch stofflicher Nutzung von Abfällen hat eine adäquate Schonung natürlicher Ressourcen gebracht und auch geholfen den Anstieg der Energiepreise abzufangen. Die Entlastung der Abfallwirtschaft hat sich auch auf den Einsatz von Sekundärrohstoffen und Sekundärzumahlstoffen erstreckt. Diese positive Entwicklung zeigt Tabelle 6-1. Im Jahr 2005 hat die thermische und stoffliche Verwertung von Abfällen in österreichischen Zementwerken (ohne Mahlwerke) ca. 1,48 Millionen Jahrestonnen erreicht. Es ist

jedoch anzumerken, daß diese starken Steigerungen eine Abflachung erfahren und weiter erfahren werden. Die Gründe hierfür liegen in feuerungstechnischen, verfahrenstechnischen und qualitätsbezogenen Faktoren.

	Durchschnitt					
Einsatzperiode	1988 - 1990	1991 - 1993	1994 - 1996	1997 - 1999	2000 - 2002	2003 - 2005
Einsatzmengen	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]	[t/a]
Ersatzbrennstoffe	46.075	74.642	89.897	119.282	208.965	257.764
Sekundärrohstoffe	64.958	81.720	79.737	160.376	280.988	310.700
Sekundärzumahlstoffe	684.861	775.904	617.923	597.165	685.617	834.119
<b>Summe</b>	<b>795.895</b>	<b>932.266</b>	<b>787.557</b>	<b>876.824</b>	<b>1.175.570</b>	<b>1.402.583</b>

Tabelle 6-1: Steigerung des Einsatzes von Ersatzbrennstoffen, Sekundärrohstoffen und Sekundärzumahlstoffen im Verlauf der letzten fünf Berichtsperioden (Periodenmittelwerte)

### ➤ Emissionen

Bei den klassischen Schadstoffen ist nach der erfolgreichen Reduktion der Staubemission von 51,60 g/t<sub>kl</sub> in 1997 auf 15,54 g/t<sub>kl</sub> in 2003 in den beiden Folgejahren wieder ein Anstieg auf 19,79 g/t<sub>kl</sub> in 2005 zu verzeichnen. Aus den Daten für 2005 ergibt die Kalkulation eine durchschnittliche Emissionskonzentration in der Größenordnung von knapp 9 mg/m<sup>3</sup>(Vn)<sub>tr</sub>. Reingas (bez. auf 10,0 Vol.-% O<sub>2</sub>) (Tabelle 5-11, Seite 46).

Bei den Stickstoffoxiden ist das Emissionsniveau des klinkerbezogenen Emissionsfaktors auf die Werte des Berichtszeitraumes 1997 bis 1999 zurückgefallen. Eine ähnliche Situation ist auch bei CO festzustellen, bei welchem der Mittelwert 2003 bis 2005, den Mittelwert 1997-1999 überschreitet. Bei den Halogenverbindungen konnte in 2005 für chlorhaltige Verbindungen der niedrigste Wert seit 1988 erreicht werden, für fluorhaltige Verbindungen liegen alle drei Jahreswerte tiefer als die seit 1988 bis 2002 errechneten Jahreswerte.

Jahr	Summe an metallischen Spurenelementen*		
	Massenstrom [t/a]	E-Faktor [g/t <sub>kl</sub> ]	E-Faktor [g/t <sub>ze</sub> ]
1988	1,243392	0,352325	0,275127
1989	1,211202	0,348226	0,270710
1990	1,307646	0,359985	0,284143
1991	1,511143	0,416189	0,313812
1992	1,366003	0,377296	0,298907
1993	1,388362	0,376433	0,285020
1994	1,633029	0,430750	0,342883
1995	1,041888	0,355596	0,271366
1996	1,021912	0,350455	0,270413
1997	0,986676	0,317943	0,252406
1998	0,810522	0,282507	0,220966
1999	0,906206	0,313373	0,247726
2000	0,671300	0,219884	0,165879
2001	0,614841	0,200841	0,152363
2002	0,543618	0,174336	0,133865
2003	0,489144	0,149400	0,112586
2004	0,541771	0,168106	0,124381
2005	0,531394	0,164970	0,116543

\* ausgenommen Sb, Cu, Sn

Tabelle 6-2: Emissionsdaten der metallischen Spurenelemente von 1988 bis 2005

Für den Bereich der metallischen Spurenelemente sind in Tabelle 6-2 für die Jahre seit 1988 die Gesamtmassenströme und die summierten klinker- bzw. zementbezogenen Emissionsfaktoren für die seit damals erfaßten 13 metallischen Spurenelemente (Summe aus Cd, Tl, Be, As, Co, Ni, Pb, Hg, Cr, Se, Mn, V, Zn) zusammengestellt. Der Verlauf der drei Datenreihen zeigt ein weitestgehend einheitliches Bild, das geprägt ist vom steigenden Einsatz von Ersatzbrennstoffen (sowie sekundären Roh- und Zumahlstoffen) einerseits und der

stetigen Verbesserung der Staubabscheidetechnik andererseits. Von 1988 ansteigend, erreichten alle drei Kenngrößen in 1994 ihren höchsten Wert. Von 1994 ab beginnen die Werte weitgehend systematisch zu sinken und erreichten in der Berichtsperiode 2003 bis 2005 ihre tiefsten Werte. Beim Massenstrom, beim klinkerbezogenen und beim zementbezogenen Emissionsfaktor liegt das Minimum in 2003. In den Werten des Jahres 2005 drückten sich Reduktionen gemessen an 1994 um ca. 67 % beim Massenstrom, um ca. 66 % beim zementbezogenen Emissionsfaktor und um ca. 62 % beim klinkerbezogenen Emissionsfaktor aus. Für die seit 2000 zusätzlich erfaßten drei Elemente Antimon, Kupfer und Zinn ist ein langjähriger Trend noch nicht erkennbar.

Neben dieser dargestellten generell positiven Entwicklung ist jedoch darauf hinzuweisen, daß von den nun erfaßten 16 Spurenelementen für Quecksilber, Antimon, Kupfer und Zinn die höchsten Werte für den klinkerbezogenen Emissionsfaktor in dieser Berichtsperiode liegen, wie der Tabelle 5-9 (Seite 39) zu entnehmen ist.

Schadstoff	Jahr	Industrie (Gesamt)	Zementindustrie	Anteil
		[t]	[t]	[%]
Stickstoffoxide (als NO <sub>2</sub> )	2004	35.233	4.571	12,97
	1992	40.400	6.495	16,08
Schwefeldioxid (SO <sub>2</sub> )	2004	10.684	538	5,04
	1992	35.400	1.033	2,92
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	2004	18.200	263	1,45
	1992	31.700	235	0,74

Tabelle 6-3: Anteile der Zementindustrie an den Emissionen der gesamten Industrie in Österreich in 2004 und 1992

Für einige klassische Schadstoffe hat die EU in einer Richtlinie nationale Emissionshöchstmengen (National Emission Ceilings - NEC) festgelegt. In der Luftschadstoffinventur 2004 des UBA [11] sind Daten für SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, NMVOC und NH<sub>3</sub> enthalten, nicht mehr jedoch solche für Staub, Schwermetalle und POP 5. Als Begründung wird Unschärfe der Daten angeführt. Für NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub> und TOC werden in Tabelle 6-3, die für 2004 sich ergebenden Anteile der Zementindustrie an den Emissionen der Gesamtindustrie in Österreich für 2004 angegeben und mit den Werten aus 1992 ergänzt. In diesen dreizehn Jahren hat sich eine deutliche Verringerung des Anteils bei den Stickstoffoxiden ergeben. Dem stehen gegenüber ebenso deutliche Zunahmen bei SO<sub>2</sub> und TOC. Für SO<sub>2</sub> würde diese Steigerung in 2005 geringer ausfallen, da die SO<sub>2</sub>-Emissionen der Zementindustrie in 2005 gegenüber 2004 stark reduziert werden konnten.

## **7 Zusammenfassung**

Die Entwicklungsperiode 2003 bis 2005 war gekennzeichnet von einigen divergierenden Entwicklungen. Ein leichter Rückgang bei der Klinkerproduktion war gekoppelt mit einem deutlichen Anstieg der Zementproduktion. Ebenfalls angestiegen sind der spezifische Energieverbrauch pro Tonne Klinker und pro Ofenstunde sowie die pro Tonne Klinker entstandene Abgasmenge. Desgleichen ist auch eine Erhöhung des gemessenen Sauerstoffgehaltes im Abgas zu verzeichnen.

Die Steigerung des Anteils an Ersatzbrennstoffen am thermischen Energieeinsatz hat weiter zugenommen, sich allerdings abgeflacht. Die Abnahme des durchschnittlichen Heizwertes aller Brennstoffe ist das Resultat eines deutlichen Rückganges des Heizwertes der konventionellen Energieträger und einer geringen Zunahme des Heizwertes bei den Ersatzbrennstoffen.

Im Bereich der klassischen Schadstoffe haben die spezifischen Emissionsfaktoren für Staub aber auch organischen Gesamtkohlenstoff zugenommen; für die anderen Komponenten (i.e. NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, chlor- und fluorhaltige Verbindungen, CO) sind Rückgänge zu verzeichnen. Eine Zunahme des klinkerbezogenen Emissionsfaktors zeigte auch der Summenfaktor aus den erfaßten 16 metallischen Spurenelementen. Die Emissionen von zehn metallischen Spurenelementen (Cd, Co, Ni, Pb, Cr, Se, Mn, V, Zn, Cu) zeigten Steigerungen. Bei den Emissionen von sechs metallischen Spurenelementen (Ti, Be, As, Hg, Sb, Sn) konnten Rückgänge verzeichnet werden. Die Gesamtemission an CO<sub>2</sub> hat im Bilanzzeitraum eine Reduktion um ca. 2,5 % erfahren.

**8 Tabellenverzeichnis**

1.)	Tabelle 2-1: erfaßte Schadstoffe .....	2
2.)	Tabelle 2-2: Vergleich Emissionsgrenzwerte V Verbrennung gefährlicher Abfälle und AVV .....	5
3.)	Tabelle 2-3: anlagentechnische Kenndaten zu den österreichischen Zementwerken (Ofenlinie).....	6
4.)	Tabelle 3-1: Anzahl der österreichischen Zementwerke, die über eine kontinuierliche Emissionsdatenerfassung (KMDE) verfügen.....	7
5.)	Tabelle 3-2: Anzahl der in die Datenerfassung aufgenommenen Einzelmessungen der österreichischen Zementwerke mit eigener Klinkerproduktion für den Vergleichszeitraum 2003 bis 2005 (exklusive Werte aus der kontinuierlichen Meßdatenerfassung KMDE) .....	8
6.)	Tabelle 4-1: Gesamtübersichtstabelle - Emissionen und Produktionsmittel der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 2000 bis 2005.....	11
7.)	Tabelle 5-1: energiebezogene Produktionskennzahlen .....	32
8.)	Tabelle 5-2: energiebezogene Mittelwerte der Perioden 2000 - 2002 und 2003 - 2005 .....	33
9.)	Tabelle 5-3: prozentuelle Beiträge der konventionellen Energieträger (KET) zur Jahresbrennstoffenergie des KET - Bereichs .....	34
10.)	Tabelle 5-4: prozentuelle Beiträge der Ersatzbrennstoffe (EBS) zur Jahresbrennstoffenergie des EBS - Bereichs.....	34
11.)	Tabelle 5-5: Einsatz von Ersatzbrennstoffen.....	35
12.)	Tabelle 5-6: spezifische Emissionsfaktoren der klassischen Schadstoffe .....	36
13.)	Tabelle 5-7: Mittelwerte klinkerbezogener Emissionsfaktoren in den Perioden 2000 - 2002 und 2003 - 2005 für ausgewählte Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie .....	36
14.)	Tabelle 5-8: spezifische Emissionsfaktoren metallischer Spurenelemente.....	37
15.)	Tabelle 5-9: klinkerbezogene Emissionsfaktoren metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Langzeitvergleich 1988 bis einschließlich 2005.....	39
16.)	Tabelle 5-10: auf Gesamtkohlenstoff bezogene, biogene C-Anteile von Ersatzbrennstoffen (Jahresmittelwerte 2003, 2004, 2005).....	40
17.)	Tabelle 5-11: Streubreite der mittleren Emissionskonzentrationen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) berechnet für das Jahr 2005 (Bezugssauerstoffkonzentration: 10,0 Vol.-%, angeführte Grenzwerte - unbeschadet anderer rechtlicher Regulative - nach [7]) .....	46
18.)	Tabelle 6-1: Steigerung des Einsatzes von Ersatzbrennstoffen, Sekundärrohstoffen und Sekundärzumahlstoffen im Verlauf der letzten fünf Berichtsperioden (Periodenmittelwerte) .....	47
19.)	Tabelle 6-2: Emissionsdaten der metallischen Spurenelemente von 1988 bis 2005 .....	47
20.)	Tabelle 6-3: Anteile der Zementindustrie an den Emissionen der gesamten Industrie in Österreich in 2004 und 1992.....	48

**9 Abbildungsverzeichnis**

1.)	Abbildung 2-1: Werksstandorte der österreichischen Zementindustrie .....	3
2.)	Abbildung 4-1: Rohmehleinsatzmenge, Klinkerproduktionsmenge und Zementproduktionsmenge der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 (ohne Mahlwerke).....	12
3.)	Abbildung 4-2: Klinkerfaktor und Rohmehlfaktor im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005.....	12
4.)	Abbildung 4-3: Entwicklung der Ofenleistung in den Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 .....	13
5.)	Abbildung 4-4: Einsatzmengen konventioneller Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 .....	14
6.)	Abbildung 4-5: Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 .....	15
7.)	Abbildung 4-6: detaillierte Darstellung der Einsatzmengen an restlichen Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 .....	15
8.)	Abbildung 4-7: Entwicklung des thermischen und elektrischen Energieeinsatzes in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005.....	17
9.)	Abbildung 4-8: Ersatzbrennstoffenergieanteil am thermischen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 (Petrolkoks wurde als konventioneller, fossiler Energieträger bewertet) .....	18
10.)	Abbildung 4-9: auf die Tonne Zement bzw. auf die Tonne Klinker bezogener spezifischer Brennstoffenergieeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 .....	19
11.)	Abbildung 4-10: mittlere Heizwerte der in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 eingesetzten Einsatzgemische an Brennstoffen (BS) unterteilt in konventionelle Energieträger (KET) und in Ersatzbrennstoffe (EBS).....	19
12.)	Abbildung 4-11: über den Bilanzzeitraum 2003, 2004 und 2005 mengengewichtete Mittelwerte von Heizwerten unterschiedlicher Drehofenbrennstoffe (im Einsatzzustand) mit werkspezifischen Minimal- und Maximalwerten .....	20
13.)	Abbildung 4-12: mittlerer spezifischer Energieeinsatz je Tonne Zement in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 2000 bis 2005 .....	21
14.)	Abbildung 4-13: Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes (exklusive elektrischer Energieeinsatz) bzw. Darstellung des spezifischen CO <sub>2</sub> -Emissionsmassenstroms und des spezifischen, trockenen Gesamtabgasnormvolumens (nicht auf 10,0 Vol.-% O <sub>2</sub> bezogen) in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung jeweils für den Zeitraum 2000 bis 2005 .....	22
15.)	Abbildung 4-14: Einsatzmengen sekundärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 2000 bis 2005 .....	23
16.)	Abbildung 4-15: Spezifizierung der im Zeitraum von 2000 bis 2005 in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) verwendeten sonstigen sekundären Rohstoffmassenströme .....	24
17.)	Abbildung 4-16: Einsatzmengen sekundärer Zuschlagstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 2000 bis 2005 (ohne Mahlwerke) .....	25
18.)	Abbildung 4-17: jährliche Emissionen an Stickoxiden (als NO <sub>2</sub> ), an Schwefeldioxid, an organischem Gesamtkohlenstoff und an Staub aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 2000 bis 2005 .....	26

19.)	Abbildung 4-18: zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO <sub>2</sub> ), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Klinker (2000 - 2005, ohne Mahlwerke).....	26
20.)	Abbildung 4-19: zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO <sub>2</sub> ), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Zement (2000 - 2005, ohne Mahlwerke).....	27
21.)	Abbildung 4-20: 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 2000 bis 2005 (ohne Mahlwerke).....	27
22.)	Abbildung 4-21: zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an Kohlendioxid und Kohlenmonoxid aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) jeweils für den Zeitraum 2000 bis 2005.....	28
23.)	Abbildung 4-22: Emissionen diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 2000 bis 2005 .....	29
24.)	Abbildung 4-23: klinkerbezogene Emissionsfaktoren diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 2000 bis 2005 .....	30
25.)	Abbildung 4-24: Staubmassenstrom aus "sonstigen definierten Quellen" nach "Zementverordnung" § 5 Z.3 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 .....	31
26.)	Abbildung 4-25: staubförmige Emissionen unter Berücksichtigung von Staubemissionen aus "sonstigen definierten Quellen" nach "Zementverordnung" § 5 Z.3 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005.....	31
27.)	Abbildung 5-1: CO <sub>2</sub> -Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 .....	41
28.)	Abbildung 5-2: auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen (ohne biogene CO <sub>2</sub> -Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 .....	42
29.)	Abbildung 5-3: auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen (mit biogenen CO <sub>2</sub> -Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 .....	42
30.)	Abbildung 5-4: auf die Brennstoffwärmemenge bezogene, spezifische CO <sub>2</sub> -Emissionen (CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 2000 bis 2005 .....	43
31.)	Abbildung 5-5: CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor für den sektorspezifischen Brennstoffmix für die Beobachtungsjahre 2000 bis 2005 (zu Vergleichszwecken ist der IPCC Default -Wert für den CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktor für Erdgas mit 56,1 kg CO <sub>2</sub> /GJ und der für Steinkohle mit 96,0 kgCO <sub>2</sub> /GJ eingezeichnet).....	44
32.)	Abbildung 5-6: über den Bilanzzeitraum 2003, 2004 und 2005 mengengewichtete Mittelwerte von CO <sub>2</sub> -Emissionsfaktoren unterschiedlicher Drehofenbrennstoffe (im Einsatzzustand, inklusive biogene CO <sub>2</sub> -Emissionen) mit werksspezifischen Minimal- und Maximalwerten .....	44

---

**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] Hackl, A.; Mauschitz G.: „Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie III“, Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H. Wien (2001) 44S.
- [4] Hackl, A.; Mauschitz G.: „Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie IV“, Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H. Wien (2003) 52S.
- [5] „389. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und des Bundesministers für Wirtschaft und Arbeit: Abfallverbrennung – Sammelverordnung (AVV)“, ausgegeben am 25. Oktober 2002
- [6] „32. Verordnung des Bundesministers für wirtschaftliche Angelegenheiten über die Verbrennung gefährlicher Abfälle in gewerblichen Betriebsanlagen“, ausgegeben am 28. Jänner 1999
- [7] „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)
- [8] IPCC 1996: "Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories"
- [9] IPCC 2000: "Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories", May 2000
- [10] WBCSD 2001: „The Cement CO<sub>2</sub> Protocol: CO<sub>2</sub> Emissions Monitoring and Reporting Protocol for the Cement Industry“, October 2001
- [11] Umweltbundesamt: „Bundesländer Luftschadstoff - Inventur 1990 bis 2004“, UBA-REP 0042, Wien 2006