

Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie IV

A. Hackl / G. Mauschitz



Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie IV

Jahresreihe 2000 - 2002

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

Dipl.-Ing. Dr. techn. Gerd Mausitz
Institut für Verfahrenstechnik, Umwelttechnik und
Technische Biowissenschaften- TU-Wien

Weitra/Wien, im Dezember 2003

Inhaltsverzeichnis

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

1. Einleitung

Im Berichtszeitraum 2000 bis einschließlich 2002 hat die österreichische Zementindustrie nach Jahren des Produktionsrückganges und der Stagnation wieder eine systematische Zunahme der installierten Klinkerkapazität und der Produktion aufzuweisen. In diesen drei Jahren wurde auch der Einsatz von Ersatzbrennstoffen von 33,47% auf 44,94% des thermischen Energiebedarfes gesteigert. Diese Entwicklung wurde begleitet von Änderungen der gesetzlichen Rahmenbedingungen für das Verbrennen von Abfällen und gefährlichen Abfällen in Zementwerken.

Noch 1999 wurden zwei Verordnungen für das Verbrennen von gefährlichen Abfällen herausgegeben, eine von BM für Umwelt, Jugend und Familie, die zweite vom BM für wirtschaftliche Angelegenheiten. Es war daher auch aus abfallwirtschaftlicher Sicht zu begrüßen, dass 2002 eine vom Ministerium für Umwelt und vom Ministerium für Wirtschaft und Arbeit gemeinsam getragene Verordnung für die Verbrennung von Abfällen (AVV) herausgegeben wurde, die alle Arten von Abfällen, Mono- und Mitverbrennung sowie Alt- und Neuanlagen erfasst. In Anlage 2 der AVV sind die Emissionsgrenzwerte für Anlagen zur Zementerzeugung zusammengefasst. Die darin geforderten Grenzwerte sind ab 28. Dezember 2005 einzuhalten, wobei für Staub und NO_x auch der 31. Oktober 2007 Geltung erlangen kann.

Neben den klassischen Schadstoffen hat auch die Klimaproblematik und mit ihr das Treibhausgas CO₂ dynamisch an Bedeutung gewonnen. Ein Faktor der im besonderen für die Zementindustrie mit ihrer prozessbezogenen CO₂-Emission besondere Wichtigkeit besitzt und neben den Eisen- und Stahlhütten, die jedoch eine wesentlich höhere Wertschöpfung pro Tonne prozessbezogenes CO₂ erzielen, zu einer existenzbedrohenden Situation führen kann. Dies ist der Grund dafür, dass einige Darlegungen aus dieser Emissionsbilanzierung auch bei der Erarbeitung des Allokationsplanes für die CO₂-Zertifikatszuteilung Verwendung fand.

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 (CO₂).

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

klassische Luftschadstoffe	metallische Spurenelemente*	klimarelevante Schadgase
staubförmige Emissionen	Cadmium (Cd)	geogenes CO ₂
Stickstoffoxide (als NO ₂)	Thallium (Tl)	pyrogenes CO ₂
Schwefeldioxid (SO ₂)	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 ** Sb, Cu und Sn werden erst seit 2000 erhoben

Tabelle 2-1: erfasste Schadstoffe

Die Emissionsbilanz wurde ergänzt um:

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

2.2 Erfassungszeitraum

Die Emissionsinventur erfolgte für die Bilanzjahre 2000, 2001 und 2002. Gemeinsam mit den in den Studien [11, 12, 13] veröffentlichten Daten liegt nun eine geschlossene Zeitreihe über fünfzehn Jahre vor, somit können Trendanalysen und Mittelwertbildungen auf einer breiteren Datenbasis abgestützt werden und Aussagequalitäten von weniger systematischen Einflussgrößen unabhängiger gemacht werden.

2.3 Erfasste Anlagen

Es wurden alle Klinkerproduktionsanlagen der Zementindustrie in Österreich erfasst. Es wurden folgende 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 Perlmooser AG (Betriebsstandort: Mannersdorf)
- Lafarge Perlmooser AG (Betriebsstandort: Retznei)
- Schretter & Cie (Vils)
- Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH (Peggau)
- Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH (Wietersdorf)
- Wopfinger Baustoffindustrie GmbH (Waldegg)

Kenndaten zur Anlagentechnik, Angaben zu den verfeuerten Brennstoffen und der jeweils installierten Klinkerkapazität sind für die einzelnen Werksstandorte der österreichischen Zementindustrie in Tabelle 2-2 (Seite 6) zusammengefasst.

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.

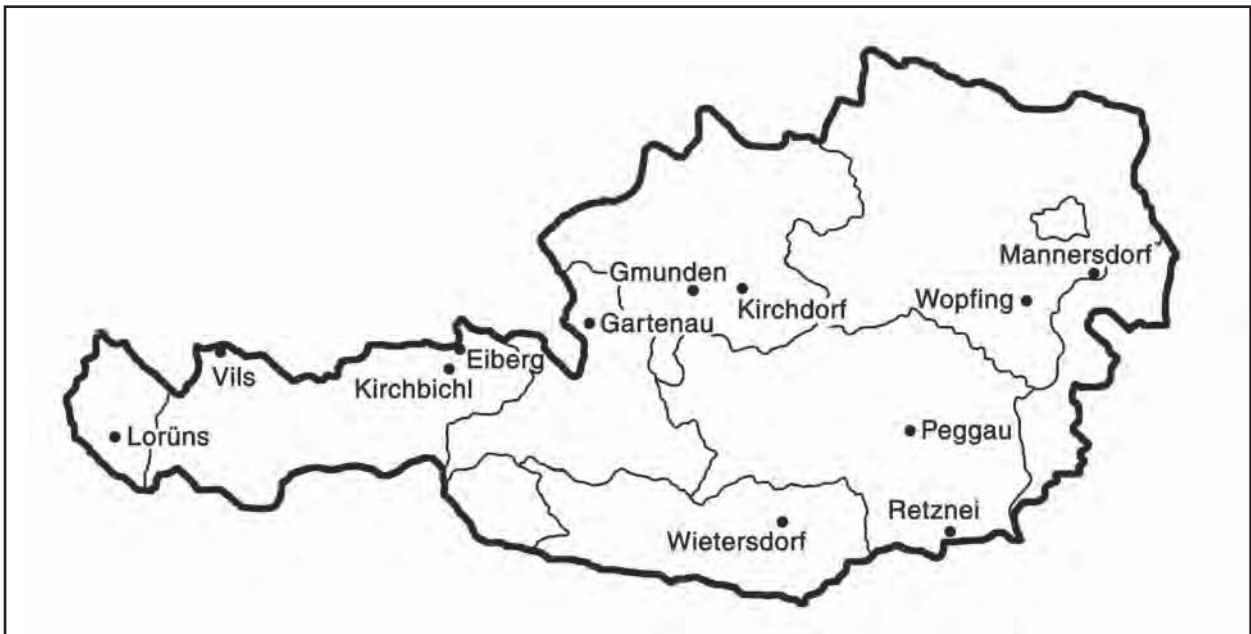


Abbildung 2-1: Werksstandorte der österreichischen Zementindustrie

Anlagenbetreiber	Standort	Anlagentechnik (31.12.2002)	Lieferant / Zustellung	Klinkerkühler (31.12.2002)	Entstaubung (1) (31.12.2002)	Brennstoffe (2) (im Bilanzzeitraum)	installierte Klinkerkapazität (01.01.2000) [t/Jahr]	installierte Klinkerkapazität (31.12.2002) [t/Jahr]
Zementwerk Leube Ges.m.b.H.	Gartenau	2 vierstufige WT-DO, DOI mit Vorcalz.	KHD (DOI 1960, DOI 1967)	2 Schrägrostkühler	3 E-Filter	SK, BK, Ö, G, R, K, SM, TM, TF	576.000	766.500
Gmundner Zement Produktions- und Handels GmbH	Gmunden	5stufiger WT-DO	Polysius (DOI 1972 / 92)	Satellitenkühler	2 E-Filter in Serie	SK, Ö, G, R, K, AÖ, LM, TF	512.000	512.000
Kirchdorfer Zement- werk Hofmann Ges.m.b.H.	Kirchdorf	2 vierstufige WT-DO	KHD (DOI 1957/58 DOI 1962)	2 Schrägrostkühler	3 E-Filter	SK, PK, G, SM, TM, AÖS, HWF	462.000	462.000
Lafarge Perlimooser AG	Mannersdorf	2strang. 5stufig.WT-DO mit Vorcalz.	VOEST (DOI 1984)	1 Rostkühler	3 E-Filter, DO mit Abreinigungsfilter	SK, PK, Ö, G, K, AÖ, TM, LR	809.000	809.000
Wietersdorfer & Peggauer Zement- werke GmbH	Peggau	Lepolverfahren 2 DO	Polysius (DOI 1961, DOI 1979)	2 Rostkühler	1 E-Filter	SK, PK, Ö, G, K, AÖ, LM, TM, TF, KL	418.000	418.000
Lafarge Perlimooser AG	Retznei	4stufiger WT-DO, SO ₂ - 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, DOI 1973)	2 Rostkühler	2 E-Filter, DO mit Abreinigungsfilter	BK, Ö, R	240.000	256.000
Wietersdorfer & Peggauer Zement- werke GmbH	Wietersdorf	Lepolverfahren 1 DO	Polysius (DOI 1967)	Rostkühler	1 E-Filter, DO mit Abreinigungsfilter	SK, G, K, TM, HWF	338.000	360.000
Wopfinger Baustoff- industrie GmbH	Wopfing	5stufiger WT-DO mit Vorcalzinator	Polysius (1980) (1996)	Rostkühler	2 E-Filter in Serie und 1 Kiesbetfilter	BK, Ö, G, P, K, TM, TF	240.000	240.000
						<i>Summe</i>	<i>4.034.000</i>	<i>4.262.500</i>
Symbolik:	SK Steinkohle BK Braunkohlenstaub LM Lösungsmittel K Kunststoffabfälle P Papierfaserreststoff AÖ Altöl (intern anfallendes und zugeliefertes)	G Erdgas AÖS Altöl getränktes Sägemehl PK Petrolkoks R Altreifen Ö Heizöl (S) Altöl (intern anfallendes und zugeliefertes)	SM nicht kontam. Sägemehl TM Tiermehl TF Tierfett HWF heizwertreiche Fraktion LR landwirt. Rückstände KL Klärschlamm		(1) Entstaubungsanlagen für Drehrohrabgase und für Kühlerabluft (bei Wärmetauscheröfen inkl. Rohmaterialtrocknungsanlagen) (2) Einsatzbereich Ofenlinie			

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

3. Datenermittlung

In Analogie zu den Vorgängerstudien [11, 12, 13] erfolgt die Datenermittlung für jedes in der Bilanz berücksichtigte Zementwerk in individueller Weise durch Besichtigung der Produktionsanlagen und durch Erfassung und Auswertung der werkseigenen Aufzeichnungen. Darüber hinaus waren die im Auftrag des jeweiligen Werksbetreibers erstellten Prüfberichte und Gutachten von unabhängigen Instituten und wissenschaftlichen Einrichtungen eine wichtige Datengrundlage für die vorliegende Studie. Die so erfassten und in ihrer Dokumentation überprüften werksspezifischen Analysedaten lagen je nach Schadstoff, entweder als mehrmals jährlich durchgeführte Einzelmessungen, oder als Halbstundenmittelwerte vor, sofern es sich um kontinuierlich erfasste Schadstoffe handelte. Tabelle 3-1 informiert über die kontinuierlich erfassten Schadstoffe in österreichischen Zementwerken.

Die Einzelmess- bzw. Halbstundenmittelwerte wurden für jedes einzelne Werk zu mittleren Jahresemissionskonzentrationen zusammengefasst. Die Bezugssauerstoffkonzentration wurde ordnungsgemäß [1] mit 10,0 Vol.-% O₂ 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

X	Emission	Anzahl von Werken die über KMDE verfügen		
		2000	2001	2002
		[-]	[-]	[-]
1	staubförmige Emissionen	9 von 9	9 von 9	9 von 9
2	Stickstoffoxide (als NO ₂)	9 von 9	9 von 9	9 von 9
3	Schwefeldioxid (SO ₂)	9 von 9	9 von 9	9 von 9
11	Quecksilber (Hg)	1 von 9	1 von 9	1 von 9
19	org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	2 von 9	2 von 9	2 von 9
20	Kohlenmonoxid (CO)**	4 von 9	4 von 9	4 von 9

** alle Werke erfassen CO als Prozessleitgröße nach dem Drehrohr

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

Tabelle 3-2: Anzahl der in die Datenerfassung aufgenommenen Einzelmessungen der österreichischen Zementwerke mit eigener Klinkerproduktion für den Vergleichszeitraum 2000 bis 2002 (exklusive Werte aus der kontinuierlichen Messdatenerfassung KMDE)

X	Emission	Anzahl / Messungen		Anzahl / Messungen		Anzahl / Messungen		Anzahl / Messungen
		2000	2000	2001	2001	2002	2002	2000 - 2002
		[-]	[%]	[-]	[%]	[-]	[%]	[-]
1	staubförmige Emissionen	28	6,3	27	5,4	34	6,6	89
2	Stickstoffoxide (als NO ₂)	27	6,1	29	5,8	34	6,6	90
3	Schwefeldioxid (SO ₂)	27	6,1	39	7,8	44	8,6	110
4	Cadmium (Cd)	18	4,0	22	4,4	21	4,1	61
5	Thallium (Tl)	18	4,0	22	4,4	21	4,1	61
6	Beryllium (Be)	18	4,0	20	4,0	21	4,1	59
7	Arsen (As)	15	3,4	18	3,6	16	3,1	49
8	Cobalt (Co)	15	3,4	18	3,6	16	3,1	49
9	Nickel (Ni)	15	3,4	18	3,6	16	3,1	49
10	Blei (Pb)	18	4,0	20	4,0	17	3,3	55
11	Quecksilber (Hg)	31	7,0	28	5,6	30	5,9	89
12	Chrom (Cr)	17	3,8	20	4,0	16	3,1	53
13	Selen (Se)	1	0,2	2	0,4	3	0,6	6
14	Mangan (Mn)	9	2,0	10	2,0	8	1,6	27
15	Vanadium (V)	7	1,6	9	1,8	8	1,6	24
16	Zink (Zn)	13	2,9	13	2,6	16	3,1	42
26	Antimon (Sb)	16	3,6	12	2,4	16	3,1	44
27	Kupfer (Cu)	14	3,1	14	2,8	14	2,7	42
28	Zinn (Sn)	14	3,1	12	2,4	16	3,1	42
17	chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	18	4,0	19	3,8	18	3,5	55
18	fluorhaltige Verbindungen (als HF)	18	4,0	19	3,8	16	3,1	53
19	org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	28	6,3	30	6,0	35	6,8	93
20	Kohlenmonoxid (CO)	28	6,3	34	6,8	32	6,3	94
23+24	Kohlendioxid (CO ₂)	32	7,2	48	9,5	44	8,6	124
Summe 1-24		[-]	445	503		512		1460
		[%]	30,48	34,45		35,07		100,00

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 [11, 12, 13] vorgenommen werden. Zu diesem Zweck wurde werksübergreifend für jeden in der Studie erfassten Schadstoff alle verfügbaren Messwerte (1988 bis 2002) 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 Bilanzierung nur jener Produktionsanlagen Anwendung, die von 2000 bis 2002 keinerlei werksspezifische Analysen für den speziellen Schadstoff aufweisen konnten. Aufgrund mangelnder Datenverfügbarkeit in einzelnen Werken musste bei der Emissionsbilanzierung von Selen auf den Einsatz von Emissionsfaktoren aus Analogierechnungen zurückgegriffen werden.

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

Da in der vorliegenden Bilanz Emissionen der metallischen Spurenelemente *Antimon*, *Kupfer* und *Zinn* [2] erstmals erhoben wurden, stehen dafür keine Vergleichszahlen aus den Berichtszeiträumen der Vorgängerstudien [11, 12, 13] zur Verfügung.

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.

Ein Vergleich der Zahlenwerte der vorliegenden Studie mit den in den Vorgängerstudien [11, 12, 13] publizierten Ergebnissen ist aufgrund des unverändert gebliebenen Ermittlungsverfahrens – sofern Vergleichszahlen vorliegen – möglich. Im Zuge der Erhebung zur vorliegenden Emissionsinventur haben einige bereits in [13] für 1997, 1998 und 1999 veröffentlichte Werte durch bisher unberücksichtigt gebliebene Emissionsmesswerte, durch eine teilweise Neubewertung bestehender Daten, durch Zuordnungsprobleme bei einzelnen werksspezifischen Einsatzstoffmassenströmen eine Neubewertung erfahren, deren Ergebnisse in Tabelle 4-1 berücksichtigt wurden.

Die „Zementverordnung“ [1] §5, Z. 3 sieht neben der kontinuierlichen Messung von Gesamtstaub (Ofenlinie), auch die periodische Ermittlung der Staubemissionen aus „allen sonstigen definierten Emissionsquellen“ vor. In der vorliegenden Studie werden diese Emissionen wie erstmals in [13] quantifiziert. Im Sinne i.g. Berichtes umfasst die Emissionskategorie Staubemissionen aus „allen sonstigen definierten Emissionsquellen“ alle Staubbefreiungen aus Anlagenteilen die den Einrichtungen zur Ofenabgasentstaubung vor- bzw. nachgeschaltet sind. Schwer erfassbare, diffuse Staubemissionen (Winderosion an Halden und Fahrwegen, Schüttgutabwurf,...) fand keine Aufnahme in die Bilanz. Die Bilanz umfasst beispielsweise Staubemissionen aus lokalen Entstaubungseinrichtungen installiert in der Rohmaterialtrocknung, bei der Granulierung, in den Brennstoff- und Rohmehlmühlen, sowie in den Brennstoff- und Rohmateriallagern. Ferner werden Staubemissionen aus lokalen Entstaubungseinrichtungen, die bei der Vermahlung, Lagerung und dem Transport von Klinker, Zuschlagstoffen und Zement eingesetzt werden erfasst. Aufgrund der ungenügenden Datenlage war eine Bilanzierung der im vorgelagerten Rohmaterialbergbau anfallenden Staubemissionen nicht möglich.

Die Zementverordnung [1] sieht eine Erfassung der Staubbefreiungen aus „allen sonstigen definierten Emissionsquellen“ in Zeitintervallen von fünf Jahren vor. Lagen für den Bilanzzeitraum 2000 bis einschließlich 2002 keine aktuellen werkseigenen Zahlenwerte für diese Emissionskategorie vor, so wurden die zuletzt verfügbaren werksspezifischen Werte fortgeschrieben.

Für die vorliegende Studie wurde neben dem Brennstoffenergieeinsatz für die Klinkererzeugung auch die verwendete Menge an elektrischer Energie zur Zementerzeugung in den Werken mit Ofenbetrieb erhoben. Dabei wurde der elektrische Energiebedarf aller für die Zementproduktion notwendigen Einrichtungen erfasst. Strom für Beleuchtungszwecke, zur Raumheizung, zur Warmwasserbereitung, etc., bzw. Strom für die Produktion anderer Wertstoffe als Zement blieben – sofern nicht anders angegeben – unberücksichtigt.

Ein eigenes Kapitel dieser Studie ist der umfassenden Bilanzierung der Kohlendioxidemissionen, unterteilt in prozessspezifisches CO₂ und in pyrogenes CO₂, unter Angabe klimaneutraler, biogener CO₂-Emissionsanteile, gewidmet (Kapitel 7 „Kohlendioxidemissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie“, Seite 40).

4. Ergebnisse, numerische und grafische 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 (Gesamtübersichtstabelle über den Zeitraum von 1997 bis einschließlich 2002) und in den anschließenden Diagrammen graphisch aufbereitet.

Zwecks besserer Vergleichbarkeit wurden einige Darstellungen mit Daten der Berichte [11, 12, 13] ergänzt.

Tabelle 4.1: Gesamtübersichtstabelle – Emissionen und Produktionsmittel der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 1997 bis 2002

Emissionen und Produktionsmittel der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke)													
I Anlagendaten													
Anlagenzahl													
Österreichweit waren 2002 (1999) 3 (3) Leplöfen mit 778.000 (756.000), 6 (6) WT-DO mit 2.067.500 (1.861.000) sowie 3 (3) WT-DO + Kalzinator mit 1.417.000 (1.417.000) t/a betriebsbereit.													
Mit der 2002 (2000 bzw. 2001) installierten Gesamtanlagenkapazität von ca. 4.034.000 t/a (ca. 4.034.000 t/a) wurden die unter II angeführten Jahresmengen produziert.													
II Produktionsdaten		1997		1998		1999		2000		2001		2002	
	[t/a]	Hu/ [MJ/kg]	[GJ/a]	[t/a]	Hu/ [MJ/kg]	[GJ/a]	[t/a]	Hu/ [MJ/kg]	[GJ/a]	[t/a]	Hu/ [MJ/kg]	[GJ/a]	[t/a]
Rohmehleinsatz	[t/a]		5.056.336	4.614.457		4.648.493		4.890.919		4.911.083		4.890.919	
Klinkerproduktion	[t/a]		3.103.312	2.869.085		2.891.785		3.052.974		3.061.338		3.052.974	
Zementproduktion	[t/a]		3.909.083	3.688.076		3.658.102		4.046.916		4.035.382		4.046.916	
Ofenbetriebsstunden ^{a)}	[hOB/a]		65.531	59.515		57.799		60.732		62.057		60.732	
Rohmehlfaktor	[tRm/tKl]		1.629	1.608		1.607		1.602		1.604		1.602	
(korrigierter*) Klinkerfaktor	[tKl/tZel]		0,786*	0,776*		0,779*		0,754*		0,753*		0,750*	
			0,794	0,782		0,791		0,754		0,759		0,750	
III Konventionelle Energieträger (KET)													
	[t/a]	Hu/ [MJ/kg]	[GJ/a]	[t/a]	Hu/ [MJ/kg]	[GJ/a]	[t/a]	Hu/ [MJ/kg]	[GJ/a]	[t/a]	Hu/ [MJ/kg]	[GJ/a]	[t/a]
A) Steinkohle		30,30	200.241	6.068.301	29,74	159.331	4.737.883	29,63	131.580	3.899.187	28,60	166.965	4.370.068
B) Braunkohlenstaub		21,98	7.434	163.407	22,19	4.791	106.295	22,12	11.774	260.476	21,85	35.023	765.330
C) Heizöl L (0,2 m% S)		41,13	1.386	57.008	39,11	455	17.795	41,47	433	17.957	41,66	715	29.787
D) Heizöl M (0,6 m% S)		40,10	246	9.865	38,80	64	2.483	29,80	20	596	0	0	0
E) Heizöl S (1,0-3,5 m% S)		39,63	51.791	2.052.295	39,56	48.592	1.922.299	39,25	44.628	1.751.774	39,85	16.825	670.463
F) Erdgas ^{b)} / [1000m ³ (Vn)/a]; Hu / [MJm ⁻³ (Vn)]		37,32	12.617.738	470.920	37,15	11.595.068	430.761	37,03	12.394.489	458.941	36,32	13.437.573	488.039
J) Petrolkoks		32,80	3.275	107.420	33,99	11.692	397.427	33,92	24.021	814.755	32,73	10.367	339.363
G) sonstige			0	0		0	0		0	0		0	0
Summe KET			273.347	8.929.216		233.171	7.614.943		221.271	7.203.686		239.486	7.069.834
													215.928
													6.339.933
													210.643
													6.083.107
IV Ersatzbrennstoffe (EBS)													
	[t/a]	Hu/ [MJ/kg]	[GJ/a]	[t/a]	Hu/ [MJ/kg]	[GJ/a]	[t/a]	Hu/ [MJ/kg]	[GJ/a]	[t/a]	Hu/ [MJ/kg]	[GJ/a]	[t/a]
H) Altreifen		26,35	19.572	515.804	27,30	22.196	605.927	27,28	27.534	751.049	26,44	33.675	890.272
I) Kunststoffabfälle		29,30	17.322	507.535	28,26	21.314	602.248	27,84	25.128	699.550	27,85	35.726	994.838
K) Altlöl		37,57	22.781	855.875	38,02	28.279	1.075.301	37,62	26.607	1.000.884	36,65	27.794	1.018.531
L) Lösungsmittel		28,64	3.854	110.373	28,68	7.037	201.802	26,53	7.530	199.743	26,93	8.702	234.354
M) landwirtschaftliche Rückstände			0	0	19,00	1.456	27.664	19,00	4.000	76.000	15,96	9.500	151.620
N) Papierabfall		3,14	33.649	105.658	3,14	36.512	114.648	3,12	37.927	118.332	2,80	40.794	114.223
O) sonstige		1,38	3.885	5.364	9,57	4.925	47.135	7,60	6.339	48.148	11,22	13.697	153.655
Summe EBS			101.063	2.100.609		121.719	2.674.725		735.065	2.893.706		169.888	3.557.492
													218.048
													4.545.473
													238.959
													4.964.800

V	Thematischer Energieeinsatz***	1997		1998		1999		2000		2001		2002	
		[GJ/hOB]	[GJ/hOB]	[GJ/hOB]	[GJ/hOB]	[GJ/hOB]	[GJ/hOB]	[GJ/hOB]	[GJ/hOB]	[GJ/hOB]	[GJ/hOB]	[GJ/hOB]	[GJ/hOB]
	a) S Energieeinsatz KET	136,3	127,9	124,6	116,4	102,2	95,2						
	b) S Energieeinsatz EBS	32,1	44,9	50,1	58,6	73,2	77,7						
	Summe a) u. b)	168,3	172,9	174,7	175,0	175,4	172,9						
	EBS-Anteil an (III+IV)	19,04	25,99	28,66	33,47	41,76	44,94						
	spez. therm. Energieeinsatz [GJ/Klinker]	3,554	3,586	3,492	3,481	3,556	3,543						
	VI Sekundärrohstoffe (SRS)												
	diverse Schlacken **	21.636	36.725	60.916	16.112	46.126	31.179						
	Größereitsand	3.423	14.201	35.634	10.754	10.867	12.007						
	Summe SRS / sonstige SRS	81.523	140.645	258.960	255.666	294.259	293.020	249.834					
	VII Sekundärzuzugstoffe (SZS)												
	Hocholenschlacke	423.378	482.643	517.597	569.047	495.159	497.710						
	REA - Gips	51.195	62.069	61.063	58.629	48.841	43.380						
	Flugasche	72.788	53.715	39.188	36.805	47.676	66.459						
	Summe SZS / sonstige SZS	547.361	606.504	637.631	718.967	662.650	675.233	67.884					
	VIII Abgasparameter												
	Bez.-O ₂ / O ₂ gemessen [Vol.-%]	10,00	9,84	10,00	9,32	10,00	9,78	10,00	10,00	9,77	10,00	9,97	10,00
	Abgasnormvolumen V(lr, Vn, bez.) [1000m ³ (Vn)/a]	6.995,056	6.231,152	6.096,051	6.488,494								6.778,573
	IX Emissionsrelevante Daten												
1	Staubförmige Emissionen (1)	1997		1998		1999		2000		2001		2002	
		E-faktor [g/tZe]	Massenstrom [t/a]	E-faktor [g/tZe]	Massenstrom [t/a]	E-faktor [g/tZe]	Massenstrom [t/a]	E-faktor [g/tZe]	Massenstrom [t/a]	E-faktor [g/tZe]	Massenstrom [t/a]	E-faktor [g/tZe]	Massenstrom [t/a]
	Stickstoffoxide (als NO ₂)	1.136,26	4.441,718	1.431,28	3.901,171	1.359,75	3.957,122	1.368,40	4.028,712	1.319,60	3.863,221	1.261,94	4.255,300
	Schwefeldioxid (SO ₂)	333,58	1.304,004	420,20	1.121,13	143,36	48,07	175,837	345,774	113,26	456,085	148,98	526,103
	Cadmium (Cd)	0,009904	0,038715	0,012475	0,003742	0,004784	0,005480	0,006933	0,020818	0,006819	0,003134	0,004131	0,007389
	Thallium (Tl)	0,019547	0,076410	0,024622	0,012389	0,015839	0,013719	0,017355	0,045339	0,014851	0,014238	0,018768	0,057488
	Beryllium (Be)	0,006892	0,026943	0,006682	0,004012	0,005129	0,004926	0,006232	0,005111	0,006774	0,003665	0,004831	0,010729
	Summe 4-6	0,086343	0,142067	0,045779	0,025763	0,024126	0,088254	0,030519	0,086839	0,028444	0,021036	0,027730	0,075607
	Arsen (As)	0,017788	0,069533	0,022406	0,017944	0,022942	0,016417	0,020768	0,013006	0,017240	0,013954	0,018393	0,054671
	Cobalt (Co)	0,011806	0,046149	0,014871	0,005999	0,007669	0,007803	0,009871	0,005617	0,007446	0,003457	0,004556	0,010769
	Nickel (Ni)	0,010251	0,040072	0,012913	0,008009	0,010239	0,009702	0,012273	0,011040	0,014634	0,008585	0,011316	0,035636
	Blei (Pb)	0,032363	0,126510	0,040766	0,025708	0,032867	0,024344	0,089053	0,020510	0,083004	0,027188	0,024846	0,076037
	Summe 7-10	0,072207	0,282263	0,090956	0,057659	0,073718	0,058266	0,213144	0,050173	0,066508	0,044844	0,059112	0,177113

IX	Emissionsrelevante Daten (Fortsetzung)	1997			1998			1999			2000			2001			2002		
		E-faktor [g/Ze]	Massen- strom [t/a]	E-faktor [g/(Kl)]	E-faktor [g/Ze]	Massen- strom [t/a]	E-faktor [g/(Kl)]	E-faktor [g/Ze]	Massen- strom [t/a]	E-faktor [g/(Kl)]	E-faktor [g/Ze]	Massen- strom [t/a]	E-faktor [g/(Kl)]	E-faktor [g/Ze]	Massen- strom [t/a]	E-faktor [g/(Kl)]	E-faktor [g/Ze]	Massen- strom [t/a]	
11	Quecksilber (Hg)	0,023066	0,090167	0,029065	0,019603	0,071905	0,025062	0,021237	0,077687	0,026865	0,020245	0,081932	0,026837	0,026926	0,108856	0,035493	0,026238	0,106553	0,034171
12	Chrom (Cr)	0,009095	0,035554	0,011457	0,006828	0,025046	0,008730	0,007720	0,028239	0,009765	0,005872	0,023765	0,007784	0,005761	0,023249	0,007594	0,005044	0,020483	0,006569
13	Selen (Se)	0,000221	0,000866	0,000279	0,000216	0,000794	0,000277	0,000221	0,000809	0,000280	0,000282	0,001142	0,000374	0,000439	0,001773	0,000579	0,000219	0,000889	0,000285
14	Mangan (Mn)	0,042685	0,166859	0,053768	0,040513	0,148605	0,051796	0,041509	0,151845	0,052509	0,021357	0,086430	0,028310	0,019263	0,077735	0,025392	0,013821	0,056128	0,018000
15	Vanadium (V)	0,014355	0,056113	0,018082	0,011671	0,042808	0,014921	0,012696	0,046445	0,016061	0,007234	0,029276	0,009589	0,006973	0,028139	0,009192	0,007229	0,029356	0,009414
16	Zink (Zn)	0,054434	0,212788	0,068568	0,064333	0,235978	0,082250	0,081950	0,299783	0,103667	0,039257	0,158868	0,052037	0,027119	0,109437	0,035748	0,019082	0,077490	0,024851
	Summe 11-16	0,143856	0,562346	0,181208	0,143164	0,525137	0,183036	0,165334	0,604808	0,209147	0,094248	0,381414	0,124932	0,086482	0,348890	0,113999	0,071633	0,290898	0,093290
26	Antimon (Sb)											0,010332	0,013695	0,009736	0,039290	0,012834	0,009920	0,040284	0,012919
27	Kupfer (Cu)											0,005016	0,020298	0,006649	0,018463	0,006031	0,004572	0,018567	0,005954
28	Zinn (Sn)											0,011194	0,045303	0,014839	0,010620	0,042855	0,013999	0,042140	0,013514
	Summe 26-28											0,026542	0,107412	0,035183	0,100607	0,032864	0,024869	0,100991	0,032387
	Summe Spurenelemente (4-16)	0,252406	0,986676	0,317943	0,220966	0,810522	0,282507	0,247726	0,906206	0,313373	0,165879	0,671300	0,219884	0,152363	0,614841	0,200841	0,133865	0,543618	0,174336
	Summe Spurenelemente (4-16 und 26-28)											0,192421	0,778712	0,255067	0,177294	0,715449	0,233705	0,158733	0,206723
17	chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	3,634	14,207	4,578	4,037	14,808	5,161	3,739	13,679	4,730	2,796	11,314	3,706	3,666	14,794	4,832	1,765	7,167	2,298
18	fluorhaltige Verbindungen (als HF)	0,284	1,108	0,357	0,303	1,112	0,388	0,293	1,073	0,371	0,380	1,537	0,503	0,300	1,211	0,396	0,209	0,850	0,273
19	org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	64,044	250,355	80,673	50,115	183,825	64,072	59,577	217,939	75,365	55,409	224,236	73,448	62,868	253,697	82,871	56,281	228,555	73,297
20	Kohlenmonoxid (CO)	1,976,1	7,724,591	2,489,1	2,056,7	7,544,230	2,629,5	2,086,5	7,632,654	2,639,4	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
23	pyrogenes CO ₂	245,024,2	957,820	308,644,4	242,191,6	888,377	309,643,2	238,081,3	870,926	301,172,4	231,835,6	938,219	307,313,2	236,323,5	953,656	311,515,9	240,443,8	976,430	313,136,3
24	CO ₂ aus der Rohmehldicarbona- tisierung	450,468,2	1,760,917	567,431,7	435,834,3	1,598,674	557,216,5	439,396,5	1,607,357	555,835,6	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
	Summe 23 u. 24	695,492,3	2,718,737	876,076,1	678,025,9	2,487,051	866,859,7	677,477,8	2,478,283	867,008,0	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
	(1) ohne Staubemissionen aus „sonstigen definierten Quellen“ (Zementverordnungs § 5 Z.3)																		
	(1) ohne Staubemissionen aus „sonstigen definierten Quellen“ (Zementverordnungs § 5 Z.3)																		

*** alle Betriebszustände a) alle Einsatzbereiche b) r(F)=0,7112kg/m³

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

* = Klinkerverbrauch/Zementproduktion

** Tinalc als sonstiger SRS bilanziert

*** alle Einsatzbereiche

a) alle Betriebszustände

b) r(F)=0,7112kg/m³

4.1 Produktionsstatistik

Im Jahresvergleich 2002 zu 2000 hat die österreichische Zementproduktionsmenge um ca. 14.000 t zugenommen, dies entspricht einer Steigerung um 0,35%. Die Klinkerproduktionsmenge erhöhte sich um ca. 65.250 t oder 2,14%. Die Rohmehleinsatzmenge erhöhte sich um ca. 124.000 t oder 2,53% (Abbildung 4-1).

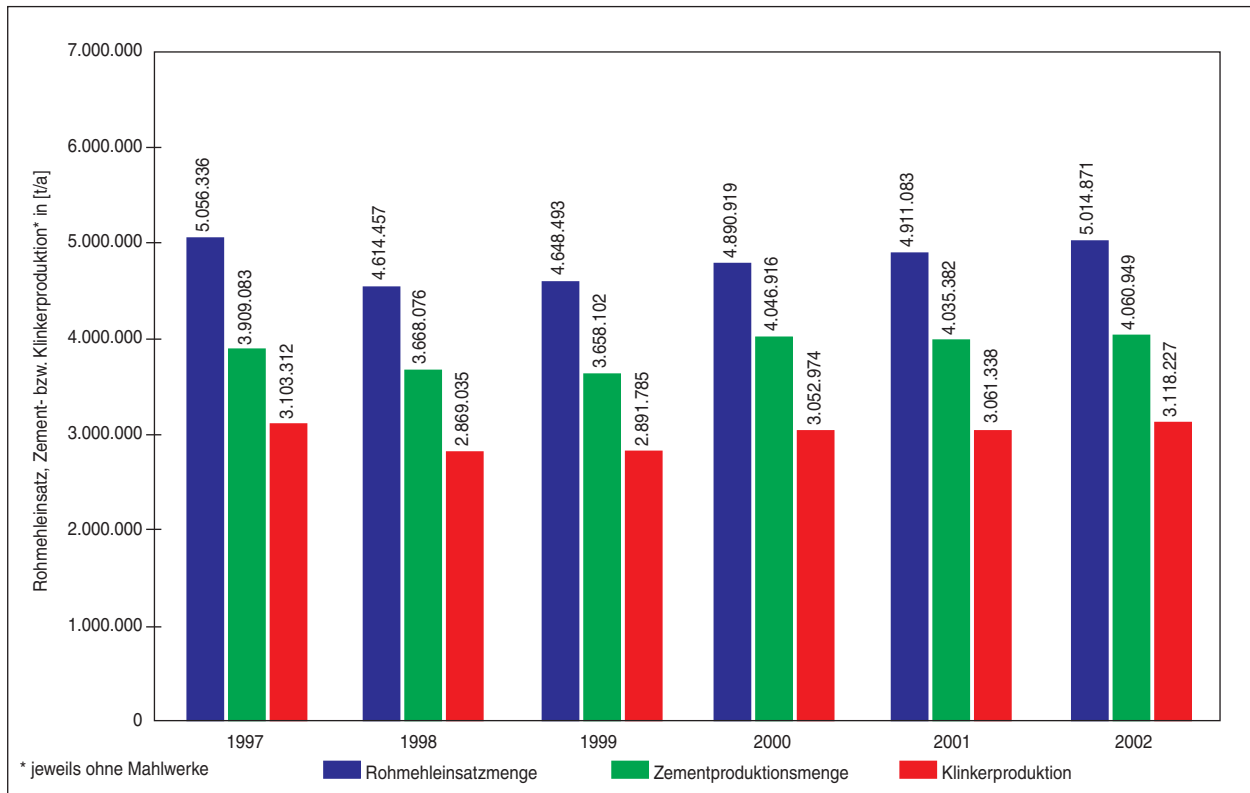


Abbildung 4-1: Rohmehleinsatzmenge, Klinkerproduktionsmenge und Zementproduktionsmenge der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002 (ohne Mahlwerke)

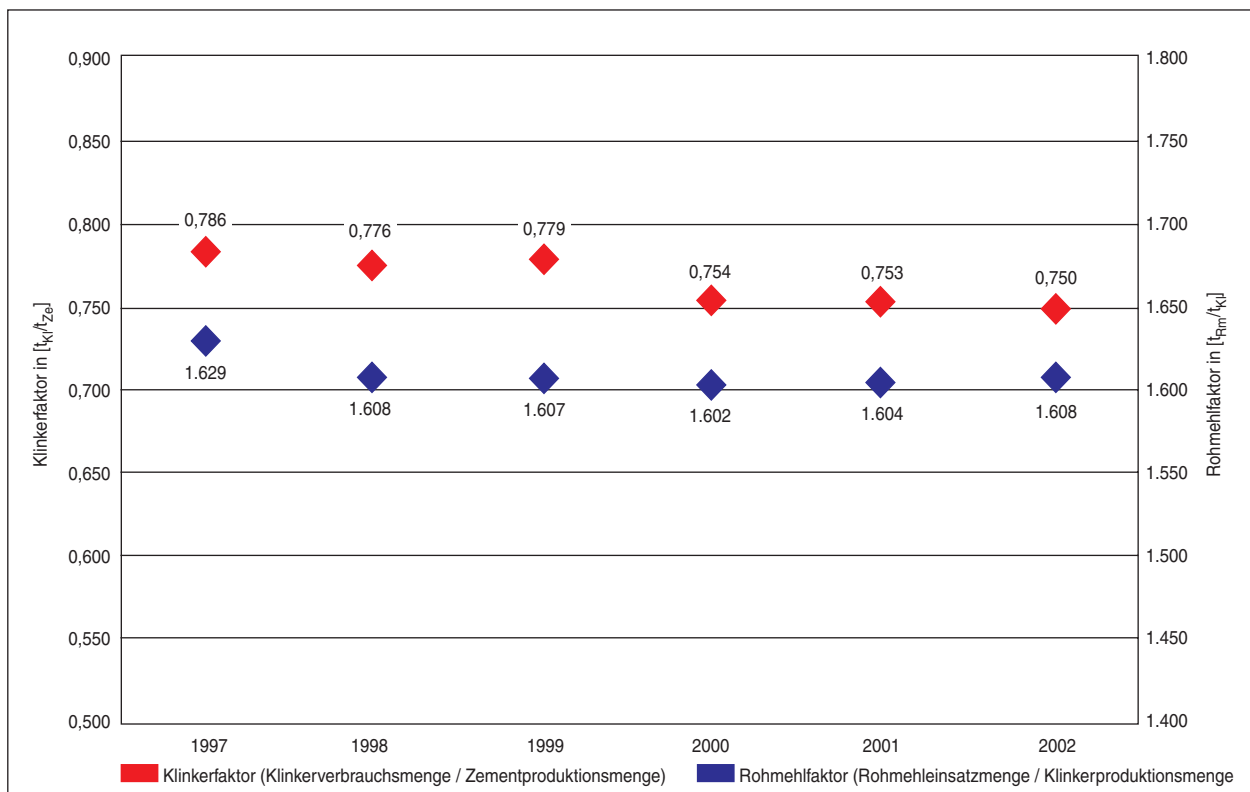


Abbildung 4-2: Klinkerfaktor und Rohmehlfaktor im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002

Im Bilanzjahr 2002 wurden zur Produktion einer Tonne Zement 750 kg Klinker eingesetzt, damit war im Bilanzzeitraum 2000 bis 2002 der Klinkerfaktor um 0,53% rückläufig. Die für die Produktion einer Tonne Klinker erforderliche Rohmehlmenge betrug 2002 1.608 kg, damit erhöhte sich im Bilanzzeitraum 2000/2002 der Rohmehlfaktor um 0,39% (Abbildung 4-2).

Im Bilanzzeitraum reduzierte sich die Ofenleistung von ca. 50,3 t Klinker je Ofenbetriebsstunde um ca. 3,0% auf ca. 48,8 t Klinker je Ofenbetriebsstunde (Abbildung 4-3).

4.2 Brennstoffstatistik

Der Jahresvergleich 2002 zu 2000 zeigt, dass der Verbrauch an Heizöl Schwer um ca. 6.000 t oder 35,8% gesunken ist. Im gleichen Zeitraum reduzierte sich der Erdgasverbrauch um ca. 2,7 Millionen m³ oder 20,1%. Ferner fand eine Verlagerung vom Energieträger Steinkohle auf Braunkohle und Petrolkoks statt wie Abbildung 4-4 verdeutlicht.

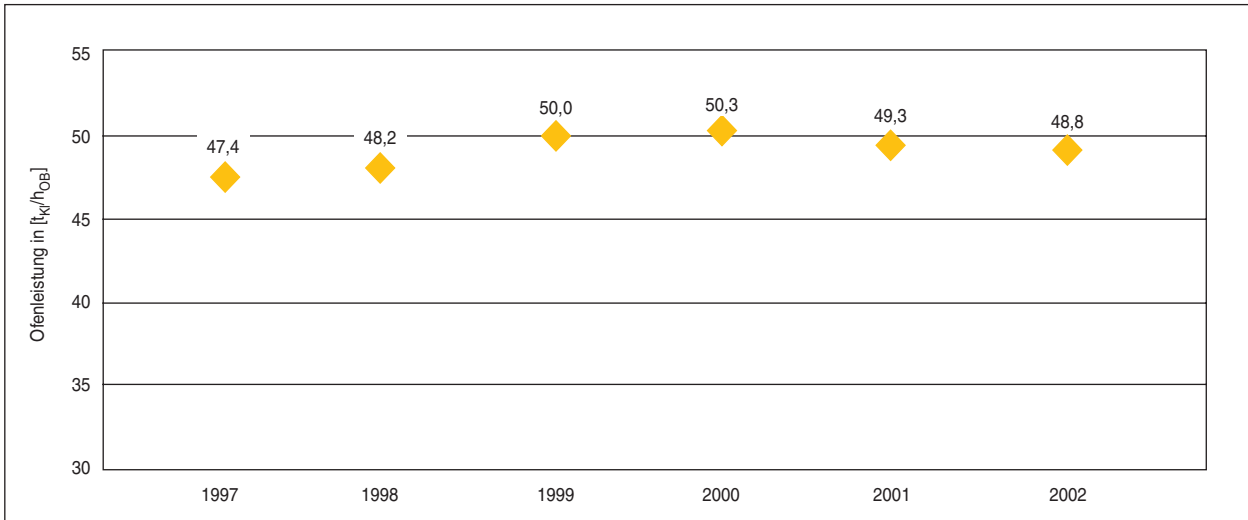


Abbildung 4-3: Entwicklung der Ofenleistung in den Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002

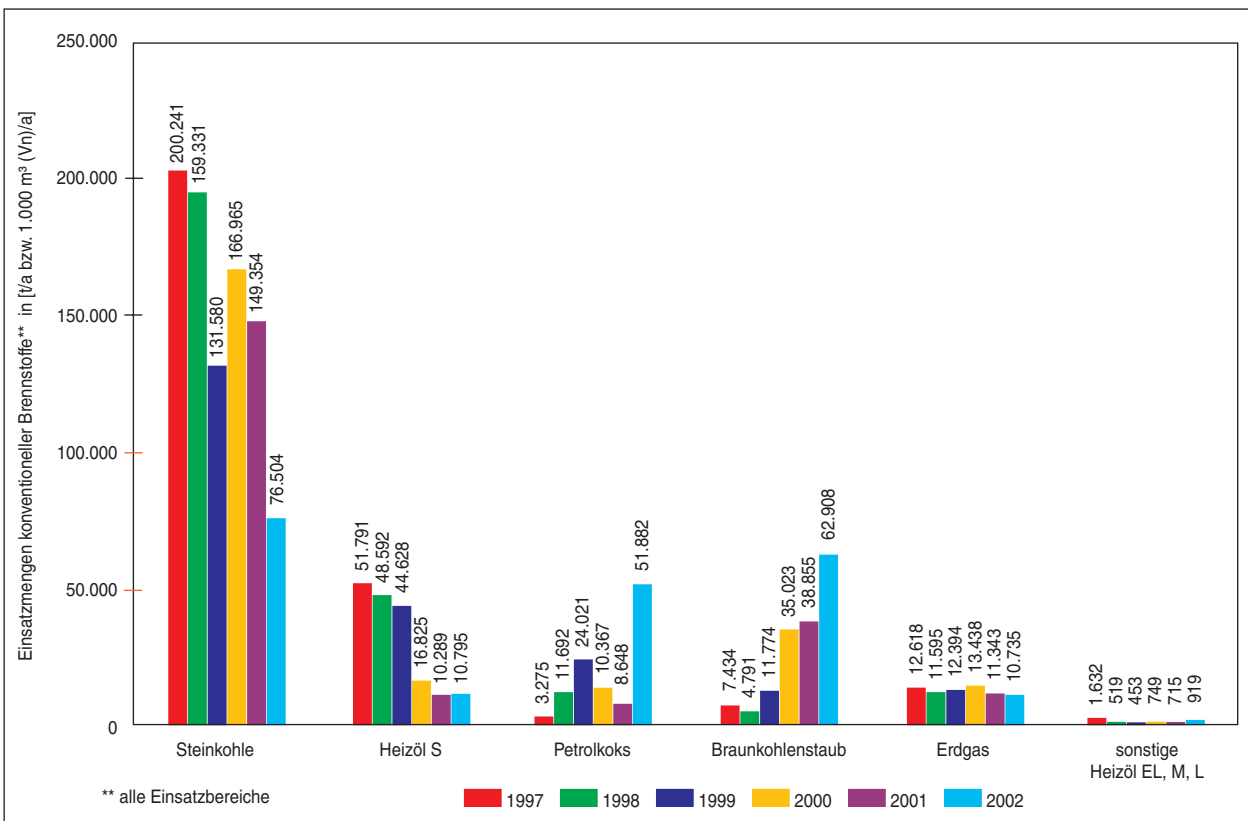
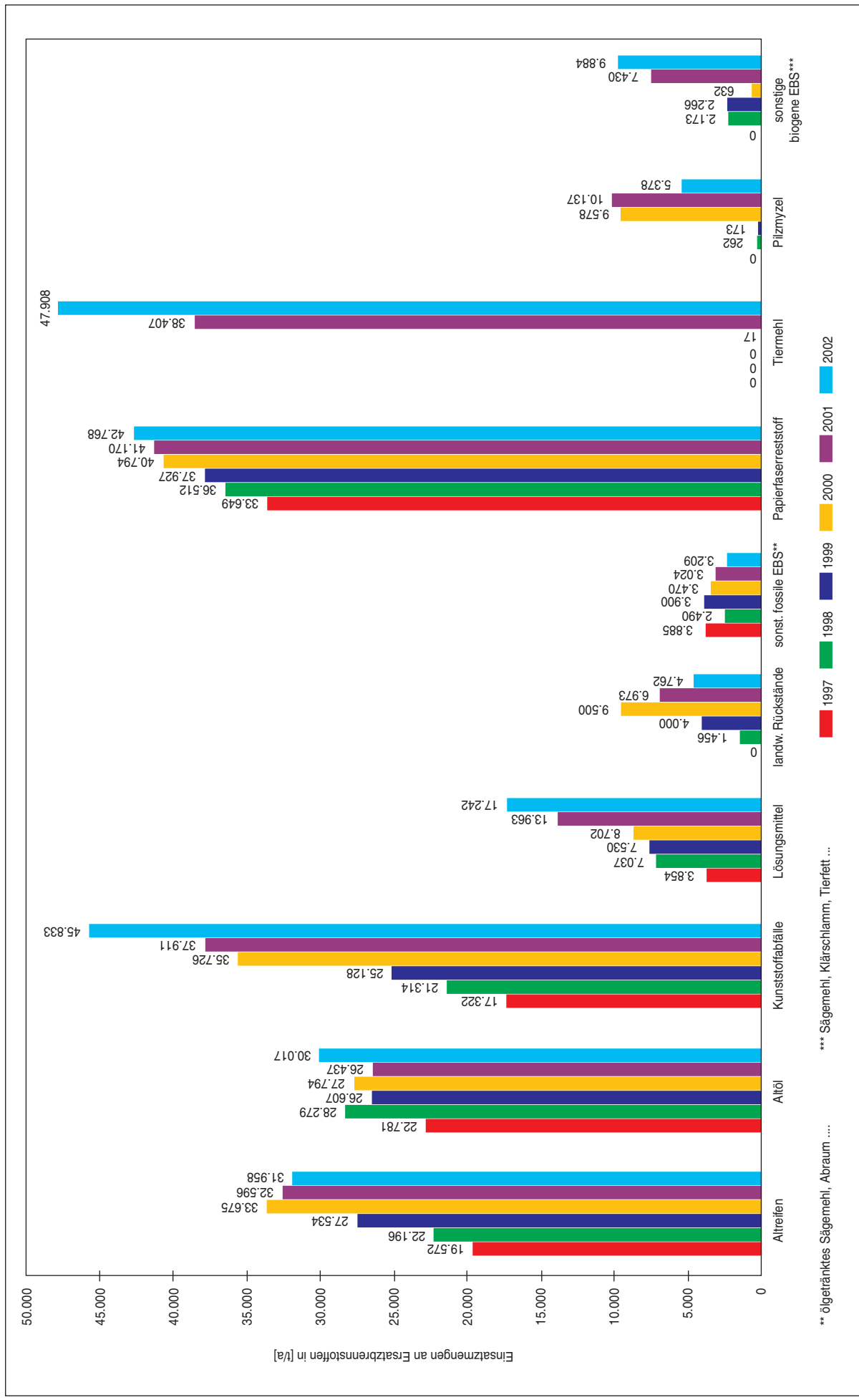


Abbildung 4-4: Einsatzmengen konventioneller Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002



** ölgetränktes Sägemehl, Abraum *** Sägemehl, Klärschlamm, Tierfett ...

Abbildung 4-5: Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002

Im Bilanzzeitraum erweiterte sich die Palette der in Anlagen der österreichischen Zementindustrie verfeuerten Ersatzbrennstoffe (Abbildung 4-5), um die biogenen Ersatzbrennstoffe „Tiermehl“ und „Tierfett“. Letzteres bildet den größten Teil der Einsatzmenge an „sonstigen biogenen Ersatzbrennstoffen“ (Abbildung 4-10, Seite 19). Bei Tiermehl und Tierfett handelt es sich um zwei nur temporär verfügbare, biogene Ersatzbrennstoffe.

Im Bilanzzeitraum 2000/2002 konnte bei den thermischen Behandlungsmengen in den Ersatzbrennstoffkategorien „Kunststoffabfälle“, „Lösungsmittel“ und „Papierfaserreststoff“ ein stetiger Anstieg verzeichnet werden. In sechs von neun österreichischen Zementwerken wurde 2002 eine um insgesamt 28,3% größere Menge an Kunststoffabfällen verbrannt als 2000. In zwei österreichischen Zementwerken war im Bilanzzeitraum 2000/2002 ein Anstieg bei den thermisch behandelten Lösungsmittelmengen um 98,1% zu verzeichnen. Ein österreichisches Zementwerk führte 2002 eine um 4,8% größere Menge an Papierfaserreststoff einer thermischen Behandlung zu als im Bilanzjahr 2000.

Mit annähernd 32.000 Jahrestonnen stabilisierte sich die verfeuerte Altreifenmenge auf hohem Niveau. Im Jahr 2002 wurden in vier von neun österreichischen Zementwerken Altreifen verbrannt.

Im Bilanzzeitraum erhöhte sich die in vier Zementwerken verfeuerte Altölmenge um ca. 2.200 t auf ca. 30.000 Jahrestonnen, dies entspricht +8%.

4.3 Energiestatistik

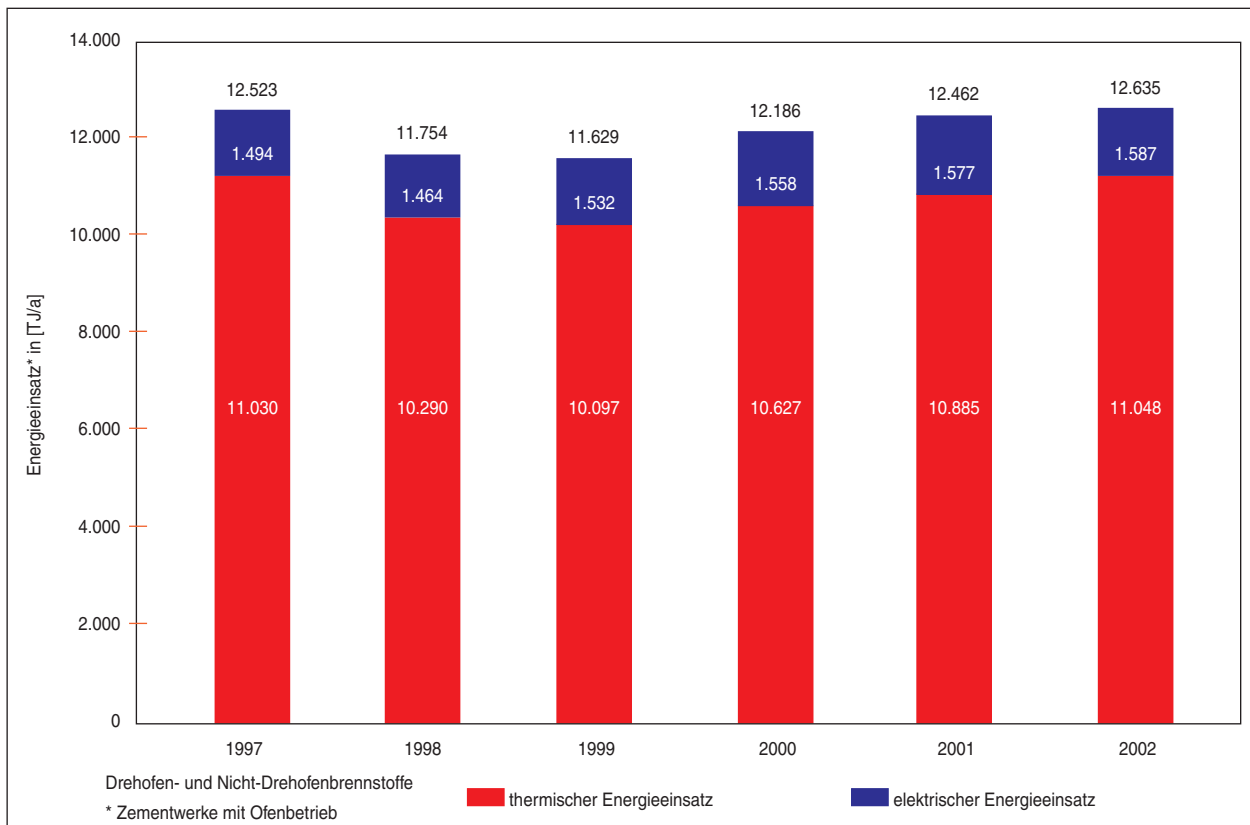


Abbildung 4-6: Entwicklung des thermischen und elektrischen Energieeinsatzes in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002

Abbildung 4-6 verdeutlicht, dass im Jahresvergleich 2002 zu 2000 der Gesamtenergieeinsatz, der sich additiv aus dem thermischen und dem elektrischen Energieeinsatz zusammensetzt, um 449 TJ anstieg, dies entspricht einer Erhöhung um ca. 3,7%. Während sich der thermische Energieeinsatz um ca. 4,0% erhöhte, nahm der elektrische Energieeinsatz um ca. 1,9% zu.

Bei der Zuordnung der Energieträger zu konventionellen Brennstoffen oder Ersatzbrennstoffen nimmt Petrolkoks eine Sonderstellung ein. Petrolkoks ist ein Produkt, das bei der Raffination und Verarbeitung von Mineralölen als letztes Glied der schwarzen Produkte anfällt. Es ist ein kohlenstoffreiches Produkt, das je nach der Zusammensetzung des verarbeiteten Rohöls und den technischen Verarbeitungsstufen mittlere bis hohe Gehalte an Schwefel, Stickstoff und Schwermetallen enthalten und in drei Qualitätskategorien eingeteilt werden kann [3]. Auf Grund seines hohen Heizwertes (ca. 31 MJ/kg) ist Petrolkoks ein guter Brennstoff, der in etlichen Ländern in den Drehrohröfen der Zementindustrie eingesetzt wird. Die Frage der Zuordnung von Petrolkoks zu konventionellen

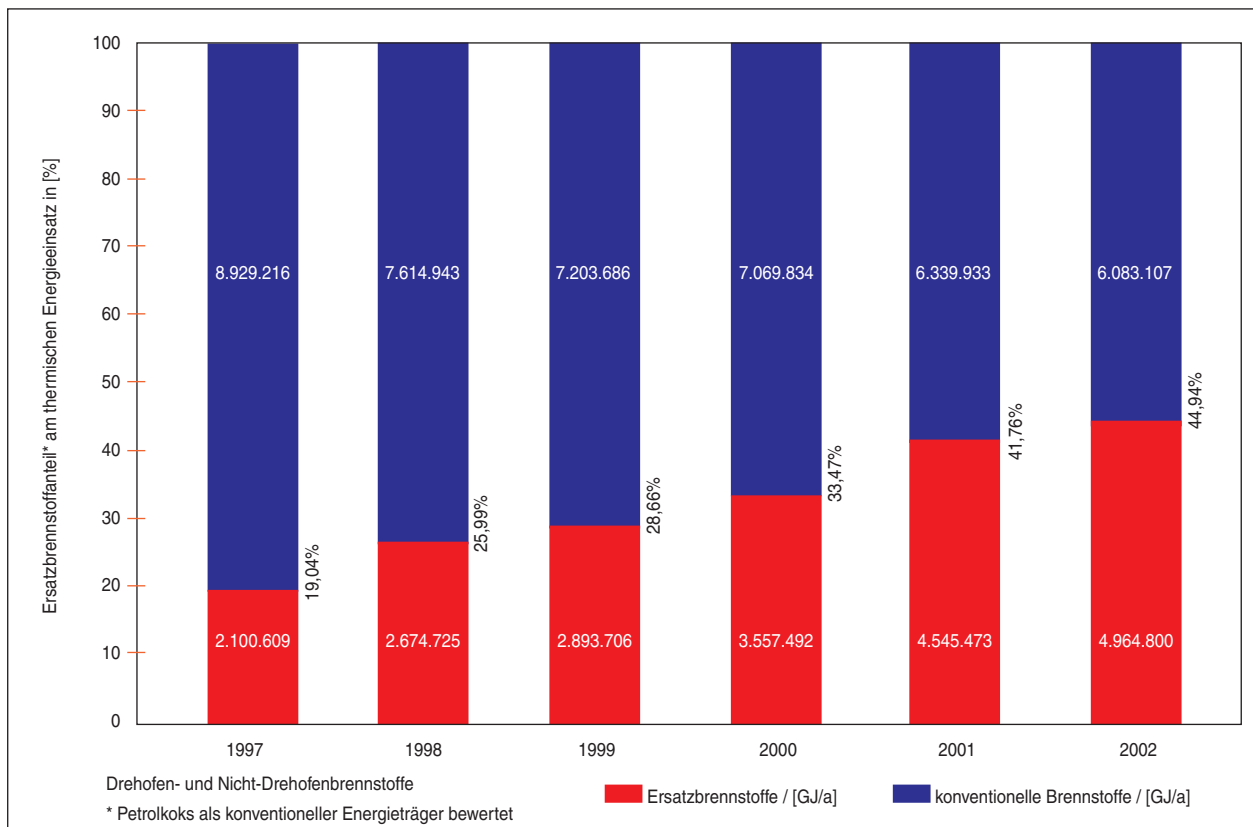


Abbildung 4-7: Ersatzbrennstoffenergieanteil am thermischen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002 (Petrolkoks wurde als konventioneller, fossiler Energieträger bewertet)

oder Ersatzbrennstoffen wurde in Österreich bereits seit Beginn der Neunzigerjahre diskutiert. Das zuständige BM für Umwelt hatte 1998 in einem Akt [4] für die Einstufung von Petrolkoks als Nicht-Abfall eine Liste mit maximalen Schadstofflimits und sonstigen Kriterien festgelegt. In einer 2002 erstellten Positivliste für die Zementindustrie, die den Einsatz von Abfällen als Brennstoff auflistet, wurde Petrolkoks jedoch in diese Liste aufgenommen und der maximal zulässige Gehalt für die metallischen Spurenelemente Nickel und Vanadium stark erhöht. Unbeschadet der Situation, dass Petrolkoks in dieser Liste enthalten und auch im ÖNI-Abfallverzeichnis mit Schlüsselnummer enthalten ist, wird Petrolkoks derzeit in der von der österreichischen Zementindustrie eingesetzten Qualität vom zuständigen Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft als Nicht-Abfall gewertet. Damit ist Petrolkoks nicht als Ersatzbrennstoff zu klassifizieren; er wird im Rahmen dieses Berichtes daher den konventionellen Brennstoffen zugeordnet. Bewertet man Petrolkoks als konventionellen fossilen Energieträger so wurde im Bilanzjahr 2002 vom thermischen Energiebedarf von 11.048 TJ, 44,9% durch das Verfeuern von Ersatzbrennstoffen aufgebracht. Somit stieg seit 2000 der Anteil, der durch Ersatzbrennstoffe erzeugten Wärmemenge am Gesamtwärmebedarf (Substitutionsgrad) um 11,5 Prozentpunkte an, dies entspricht einer Steigerungsrate von mehr als 34%.

Im Bilanzzeitraum 2000/2002 erhöhte sich der auf die Tonne Klinker bezogene spezifische Brennstoffenergieeinsatz um 62 MJ oder 1,8%, der auf die Tonne Zement bezogene Kennwert stieg um 95 MJ oder 3,6% (Abbildung 4-8).

Abbildung 4-9 zeigt die über den Bilanzzeitraum 2000/2002 mengengewichteten Mittelwerte der Heizwerte von Drehofenbrennstoffen im Einsatzzustand. Als Spreizung sind werkspezifische Minimal- und Maximalwerte aus den Jahren 2000, 2001 bzw. 2002 angegeben. Größere Heizwertschwankungen sind aufgrund uneinheitlicher Zusammensetzungen bei den Ersatzbrennstoffen Lösungsmittel, Altöl und Kunststoffabfällen feststellbar.

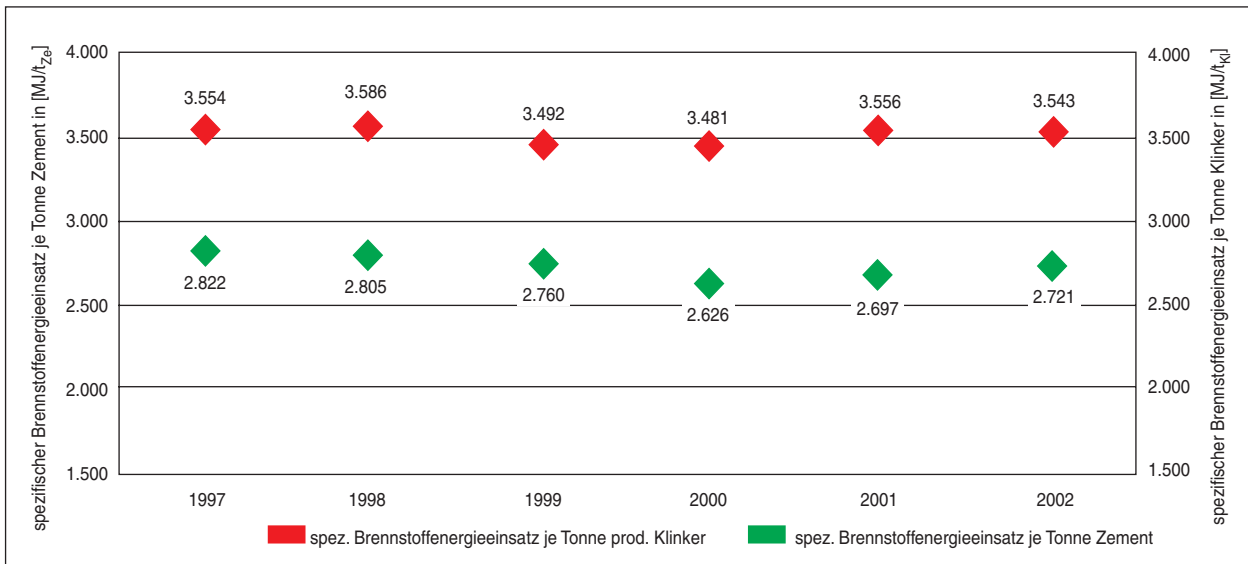


Abbildung 4-8: auf die Tonne Zement bzw. auf die Tonne Klinker bezogener spezifischer Brennstoffeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002

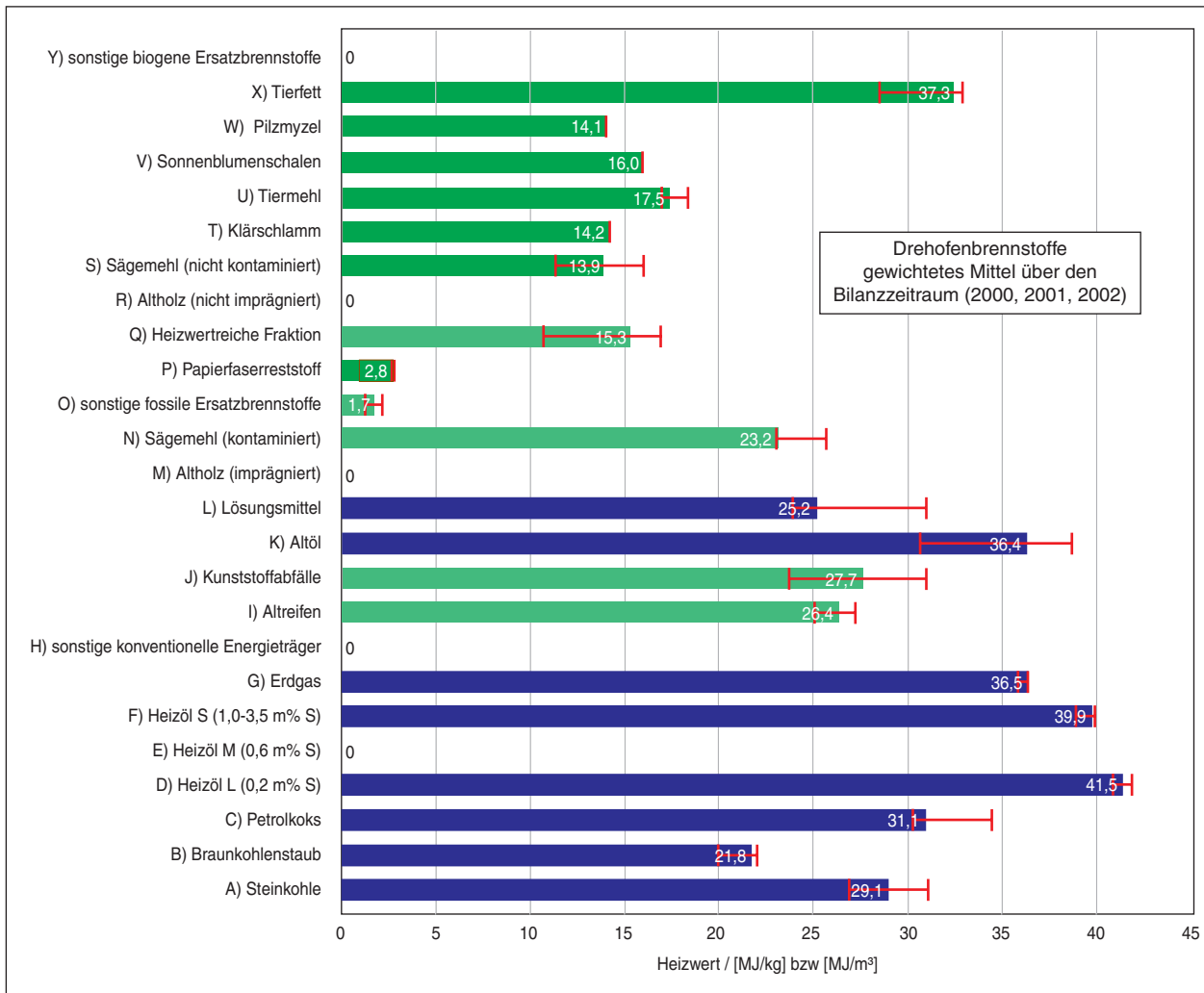
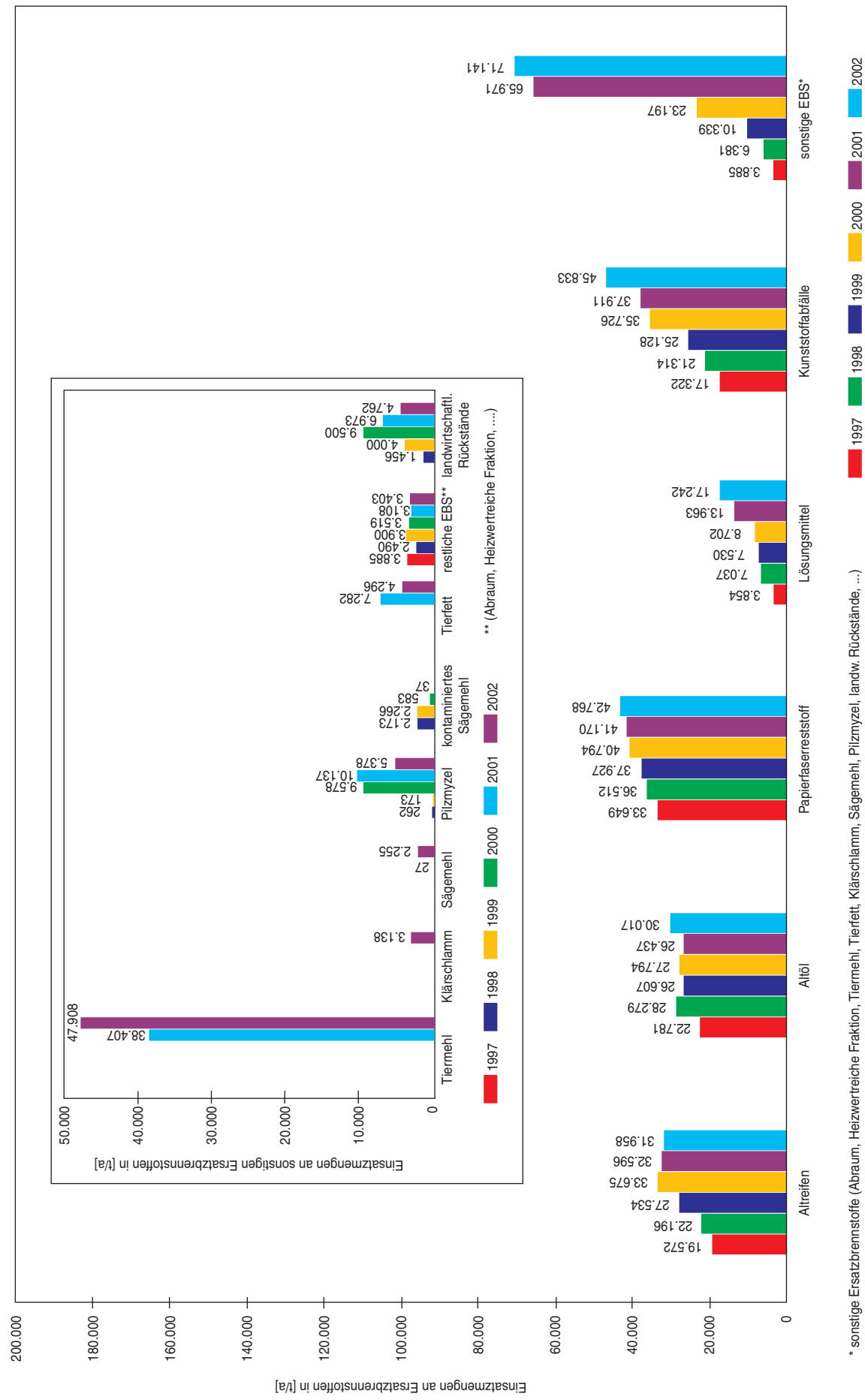


Abbildung 4-4: über den Bilanzzeitraum 2000, 2001 und 2002 mengengewichtete Mittelwerte von Heizwerten unterschiedlicher Drehofenbrennstoffe (im Einsatzzustand) mit werksspezifischen Minimal- und Maximalwerten



* sonstige Ersatzbrennstoffe (Abraum, Heizwertreiche Fraktion, Tiermehl, Tierfett, Klärschlamm, Sägemehl, Pilzmyzel, landw. Rückstände, ...)

Abbildung 4-10: Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1997 bis 2002

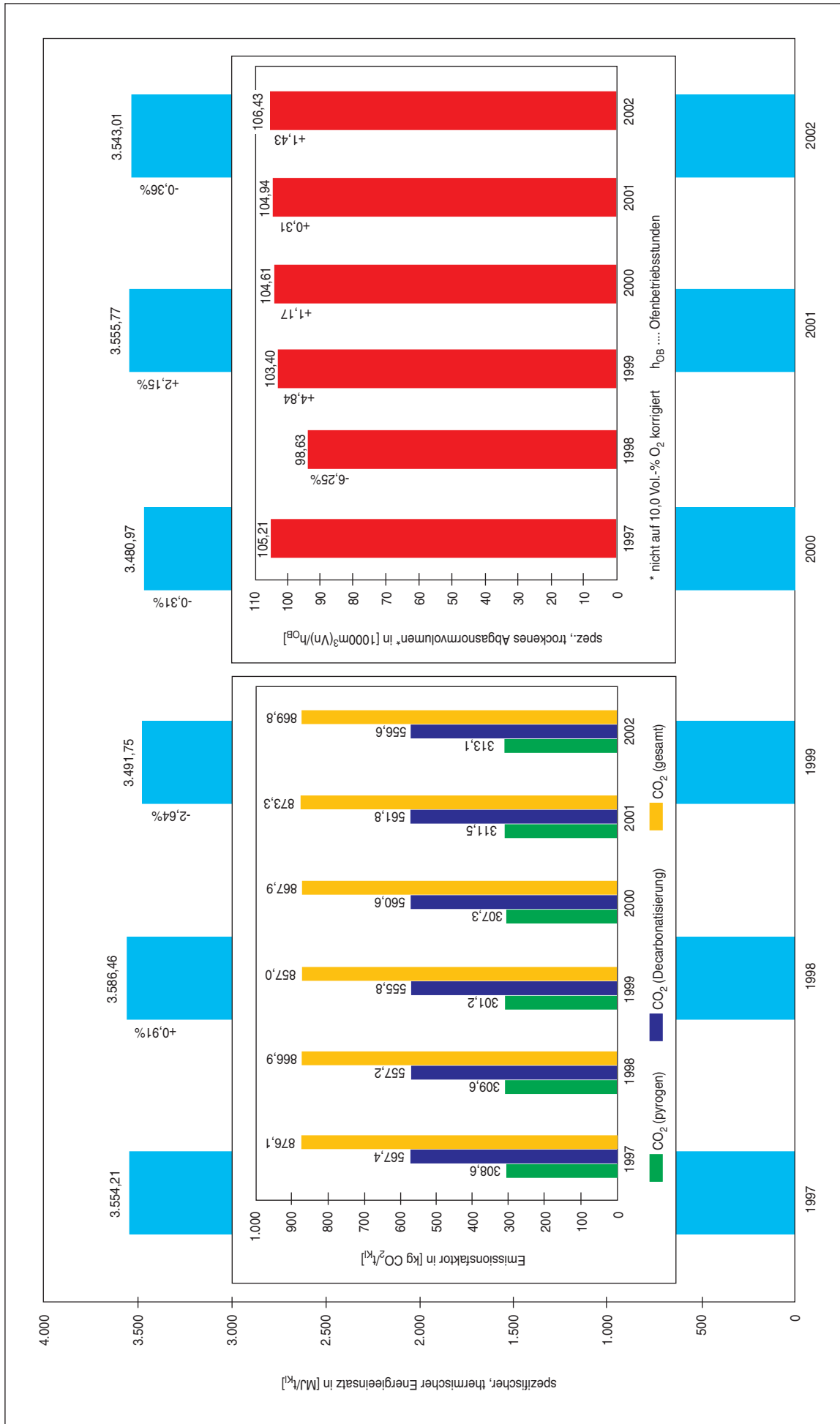


Abbildung 4-11: Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes (exklusive elektrischer Energieeinsatz) bzw. Darstellung des spezifischen CO₂-Emissionsmassenstroms und des spezifischen, trockenen Gesamtgasnormvolumens (nicht auf 10,0 Vol.-% O₂ bezogen) in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkerherzeugung jeweils für den Zeitraum 1997 bis 2002

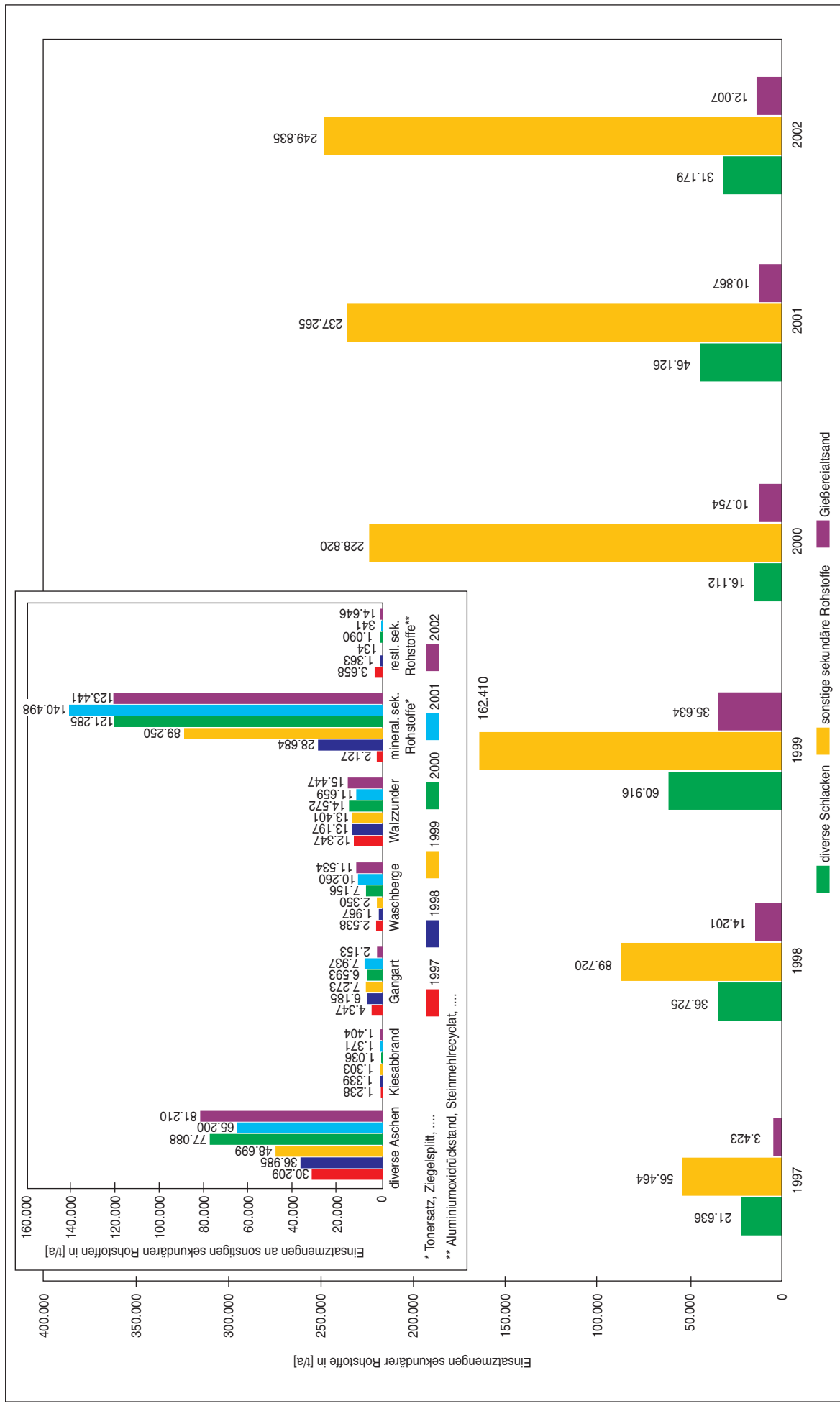


Abbildung 4-12: Einsatzmengen sekundärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 1997 bis 2002

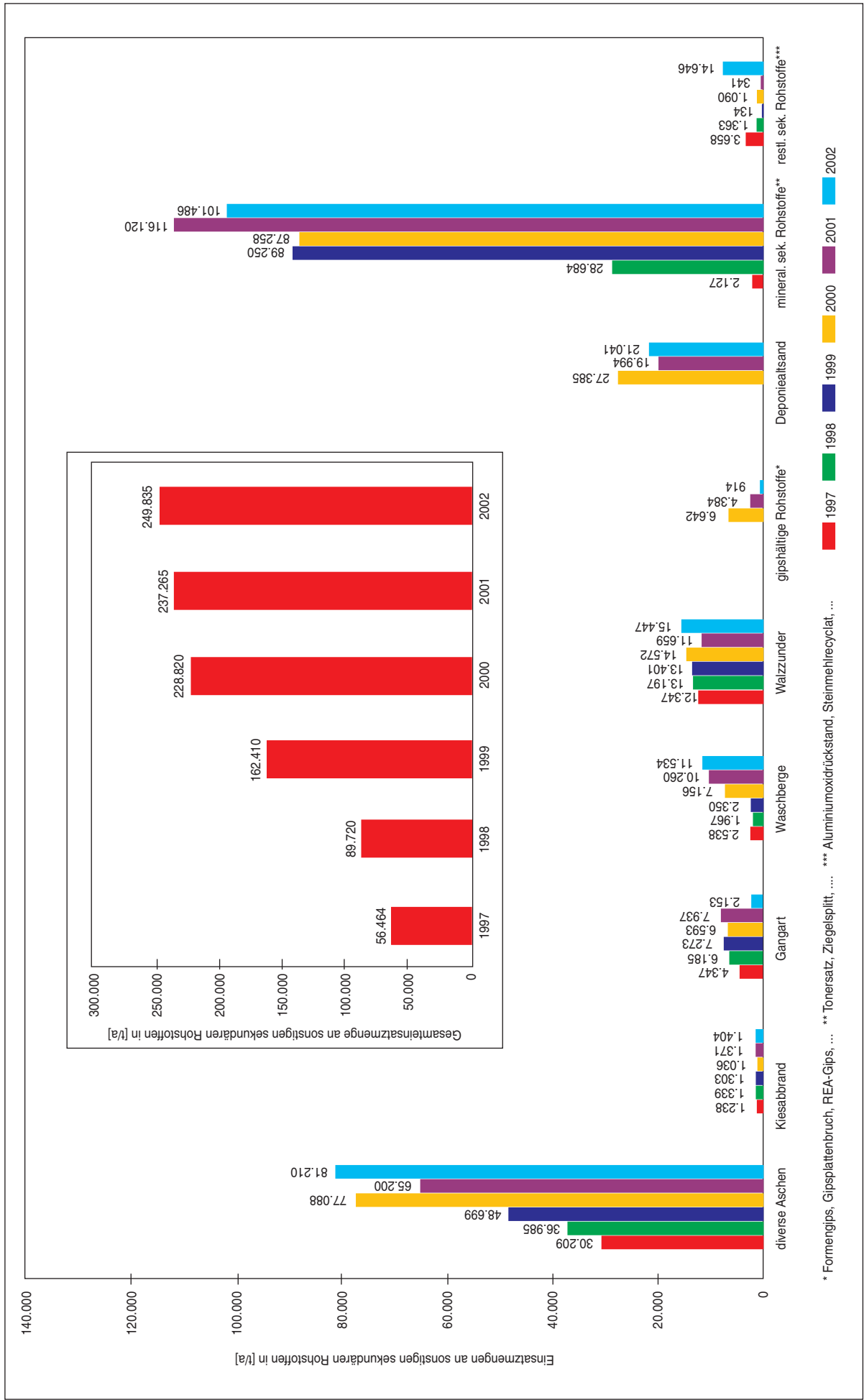


Abbildung 4-13: Spezifizierung der im Zeitraum von 1997 bis 2002 in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) verwendeten sonstigen sekundären Rohstoffmassenströme

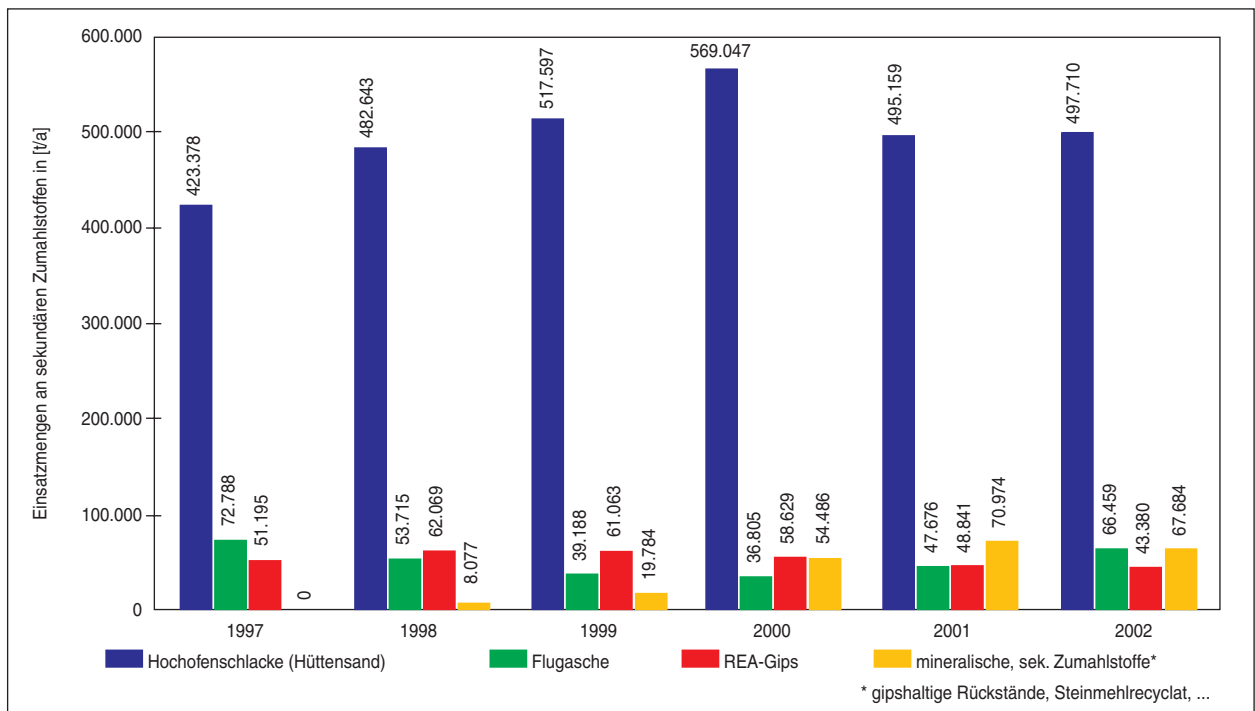


Abbildung 4-14: Einsatzmengen sekundärer Zumahlstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1997 bis 2002 (ohne Mahlwerke)

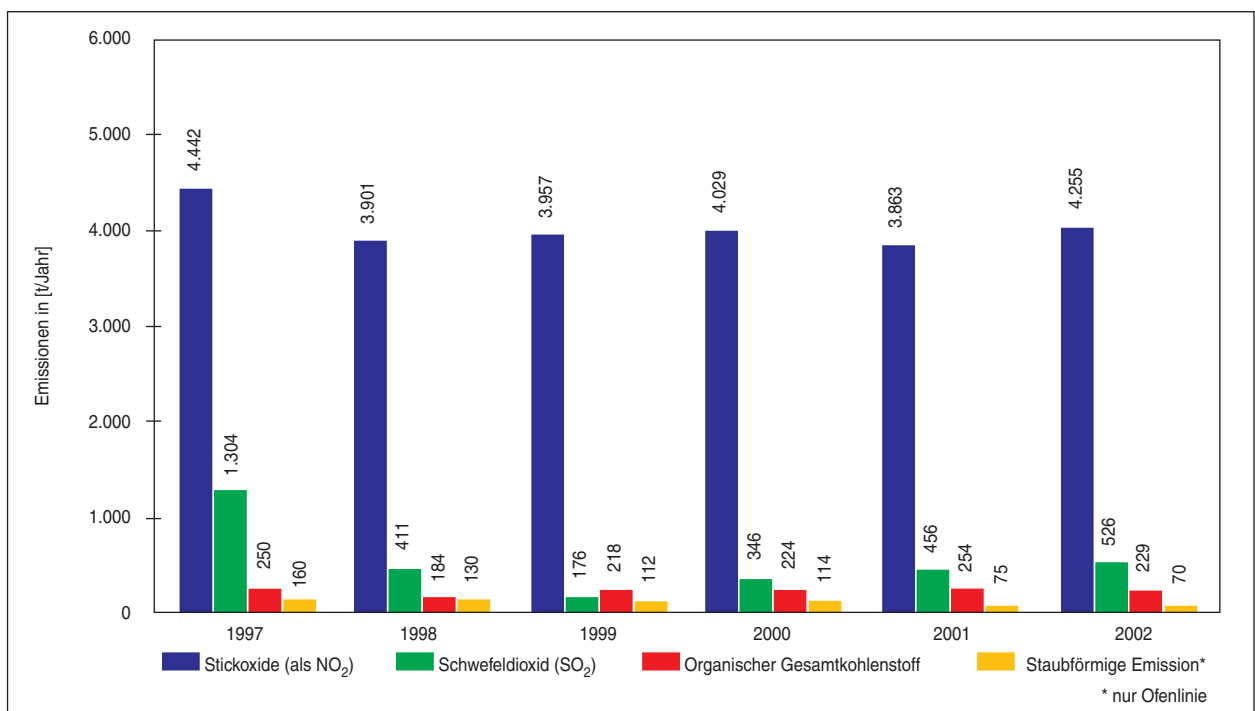


Abbildung 4-15: jährliche Emissionen an Stickoxiden (als NO₂), an Schwefeldioxid, an organischem Gesamtkohlenstoff und an Staub aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 1997 bis 2002

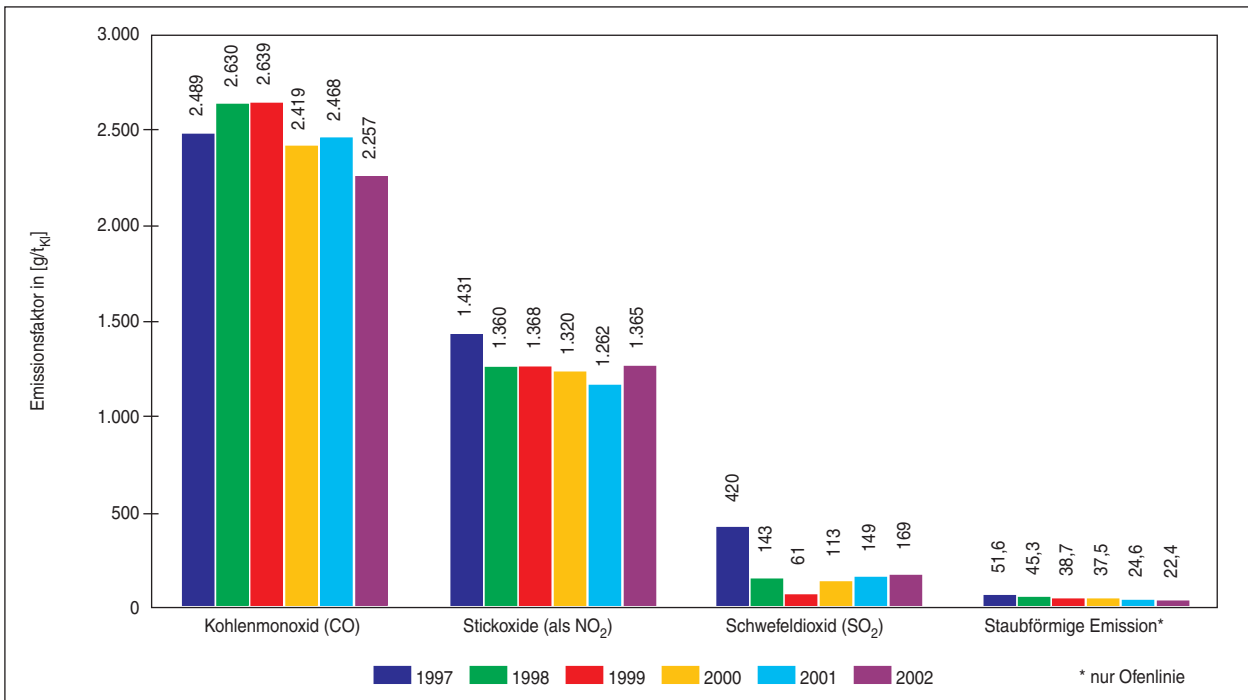


Abbildung 4-16: zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO₂), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Klinker (1997-2002, ohne Mahlwerke)

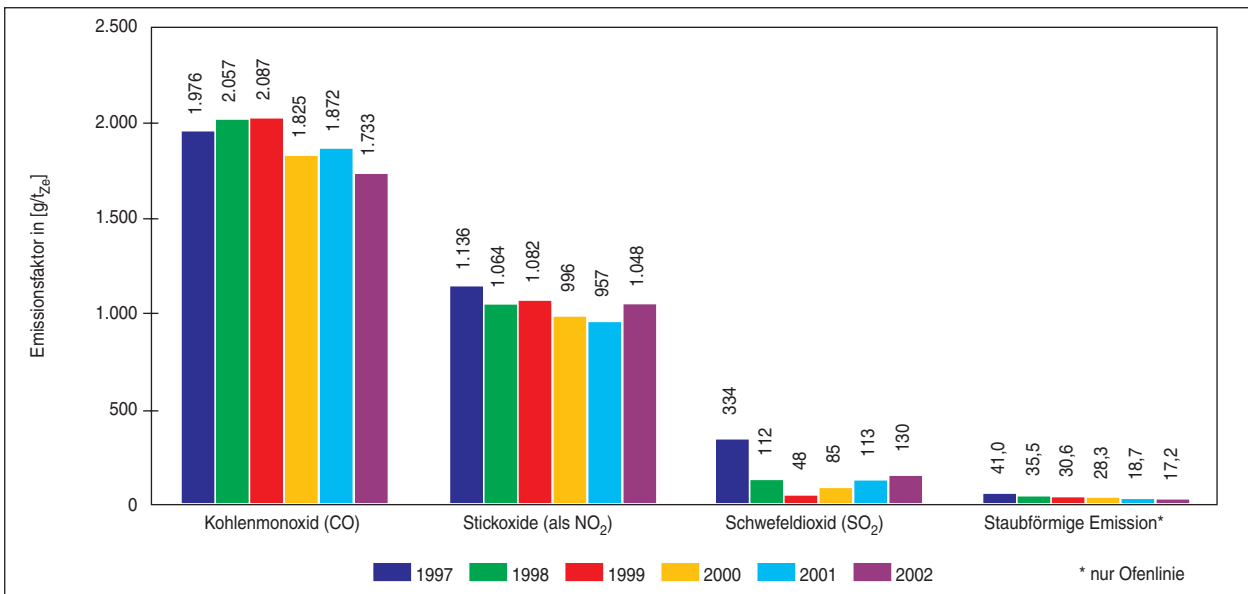


Abbildung 4-17: zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO₂), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Zement (1997-2002, ohne Mahlwerke)

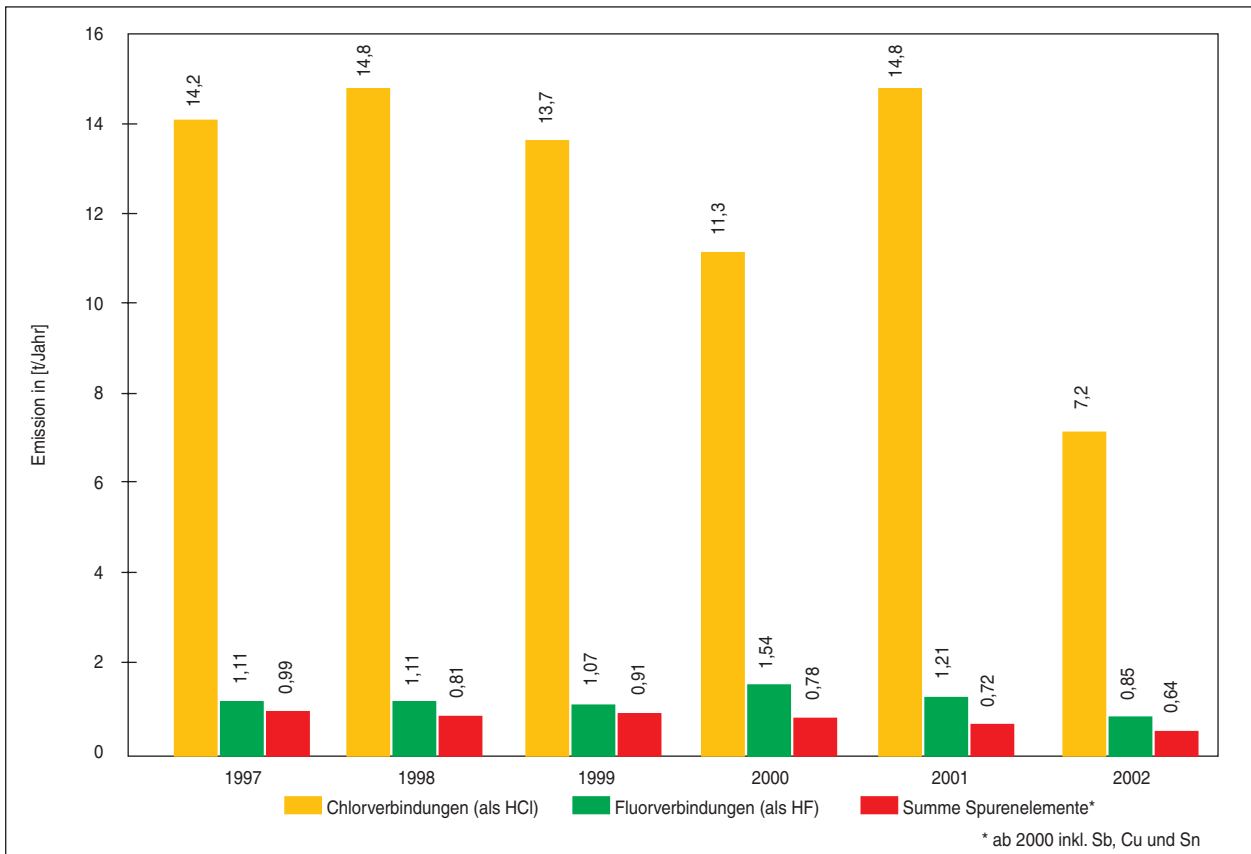


Abbildung 4-18: zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an chlor- und fluorhaltigen Verbindungen (ausgewiesen als HCl bzw. HF) sowie der jährlichen Gesamtemissionen an Spurenelementen jeweils für den Zeitraum 1997 bis 2002 (ohne Mahlwerke)

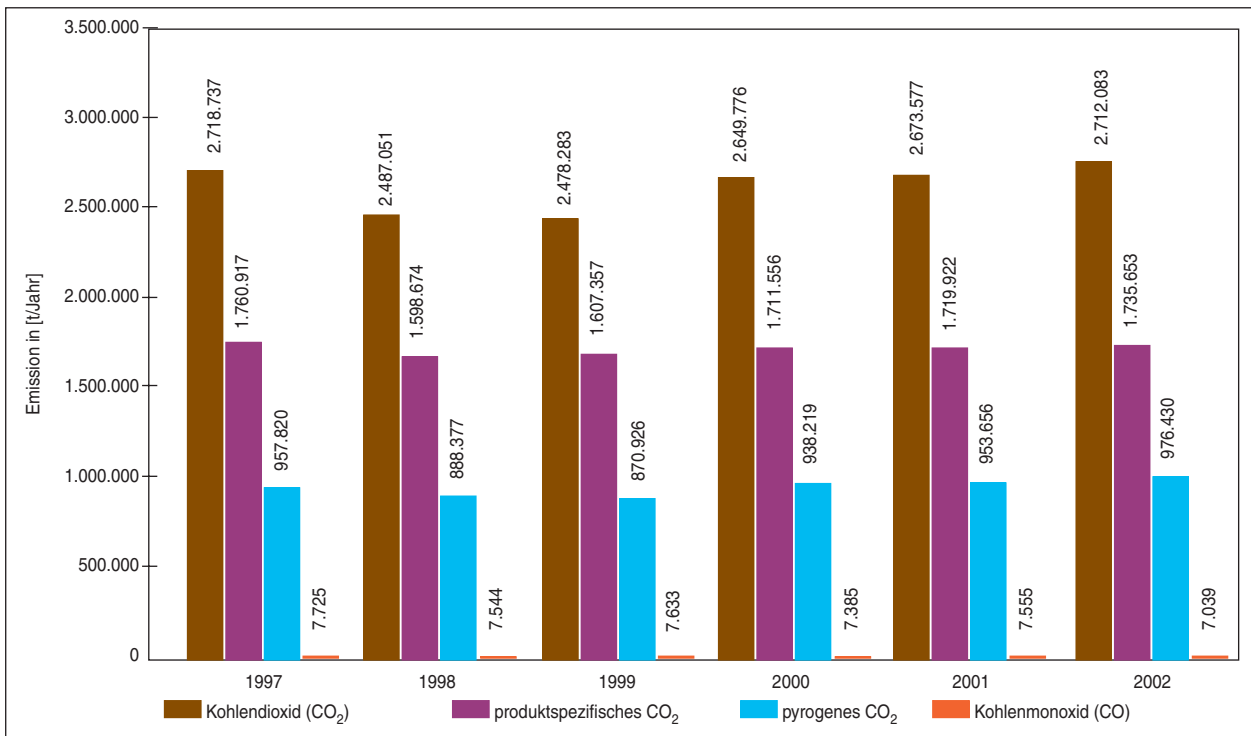


Abbildung 4-19: zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an Kohlendioxid und Kohlenmonoxid aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) jeweils für den Zeitraum 1997 bis 2002

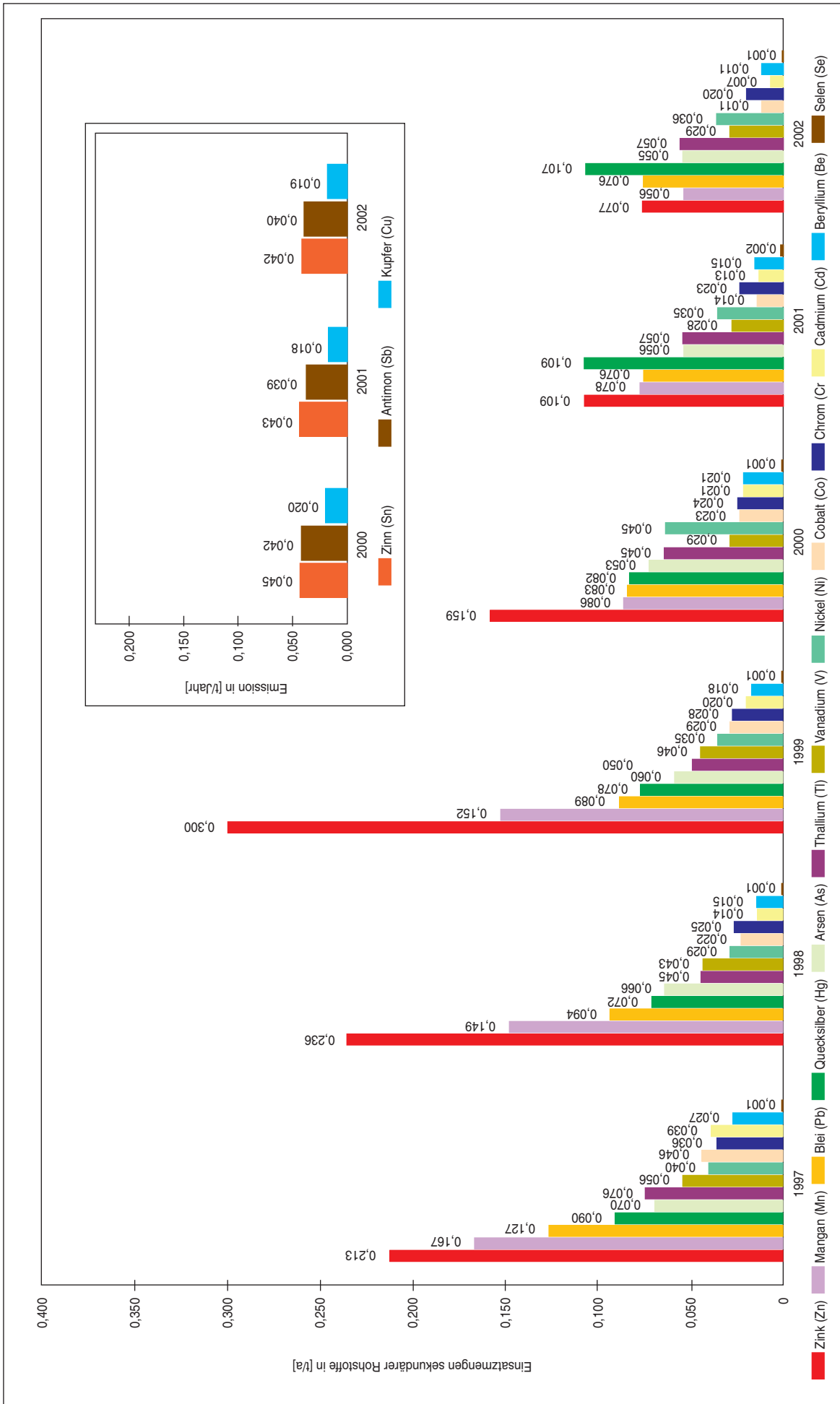


Abbildung 4-20: Emissionen diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 1997 bis 2002

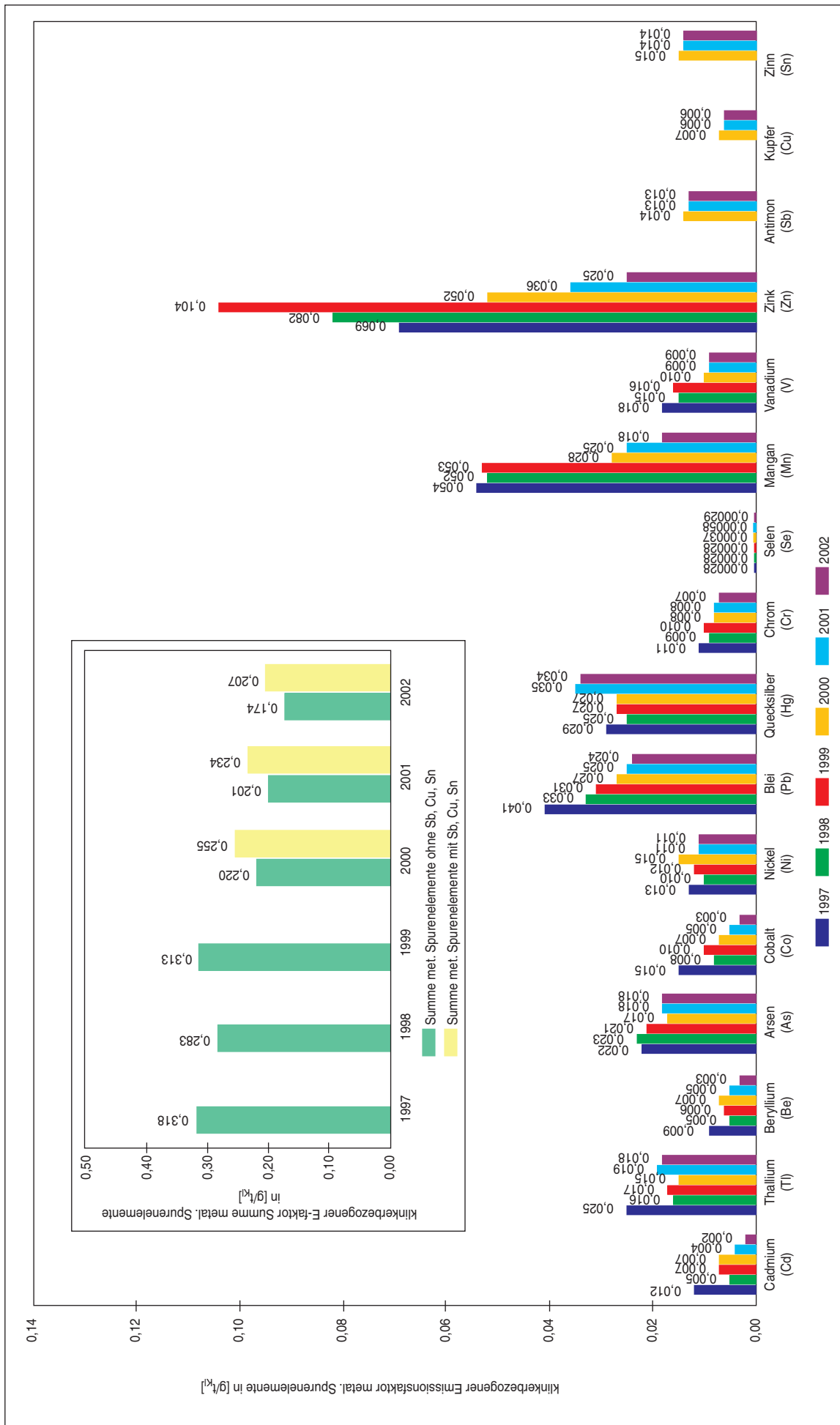


Abbildung 4-21: klinkerbezogene Emissionen diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 1997 bis 2002

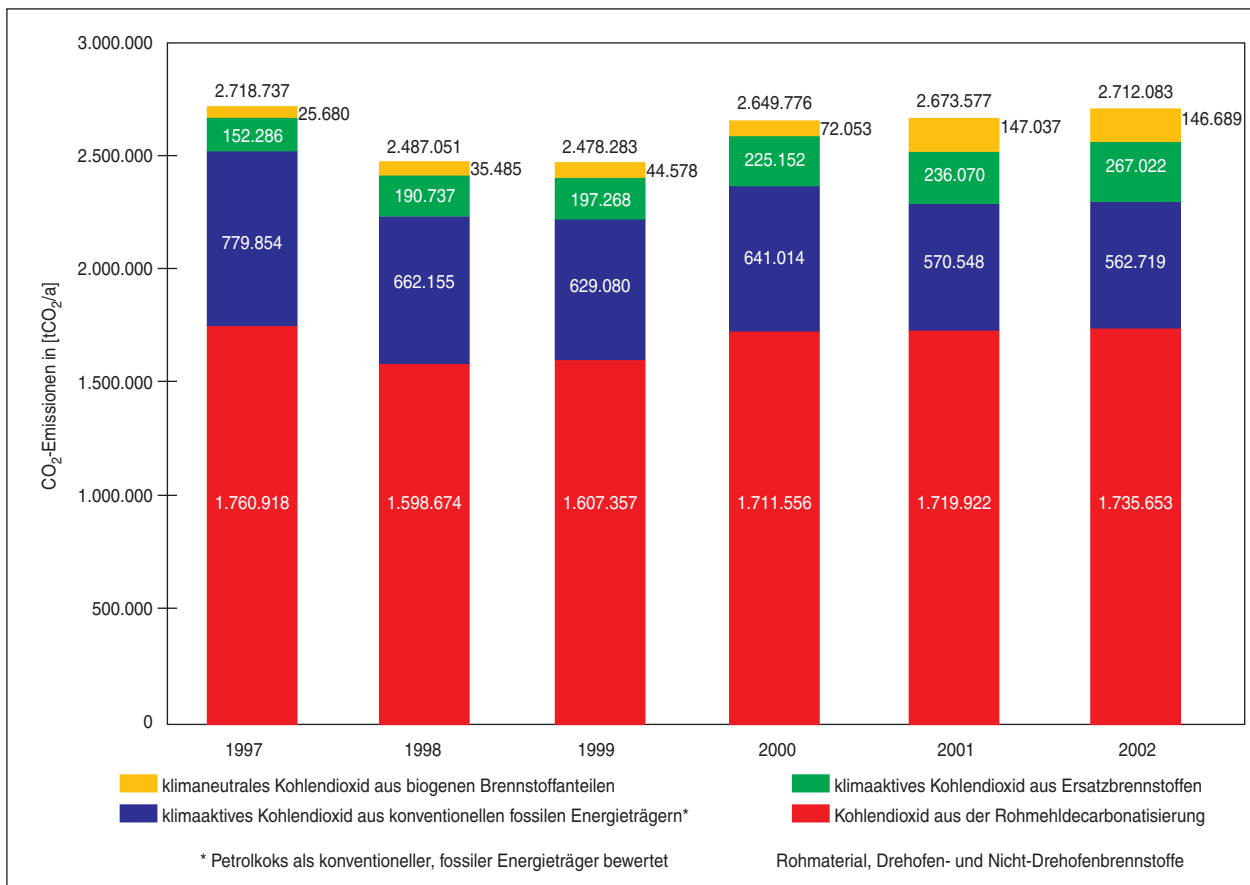


Abbildung 4-22: Entwicklung der pyrogenen und prozessspezifischen Kohlendioxidemissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Bilanzzeitraum von 1997 bis 2002

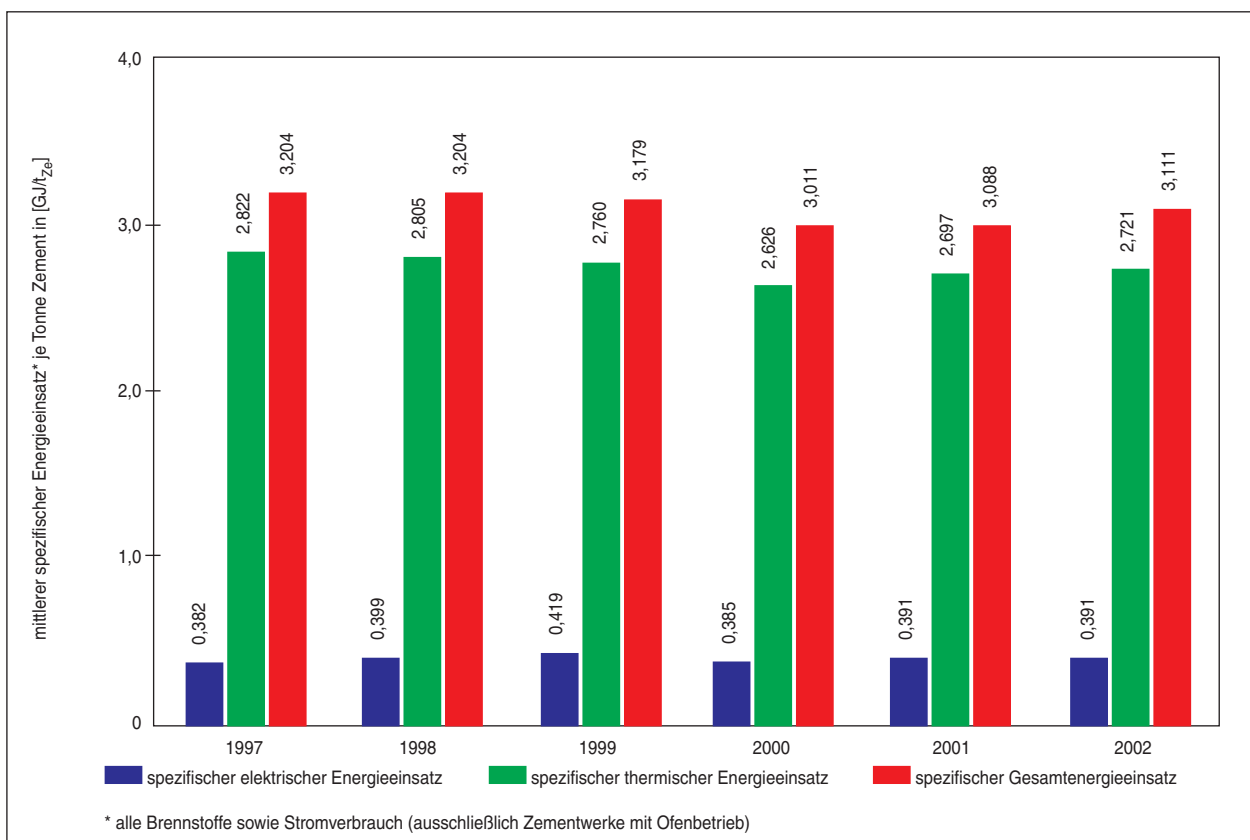


Abbildung 4-23: mittlerer spezifischer Energieeinsatz je Tonne Zement in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 1997 bis 2002

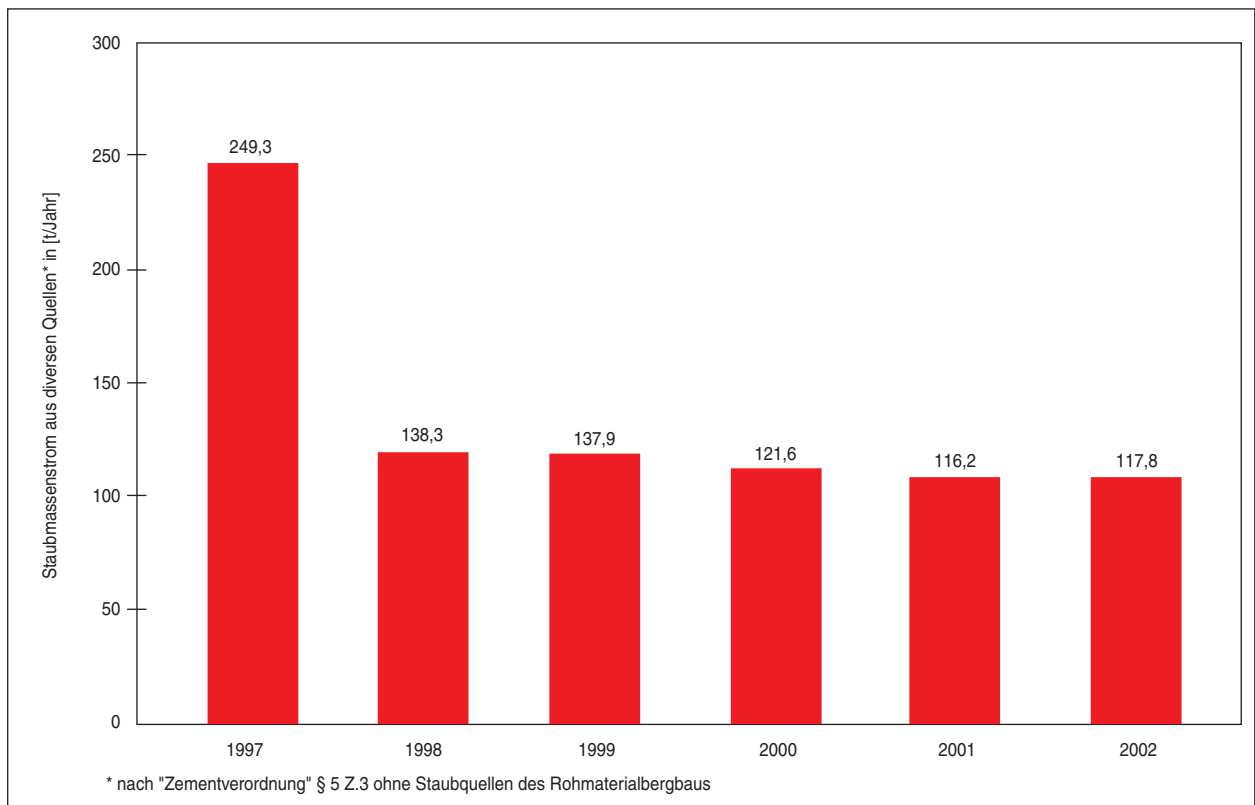


Abbildung 4-24: Staubmassenstrom aus „sonstigen definierten Quellen“ nach „Zementverordnung“ § 5 Z.3 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002

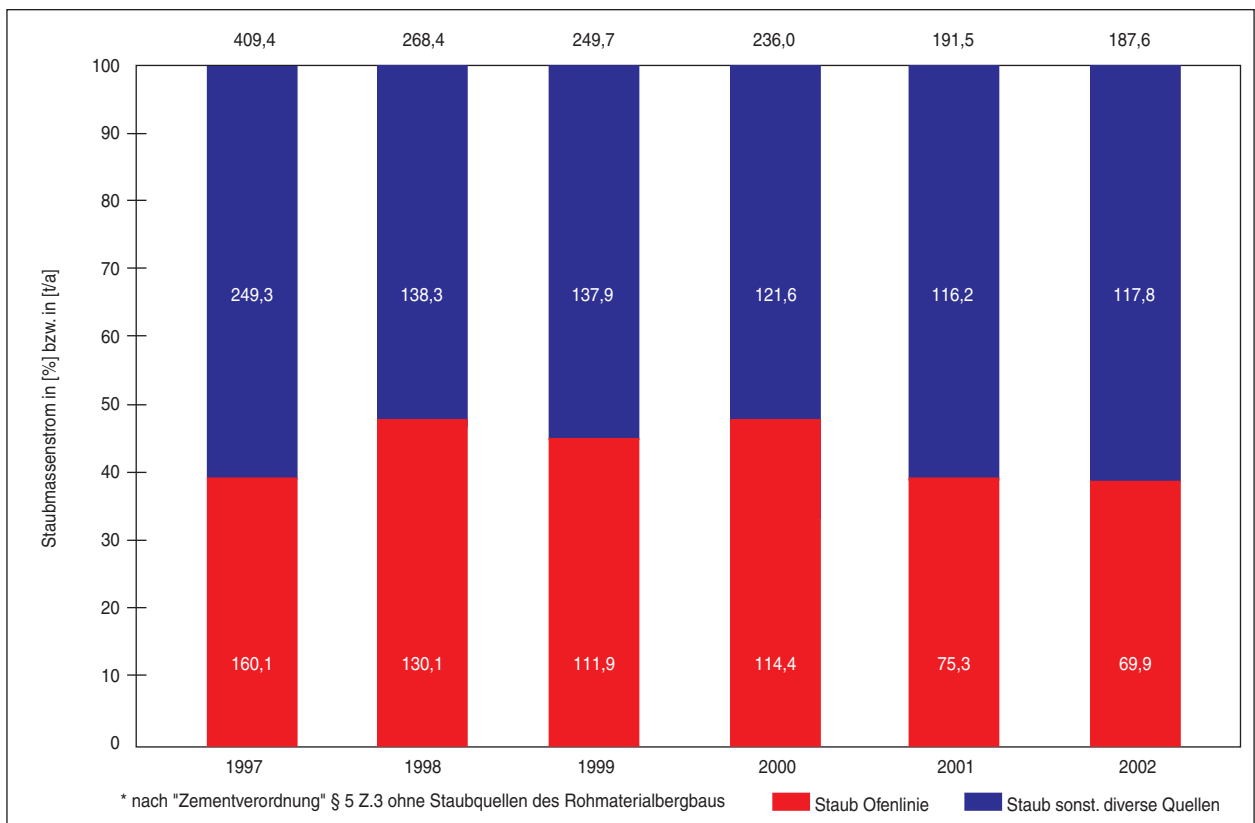


Abbildung 4-25: staubförmige Emissionen unter Berücksichtigung von Staubemissionen aus „sonstigen definierten Quellen“ nach „Zementverordnung“ § 5 Z.3 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002

5 Kommentierung der Ergebnisse

5.1 Anlage- und Produktionsdaten

Im Berichtszeitraum 2000 bis einschließlich 2002 ist die installierte Klinkerkapazität um 5,66% vergrößert worden (Tabelle 5-1). Die Klinkerproduktion ist systematisch um 2,14% gestiegen. Die Zementproduktion jedoch nur gering um 0,35% gewachsen. Da der Einsatz von Sekundärrohstoffen zwar um mehr als 37.000 t (14,60%) zugenommen, die Sekundärzumahlstoffe aber um knapp 44.000 t (6,08%) abgenommen haben ist dieses unterschiedliche Wachstum wahrscheinlich auf Änderungen in den Zementrezepturen zurückzuführen.

Für die Produktion einer Tonne Klinker wurden 2002, bezogen auf 2000, um 0,39% mehr Rohmehl verbraucht, um 1,78% mehr thermische Energie eingesetzt und um 2,92% mehr Ofenbetriebsstunden benötigt. Diese Steigerungen können auf Veränderungen im Einsatzmaterial zurückzuführen sein. Im bergbaulichen Abbau einer Lagerstätte treten mit zunehmendem Abbau Veränderungen in den chemischen und physikalischen Eigenschaften auf, die für den Klinkerbrand mildere oder schärfere Ofenbedingungen erfordern. Da die Steigerung der genannten drei Kenngrößen systematisch erfolgt ist, das heißt von 2000 auf 2001 bereits gestiegen sind (siehe Tabelle 5-1) und sich dann weiter auf die Werte für 2002 erhöht haben, kann das als Stütze für diese Annahme dienen.

Tabelle 5-1: Produktionsdaten für Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Bilanzzeitraum 2000 bis 2002

Kennzahl	2000	[%]	2001	[%]	2002	[%]
Installierte Klinkerkapazität [t/a]	4.034.000	100	k.A.	k.A.	4.262.500	5,66
Rohmehleinsatz [t/a]	4.890.919	100	4.911.083	0,41	5.014.871	2,53
Klinkerproduktion [t/a]	3.052.974	100	3.061.338	0,27	3.118.227	2,14
Zementproduktion [t/a]	4.046.916	100	4.035.382	-0,29	4.060.949	0,35
Ofenbetriebsstunden [t/a]	60.732	100	62.057	2,18	63.895	5,21
Rohmehlfaktor [t_{Rm}/t_{Kl}]	1,602	100	1,604	0,14	1,608	0,39
Klinkerfaktor [t_{Kl}/t_{Ze}]	0,754	100	0,759	0,56	0,768	1,78
spez. therm. Energieeinsatz [GJ/t _{Kl}]	3,481	100	3,556	2,15	3,543	1,78
Klinkerbrandfaktor [t_{Kl}/h_{OB}]	50,270	100	49,331	-1,87	48,803	-2,92
Abgasfaktor [$m^3(Vn)/h_{OB}$]	106.839	100	105.175	-1,56	106.090	-0,70
rel. therm. Energieeinsatz [GJ/h _{OB}]	174,988	100	175,409	0,24	172,909	-1,19
therm. Energieeinsatz [GJ/a]	10.627.326	100	10.885.406	2,43	11.047.907	3,96
Abgasvolumen [1000 m ³ (Vn)/a]	6.488.494	100	6.526.858	0,59	6.778.573	4,47

5.2 Energieeinsatz

Wie in Tabelle 5-1 dargestellt, haben die Ofenbetriebsstunden im Bilanzzeitraum systematisch um 5,21% zugenommen, desgleichen der thermische Energieverbrauch um 3,96% und damit zusammenhängend der Abgasvolumenstrom um 4,47%. Auf die Ofenbetriebsstunde bezogen ist die Klinkerproduktion um 2,92%, der Wärmeeinsatz nur um 1,19%, der Abgasvolumenstrom um 0,70% zurückgegangen. Auch diese Daten belegen, dass im Berichtszeitraum die Produktion von Klinker unter ungünstigeren Bedingungen erfolgen musste.

Die Zusammenstellung einiger energiebezogener Daten für den Berichtszeitraum in Tabelle 5 2 zeigt eine systematische Steigerung des thermischen Energieeinsatzes um 3,96%. Im thermischen Energieeinsatz hat der Verbrauch an fossilen konventionellen Energieträgern (KET) bezüglich [GJ/a] systematisch um 13,96% abgenommen und bildet 2002 55,06% des thermischen Energieeinsatzes. Die Ersatzbrennstoffe (EBS) haben um 39,56% zugenommen und liefern nun 44,94% des thermischen Energiebedarfes. Vergleicht man die spezifischen Energiegehalte von KET und EBS so zeigt sich, dass bei den KET diese Kenngröße systematisch um 2,18% zurückgegangen ist. Dieser Rückgang ist u.a. darauf zurückzuführen, dass die konventionellen Energieträger im Einsatz zurückgenommen wurden, nur Petrolkoks und Braunkohlenstaub eine starke Steigerung erfahren haben.

Tabelle 5-2: Energiedaten für Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Bilanzzeitraum 2000 bis 2002

Kennzahl	2000	2001	2002	2002/2000 [%]
therm. Energieeinsatz [GJ/a]	10.627.326	10.885.406	11.047.907	3,96
Brennstoffeinsatzmenge [t/a]	409.375	433.975	449.602	9,83
spez. Energiegehalt aller Brennstoffe [GJ/tBST]	25,960	25,083	24,573	-5,34
spez. Energiegehalt aller Ersatzbrennstoffe* [GJ/tEBS]	20,940	20,846	20,777	-0,78
spez. Energiegehalt aller konventionellen Brennstoffe [GJ/tKET]	29,521	29,361	28,879	-2,18
Anteil der Ersatzbrennstoffe am therm. Gesamtenergieeinsatz [%]	33,47	41,76	44,94	
* Petrolkoks als konventioneller Energieträger bewertet				

Auch für die Ersatzbrennstoffe ist ein Rückgang des spezifischen Energiegehaltes um 0,78% festzustellen. Gemeinsam mit dem Rückgang des spezifischen Energiegehalts der konventionellen Brennstoffe hatte dies eine Abnahme des spezifischen Energiegehalts $[GJ/t_{BST}]$ aus der Summe aller eingesetzten Brennstoffe (BST) um 5,34% zur Folge. Bei gleichem Temperaturfeld im Ofen bedeutet das einen erhöhten Massenstrom für die Brennstoffzufuhr oder verlängerte Verweilzeit im Ofen, d.h. mehr Ofenbetriebsstunden, kleinere CO-Gehalte und geringere spezifische Abgasvolumenströme, ein Umstand der sich auch in Tabelle 5-1 zeigt.

5.3 Emissionen

5.3.1 Klassische Schadstoffe

Die Auswertung der in Tabelle 5-3 angegebenen Emissionsdaten zeigt für den Verlauf von 2000-2002 folgenden Trend:

Tabelle 5-3: Emissionsänderungen bei klassischen Schadstoffen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie in den Bilanzjahren 2001 und 2002 bezogen auf 2000

	[t/a]		[g/tZe]		[g/tKI]	
	2001	2002	2001	2002	2001	2002
	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
Staubförmige Emissionen	-34,14	-38,92	-33,96	-39,13	-34,32	-40,19
Stickstoffoxide (als NO ₂)	-4,11	5,62	-3,83	5,26	-4,37	3,41
Schwefeldioxid (SO ₂)	31,90	52,15	32,28	51,63	31,54	48,97
chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	30,75	-36,66	31,13	-36,87	30,40	-37,98
fluorhaltige Verbindungen (als HF)	-21,19	-44,68	-20,97	-44,87	-21,41	-45,84
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	13,14	1,93	13,46	1,57	12,83	-0,21
Kohlenmonoxid (CO)	2,30	-4,68	2,60	-5,01	2,02	-6,68

Im Bereich der klassischen Schadstoffe zeigen sich für den jährlichen Massenstrom [t/a] und die beiden spezifischen Emissionsfaktoren $[g/t_{ze}]$ bzw. $[g/t_{ki}]$ starke Emissionsverminderungen bei Staub, den chlor- und fluorhaltigen Verbindungen sowie bei Kohlenmonoxid. Für Staub ergibt sich eine systematische Reduktion um durchschnittlich 40%. Diese starke Verminderung bei gestiegenem Rohmehleinsatz und gesteigener Klinkerproduktion ist auf die Modernisierung der Entstaubungsanlagen in einigen Werken zurückzuführen, vor allem auf den Einsatz von Abreinigungsfiltren mit textilen Filtermedien an Stelle von Elektroentstaubern.

Der starke systematische Rückgang bei fluorhaltigen Verbindungen und der stark unsystematische Verlauf bei chlorhaltigen Verbindungen wären nur mit einer Elementaranalyse der eingesetzten Roh- und Brennstoffe belegbar zu erklären. Im Bereich der Ersatzbrennstoffe haben Abnahmen der Massenströme im Berichtszeitraum nur bei Altreifen um ca. 5%, bei landwirtschaftlichen Rückständen um rund 50%, bei kontaminiertem Sägemehl um mehr als 98% stattgefunden. Diese Ersatzbrennstoffe können jedoch mit Ausnahme des kontaminierten Sägemehls, das halogenierte organische Lösemittel enthalten kann, als nicht relevant angesehen werden. Die geringen Mengen kontaminierten Sägemehls – Rückgang von 583 t in 2000 auf 0 t in 2002 – schließen auch diesen Einfluss aus. Der größte Beitrag wird daher durch eine Änderung der chemischen Zusammensetzung der Rohstoffe und Zuschlagstoffe bewirkt worden sein.

Für Stickstoffoxide liegt eine unsystematische Steigerung bei den drei Kennwerten vor, die gerundet zwischen 3% und 6% liegt. Da für die stickstoffhaltigen Energieträger Kohle und Öl ein starker Rückgang des Massenstroms und damit auch des Stickstoffeintrags zu verzeichnen ist, verbleibt als eine der Ursachen die in Tabelle 4-1 (Seite 10-12) angegebenen Ersatzbrennstoffe. Diese haben eine Mengensteigerung um 40,66% erfahren, verbunden mit einer Steigerung des Energieeintrages um 39,56%. Gleichzeitig hat sich eine sehr starke Erhöhung der Einsatzmenge von Petrolkoks auf das Fünffache ergeben von rund 10.000 t auf fast 52.000 t. Petrolkoks enthält einen relativ hohen Anteil an Stickstoff. Durch die Verfahrenstechnik der Erdölverarbeitung erfolgt am Ende der Produktionskette, dem Petrolkoks, eine Anreicherung u.a. an Schwefel mit Gehalten bis über 5 m.-% und Stickstoff bis 1,8 m.-% [5]. Diese starke Steigerung des Petrolkokseinsatzes sowie auch die des stark stickstoffhaltigen Tiermehls ist für die Zunahme der Stickstoffoxid-Emissionswerte mitverantwortlich. Diese Folgerung wird gestützt durch den Zusammenhang zwischen Petrolkokseinsatz bzw. Tiermehleinsatz und Stickstoffoxidemissionen im Verlauf über die drei Berichtsjahre, siehe Tabelle 5-4.

Die Bildung und Emission von Stickstoffoxiden (NO_x) wird durch drei Bildungswege verursacht. Das Brennstoff-NO_x entsteht aus dem Stickstoffgehalt des Brennstoffs im Temperaturbereich bis über 800 °C, das thermische NO_x wird aus dem Stickstoff der Verbrennungsluft ab etwa 1000 °C gebildet. Das sogenannte prompte NO_x ist von untergeordneter Bedeutung. Die hohen Arbeitstemperaturen beim Klinkerbrand bedeuten somit auch eine wesentliche Bildung von thermischen NO_x. Da die jeweils notwendige Ofentemperatur auch von der chemischen

Tabelle 5-4: Vergleich der Stickstoffoxid-Emissionsdaten mit den Einsatzmengen an Petrolkoks bzw. Tiermehl

	2000	[%]	2001	[%]	2002	[%]
Emissionen Stickstoffoxide (als NO ₂) [t/a]	4.028,71	100,00	3.863,22	-4,11	4.255,30	5,62
Emissionsfaktor Stickstoffoxide (als NO ₂) [g/t _{ze}]	995,50	100,00	957,34	-3,83	1.047,86	5,26
Emissionsfaktor Stickstoffoxide (als NO ₂) [g/t _{kl}]	1.319,60	100,00	1.261,94	-4,37	1.364,65	3,41
Einsatzmenge Petrolkoks [t/a]	10.367	100,00	8.648	-16,58	51.882	400,45
Einsatzmenge Tiermehl [t/a]	17		38.407	100,00	47.908	24,74

Tabelle 5-5: Verlauf des auf die Tonne Klinker bezogenen Emissionsfaktors für Stickstoffoxide von 1988 bis 2002

Bilanzjahr	Emissionsfaktor Stickstoffoxide (als NO ₂)	Änderung 2002/1988
	[g/t _{kl}]	[%]
1988	1.762,10	100,00
1989	1.763,90	0,10
1990	1.785,60	1,33
1991	1.736,36	-1,46
1992	1.794,05	1,81
1993	1.712,29	-2,83
1994	1.646,04	-6,59
1995	1.680,81	-4,61
1996	1.616,62	-8,26
1997	1.431,28	-18,77
1998	1.359,75	-22,83
1999	1.368,40	-22,34
2000	1.319,60	-25,11
2001	1.261,94	-28,38
2002	1.364,65	-22,56

Zusammensetzung des Rohmehls abhängt, kann auch durch eine höhere Ofentemperatur in einzelnen Werken eine verstärkte Bildung von thermischen NO_x erfolgt sein, die zusammen mit dem gesteigerten Brennstoff-NO_x die NO_x-Gesamtemission erhöht hat.

Der längerfristige Trend (1988-2002) am Beispiel des auf die Tonne Klinker bezogenen Emissionsfaktors in Tabelle 5-5 zeigt jedoch, dass seit Beginn der Emissionsdatenerfassung im Jahr 1988 die Emissionswerte weitgehend systematisch um rund 28,4% bis 2001 reduziert werden konnten, ein Erfolg der vor allem durch primäre technische Maßnahmen, die die Bildungsrate der Emissionen verkleinerten, erreicht werden konnte.

Für die starke Zunahme der SO₂-Emissionswerte [g/t_{kl}] im Zeitraum 1999 bis 2002 (+177,5%), der im Berichtszeitraum 1997 bis 1999 eine starke Reduktion (-85,5%) vorausgegangen war, sind zwei Gründe anzuführen. Der dominant sich auswirkende Grund ist hier im direkten und indirekten Zusammenhang mit dem Schwefelgehalt des Rohmaterials eines Werkes zu finden, wodurch die SO₂-Emissionen vorübergehend angestiegen sind.

Ferner ist auch für SO₂ der gleiche Grund wie bei den NO_x-Emissionswerten zu nennen, der stark gestiegene Einsatz von Petrolkoks. Das Bindungspotential des Rohmehls im

Ofen reicht nicht immer aus, um die aus dem Petrolkoks freigesetzten meist sehr hohen SO₂-Mengen zu binden, bzw. um den Produktspezifikationen zu entsprechen. Hohe Schwefelfrachten können dabei auch zu einer Verstärkung des inneren Schwefelkreislaufes und dadurch auch zu verstärkten Ansatzbildungen am Ofeneintritt und vorgelagerten Anlagenbereichen somit zu Störungen im Ofenbetrieb führen.

Bei TOC ist für 2001 eine Erhöhung des klinkerbezogenen Emissionsfaktors um ca. 12,8% eingetreten, die jedoch in 2002 wieder abgebaut werden konnte.

Für CO hat sich im Jahresvergleich 2002/2000 eine deutliche Reduktion des klinkerbezogenen Emissionsfaktors um ca. 6,7% ergeben.

Emissionen von Dioxin- und Furanverbindungen aus Zementerzeugungsanlagen sind erfahrungsgemäß außerordentlich gering. Kontrollmessungen, die in österreichischen Zementwerken beim Einsatz von Ersatzbrennstoffen durchgeführt wurden, haben das bestätigt und TCDD-Äquivalenzkonzentrationen ergeben, die in einer Größenordnung von einer Zehnerpotenz und mehr unter dem Emissionsgrenzwert von 0,1 ng/m³(Vn) liegen.

Im Berichtszeitraum waren die VO-BMUJF für die Verbrennung von gefährlichen Abfällen [2] und die VO-BMwA für die Mitverbrennung von Abfällen [] vorliegend. Beide Verordnungen sind Ende 2002 durch die von beiden Ministerien herausgegebene Verordnung für die Verbrennung von Abfällen (AVV) [7] ersetzt worden. In der VO-BMUJF für die Verbrennung gefährlicher Abfälle wird vorgegeben, dass die Mitverbrennung gefährlicher Abfälle „zu keinen höheren Emissionen von Schadstoffen in den durch diese Mitverbrennung verursachten Abgasvolumen führen“ darf.

Diese Formulierung hat zu Interpretationsproblemen geführt und in deren Folge zu einem klärenden Erlass, demzufolge die tatsächlichen Emissionen der Anlage bei Einsatz von Regelbrennstoffen als Vergleichsbasis heranzuziehen sind und im Vergleich nicht die Höhe der Emissionen pro Schadstoff gegeneinander aufzurechnen sind, sondern ein Gesamtvergleich der Emissionssituation der Anlage vor und während dem Einsatz gefährlicher Abfälle anzustellen ist. Würde man diese Emissionsvorschrift hypothetisch auf das Ensemble der Werke

Tabelle 5-6: Emissionskenngrößen für metallische Spurenelemente und ihre prozentuelle Änderung in 2002 bezogen auf 2000

Spurenelement	2002/2000	2002/2000	2002/2000
	Massenstrom [t/a]	Emissionsfaktor [g/t _{ze}]	Emissionsfaktor [g/t _{kl}]
	[%]	[%]	[%]
Cadmium (Cd)	-64,50	-64,63	-65,25
Thallium (Tl)	26,80	26,36	24,14
Beryllium (Be)	-48,12	-48,30	-49,21
Arsen (As)	3,87	3,51	1,70
Cobalt (Co)	-52,63	-52,79	-53,62
Nickel (Ni)	-20,23	-20,51	-21,90
Blei (Pb)	-8,39	-8,71	-10,31
Quecksilber (Hg)	30,05	29,60	27,33
Chrom (Cr)	-13,81	-14,11	-15,61
Selen (Se)	-22,13	-22,40	-23,76
Mangan (Mn)	-35,06	-35,28	-36,42
Vanadium (V)	0,27	-0,07	-1,83
Zink (Zn)	-51,22	-51,39	-52,24
Antimon (Sb)	-3,65	-3,99	-5,67
Kupfer (Cu)	-8,53	-8,85	-10,44
Zinn (Sn)	-6,98	-7,30	-8,93
Summe aller Spurenelemente	-17,22	-17,51	-18,95

anwenden, obwohl in den Jahren 2000 bis 2002 nur einige Werke gefährliche Abfälle verbrannt haben, so zeigte sich, dass für vier der sieben klassischen Schadstoffe starke bis sehr starke Emissionsreduktionen, für 13 der 16 metallischen Spurenelemente ebenfalls zum Teil starke Verminderungen der Emissionen zu verzeichnen sind (siehe Tabelle 5-3, Seite 31 bzw. Tabelle 5-6).

Die weniger stringente VO-BMwA, legt nur fest, dass durch die Mitverbrennung die der Anlage vorgeschriebenen Emissionsgrenzwerte nicht überschritten werden dürfen. Aus der in dieser Studie erstellten Gesamtemissionsbilanz kann auf die Emissionssituation in einzelnen Werken nicht explizit eingegangen werden, doch lässt die positive Gesamtbilanz den Schluss zu, dass den Forderungen dieser beiden Verordnungen entsprochen wurde.

5.3.2 Metallische Spurenelemente

Für den Berichtszeitraum 2000 bis 2002 zeigen die meisten der Spurenelemente, dreizehn von insgesamt sechzehn, einen rückläufigen (bis 20%) bis stark rückläufigen (über 20%) Verlauf. Dies gilt für die spezifischen Emissionsfaktoren für Klinker und für Zement, siehe Tabelle 5-6. Eine geringfügige Zunahme zeigt sich bei Arsen, eine unsystematische starke Zunahme (über 20%) bei Quecksilber und Thallium. Für die Summe der in den Jahren von 1988 bis 2002 erfassten 13 metallischen Spurenelemente resultiert eine systematische Reduktion (Abbildung 4-21, Seite 27).

Neu aufgenommen in die Inventur wurden die Spurenelemente Antimon, Kupfer und Zinn. Diese Spurenelemente sind in der für den Berichtszeitraum in Geltung getretenen Verbrennungsverordnung für gefährliche Abfälle BGBl II 1999/22 in § 10, die Emissionsgrenzwerte und Sonderbestimmungen für die Mitverbrennung in Anlagen der Zementerzeugung beinhaltet, in Abs. 1, Ziff. 2c in der Summe der dort angeführten Spurenelemente für den gemeinsamen Summengrenzwert von 0,5 mg/m³ mit enthalten.

Unter Einschluss dieser drei metallischen Spurenelemente ergibt die Summe aller 16 erfassten Spurenelemente innerhalb des Berichtszeitraumes eine signifikante Reduzierung um mehr als 17% bei Massenstrom und zementbezogenen Emissionsfaktor, um annähernd 19% beim klinkerbezogenen Emissionsfaktor (Tabelle 5-6).

5.3.3 Staubemissionen

Abbildung 4-24 (Seite 29) informiert über die Entwicklung des Staubmassenstroms aus „sonstigen definierten Quellen“ nach „Zementverordnung“ § 5 Z.3 [1] im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002. Es wurden in der vorliegenden Studie im Gegensatz zu [13] nur österreichische Zementwerke mit Ofenbetrieb erfasst, Mahlwerke blieben unberücksichtigt. Im Berichtszeitraum sank der Staubmassenstrom aus „sonstigen definierten Quellen“ von ca. 121,6 t in 2000 um ca. 3,1% auf ca. 117,8 t in 2002. Dennoch vergrößerte sich im Bilanzzeitraum der Anteil der Staubbefreiungen aus „sonstigen definierten Quellen“, an den Gesamtstaubemissionen von 51,5%

Tabelle5-7: Streubreite der mittleren Emissionskonzentrationen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) berechnet für das Jahr 2002 (Bezugssauerstoffkonzentration: 10,0 Vol.-%, angeführte Grenzwerte – unbeschadet anderer rechtlicher Regulative – nach [1])

Schadstoff	mittlere Emissionskonzentration [mg/m ³ (Vn)tr.]	maximale Emissionskonzentration [mg/m ³ (Vn)tr.]	minimale Emissionskonzentration [mg/m ³ (Vn)tr.]	Grenzwert [mg/m ³ (Vn)tr.]
Staubförmige Emissionen ^{a)}	10,31	19,00	4,76	50a)
Stickstoffoxide (als NO ₂)	627,76	820,00	240,18	500 ^{b)} / 1.000 ^{c)}
Schwefeldioxid (SO ₂)	77,61	234,08	2,70	200 ^{a)} / 400 ^{d)}
As, Co, Ni, Pb (insgesamt)	0,026128	0,084036	0,000878	1,0 ^{a)}
Cadmium (Cd)	0,001090	0,003955	0,000054	0,1 ^{a)}
Thallium (Tl)	0,008481	0,032626	0,000100	0,1 ^{a)}
Beryllium (Be)	0,001583	0,004354	0,000045	0,1 ^{a)}
Cd, Tl, Be (insgesamt)	0,011154	0,040535	0,000300	0,2 ^{a)}
Quecksilber (Hg)	0,015719	0,046085	0,003962	-
Chlorverbindungen (als HCl)	1,057	2,030	0,660	-
Fluorverbindungen (als HF)	0,125	0,265	0,040	-
Kohlenmonoxid (CO)	1.038,46	3.007,62	188,27	-
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	33,717	70,742	7,267	-
Symbolik: a) für Neu- und Altanlagen gültig ab 29. 01. 1998 b) für Neuanlagen gültig ab 29. 01. 1993 c) für Altanlagen gültig ab 31. 12. 1996 d) beim Vorliegen S-hältiger Rohstoffe, gültig ab 29. 01. 1998 e) ohne Staubemissionen aus „sonstigen definierten Quellen“ (Zementverord. §5 Z.3)				

auf 62,8%, siehe Abbildung 4-25 (Seite 29). Dies ist in erster Linie auf Verbesserungen bei den Abgasentstaubungseinrichtungen der Ofenlinie zurückzuführen.

5.3.4 Emissionsfaktoren

Bei der Beurteilung von Mittelwerten ist zu berücksichtigen, dass ein Mittelwert gebildet aus den spezifischen Werten einer Anzahl von Anlagen umso bessere Qualität besitzt, je größer die Zahl der erfassten Anlagen ist. Es ist auch zu beachten, dass ein anlagenspezifischer Wert einen Mittelwert über eine bestimmte Zeit und – bedingt durch die zeitlich und örtlich differierten Transportvorgänge (Anpackungen) im Drehrohr – nicht einen völlig homogenen Prozessablauf darstellt. Die emissionstechnische Aussage eines Mittelwertes bedarf daher der ergänzenden Berücksichtigung der Maximal- und der Minimalwerte sowie der zeitlichen Basis. Die folgende Tabelle 5-7 gibt Auskunft über mittlere Emissionskonzentrationen ausgewählter Schadstoffe die von österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkerproduktion 2002 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 [1] mit 10,0 Vol.-% berücksichtigt.

5.4 Klimarelevanz

In den bisherigen Emissionsbilanzen wurden die CO₂-Emissionen wegen ihrer Klimarelevanz gemeinsam mit den anderen Emissionen dargestellt und im Kommentar in einem Unterpunkt besprochen.

Die zunehmende umwelt- und wirtschaftspolitische Bedeutung, die die Klimaproblematik im Rahmen der UNO, der EU und damit auch auf nationaler Ebene erfahren hat, hat Anlass dazu gegeben den CO₂-Emissionen im vorliegenden Bericht ein eigenes Kapitel zu widmen und über das Ausmaß der bisherigen Darstellung, der nunmehrigen Bedeutung entsprechend, hinauszugehen („7 Kohlendioxidemissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie“, Seite 40).

Die nationale Klimastrategie 2002 sowie der im Entwurf vorliegende Allokationsplan sind nationale Instrumente um den Reduktionsverpflichtungen im Rahmen der EU zu entsprechen. Das Kyoto-Protokoll ist das Ergebnis eines Auftrages der UNO-Generalversammlung 1992.

Sollte das Kyoto-Protokoll nicht Rechtskraft erlangen, werden die EU-internen Vereinbarungen aller Voraussicht nach bestehen bleiben. Jedenfalls aber bleibt der Auftrag der UNO zur Schaffung eines geeigneten Instrumentes zur Reduktion der Treibhausgase bestehen.

6 Die Entwicklung von 1988 bis 2002

Die österreichische Zementindustrie verfügt nun über eine weitgehend geschlossene jährliche Datenreihe von 15 Jahren von 1988 bis einschließlich 2002 für

Emissionen von

- konventionellen Luftschadstoffen
- metallischen Spurenelementen
- geogenen und pyrogenen CO₂

Verbrauch von

- konventionellen Energieträgern
- Ersatzbrennstoffen
- Rohmehl
- Sekundärrohstoffen
- Sekundärzumahlstoffen

sowie wesentliche produktions- und betriebsbezogene Gesamtdaten. Für die wichtigsten dieser Daten wurden auch spezifische Faktoren, d.h. bezogen auf Tonne Klinker und Tonne Zement, angegeben um über Werte zu verfügen, die von der jeweiligen Produktionshöhe unabhängig sind.

Bei der Darstellung und Kommentierung der Daten wurde vereinbarungsgemäß nie auf einzelne Werke Bezug genommen. Das Gesamtbild setzt sich daher zusammen aus den Daten der einzelnen Werke, die zum Teil unter sehr unterschiedlichen Bedingungen aus dem Rohmaterial, der technischen Einrichtungen, der Art und Menge von konventionellen und von Ersatzbrennstoffen sowie von sekundären Roh- und Zumahlstoffen arbeiten. Ein Rückschluss aus den Gesamtdaten auf die Situation eines Werkes ist daher nicht korrekt.

In den nun vier vorliegenden Emissionsberichten [11, 12, 13] sind für jedes der 15 Jahre alle Daten enthalten und kommentiert. Für die zusammenfassende Darstellung in Tabelle 6-5 (Seite 39) wurden für die wichtigsten Kriterien die Werte der spezifischen Klinkerfaktoren, also bezogen auf die Tonne produzierten Klinker, als für den Ofenbetrieb und die damit zusammenhängenden Emissions- und Energiedaten repräsentativen Wert herangezogen und – pars pro toto – für die Jahre 1988, 1991, 1995, 1999 und 2002 verglichen, sowie jeweils auf 1988 bezogen.

Bei den konventionellen Schadstoffen zeigt sich, dass von den acht erfassten Emissionskomponenten vier davon (Staub, SO₂, chlorhaltige Verbindungen, fluorhaltige Verbindungen) eine sehr starke Reduktion im Bereich zwischen rund 40% bis ca. 60%, zwei (NO_x, CO) zwischen 23% und 32% und nur zwei (pyrogenes CO₂, TOC) eine Erhöhung zwischen 7% und 13% erfahren haben. Die hohe Staubemissionsreduktion von mehr als 62% ist über die Jahre mit der Modernisierung der Staubabscheideanlagen erfolgt. Die Verminderung der NO_x-Emissionen hat ab Mitte der Neunzigerjahre mit der Einführung primärer Verminderungstechniken zu Werten von ca. -23% geführt. Bei SO₂ mit einer derzeitigen Reduktion von rund 49% haben einerseits die Brennstoffpalette, andererseits die spezifische Anwendung der Entschwefelungstechnik bei hoch schwefelhaltigem Rohmaterial zu einem noch steigerungsfähigen Verminderungspotential geführt. Die starke Reduktion bei den Halogenverbindungen, knapp 54% bei chlorhaltigen Verbindungen, über 43% bei fluorhaltigen Verbindungen, wird weitgehend auf die Zusammensetzung des Rohmaterials zurückzuführen sein und könnte in künftigen Jahren auch wieder zu einer Trendumkehr führen. Der organische Gesamtkohlenstoff zeigt eine Erhöhung um über 13%, ein Trend der ab 1996 eingesetzt hat und in den folgenden Jahren stärker oder schwächer ausgeprägt war. Ein Zusammenhang mit dem gesteigerten Einsatz bestimmter Ersatzbrennstoffe ist wahrscheinlich gegeben. Die starke Verminderung bei CO um über 31% muss als Resultat einiger Einflussfaktoren gesehen werden. Einerseits besteht ein feuerungstechnischer Zusammenhang mit dem Anstieg der NO_x-Emission, ferner kann sich ein kleinerer Gehalt Kohlenstoffverbindungen im Rohmehl auswirken, desgleichen hat die Korngröße beim Einsatz von stückigen Ersatzbrennstoffen Einfluss auf die CO-Bildung. Diese exemplarisch genannten Faktoren mit unterschiedlicher Wirkungsstärke in den einzelnen Werken haben im Trend der letzten Jahre zu einer deutlichen Reduktion geführt.

Für pyrogenes CO₂ zeigt sich ab Mitte der neunziger Jahre (bezogen auf 1988) eine Steigerung auf ca. 7,4%.

Langfristig gesehen ist der Einsatz thermischer Energie pro Tonne Klinker innerhalb einer geringen Schwankungsbreite geblieben.

Für die metallischen Spurenelemente wurden die klinkerbezogenen Emissionsfaktoren in Tabelle 6-3 (Seite 38) zusammengestellt. Der Verlauf der Werte von 1988 bis 1999, schon enthalten im Emissionsbericht 1997-1999 [13], wurde mit den Werten für die Periode bis 2002 ergänzt. Es zeigt sich, dass bei Vergleich der Mittelwerte für

die beiden Perioden aber auch bei Vergleich der Werte für 1988 und für 2002 für sieben Elemente, i.e. Cadmium, Cobalt, Blei, Chrom, Mangan, Vanadium und Zink, eine starke bis sehr starke Reduktion erfolgt ist, bei sechs Elementen, i.e. Thallium, Beryllium, Arsen, Nickel, Quecksilber, Selen sind starke bis sehr starke Steigerungen festzustellen. Bei qualitativer Wertung der Gesamtemissionen an metallischen Spurenelementen ist keine wesentliche Änderung eingetreten.

In der folgenden Tabelle 6-6 (Seite 39) wurden für die Jahre 1988 bis 2002 die klinkerbezogenen Emissionsfaktoren für die beiden mit stark unsystematischer Zunahme ermittelten Spurenelemente Quecksilber und Thallium sowie für das stark reduzierte Cadmium bezüglich ihrer auf 1988 bezogenen Zu- oder Abnahme dargestellt. Für Quecksilber und Thallium, wie auch bei Beryllium, Arsen und Nickel zeigt sich ein sprunghafter Anstieg in 1994. Für Cadmium setzte 1998 eine starke Reduktion ein, die ihren höchsten Wert 2002 erreichte.

Der langfristige Trend für den Einsatz von Ersatzbrennstoffen und sekundären Roh- und Zuschlagstoffen zeigt Tabelle 6-4 (Seite 39). Die Verwendung von Ersatzbrennstoffen (Petrolkoks als konventioneller Energieträger bewertet) die 1988 6,04% des damaligen Gesamteinsatzes an thermischer Energie betrug, hat sich bis 2002 auf 44,94% des thermischen Energiebedarfes erhöht. Eine ebenfalls sehr starke Steigerung des Einsatzes ist bei Sekundärrohstoffen festzustellen. Ihr Einsatz hat sich mehr als vervierfacht und beträgt für 2002 rund 5,8% des Rohmehleinsatzes. Die Sekundärzuschlagstoffe haben in diesen 15 Jahren mengenmäßig mit Schwankungen in der Größenordnung von ca. ± 13% keine signifikante Änderung im Einsatz erfahren; sie stellen jedoch bezogen auf die Zementproduktion in 2002 einen stofflichen Beitrag von 16,63%.

Schließlich ist hervorzuheben, dass die Summe dieser drei Stoffgruppen, die allesamt dem Bereich der Abfallwirtschaft zuzuordnen sind, im Jahre 2002 diese um 1,207 Millionen Tonnen durch thermische und stoffliche Verwertung entlastet hat.

Tabelle 6-1: Emissionsfaktoren (bezogen auf die Tonne Klinker) diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Zeitraum 1988 bis 2002

Jahr	Emissionsfaktor								
	staubförmige Emissionen ⁽¹⁾	Stickstoffoxide (als NO ₂)	Schwefeldioxid	chlorhältige Verbindungen (als HCl)	fluorhältige Verbindungen (als HF)	org. Gesamtkohlenstoff	Kohlenmonoxid	pyrogenes Kohlendioxid	
	[g/tKI]	[g/tKI]	[g/tKI]	[g/tKI]	[g/tKI]	[g/tKI]	[g/tKI]	[g/tKI]	[g/tKI]
1988	59,20	1.762,10	331,10	4,972	0,482	64,797	3.288,1	291.692,8	
1989	43,60	1.763,90	354,00	5,117	0,410	65,976	3.290,5	295.783,0	
1990	41,90	1.785,60	303,10	4,681	0,459	64,977	2.987,2	290.340,1	
1991	41,26	1.736,36	292,45	4,934	0,489	63,197	3.203,5	285.817,2	
1992	43,27	1.794,05	285,36	5,371	0,510	64,872	3.171,4	305.807,8	
1993	37,99	1.712,29	252,03	5,365	0,497	65,252	2.917,9	281.517,9	
1994	43,83	1.646,04	286,44	7,092	0,760	54,166	2.692,5	287.220,9	
1995	48,46	1.680,81	264,09	5,328	0,538	55,695	2.531,4	295.932,5	
1996	50,68	1.616,62	423,74	5,669	0,600	66,958	2.740,9	295.373,6	
1997	51,60	1.431,28	420,20	4,578	0,357	80,673	2.489,1	308.644,4	
1998	45,34	1.359,75	143,36	5,161	0,388	64,072	2.629,5	309.643,2	
1999	38,69	1.368,40	60,81	4,730	0,371	75,365	2.639,4	301.172,4	
2000	37,48	1.319,60	113,26	3,706	0,503	73,448	2.419,0	307.313,2	
2001	24,61	1.261,94	148,98	4,832	0,396	82,871	2.468,0	311.515,9	
2002	22,41	1.364,65	168,72	2,298	0,273	73,297	2.257,5	313.136,3	
Mittelwert		42,02	1.573,56	256,51	4,922	0,469	67,708	2.781,7	298.727,4
davon									
Maximalwert	[%]	40,88	14,01	65,19	44,08	62,20	22,40	18,29	4,82
Minimalwert	[%]	-46,66	-19,80	-76,29	-53,31	-41,84	-20,00	-18,85	-5,76

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

Jahr	Emissionsfaktor															
	Cadmium [g/tKl]	Thallium [g/tKl]	Beryllium [g/tKl]	Arsen [g/tKl]	Cobalt [g/tKl]	Nickel [g/tKl]	Blei [g/tKl]	Quecksilber [g/tKl]	Chrom [g/tKl]	Selen [g/tKl]	Mangan [g/tKl]	Vanadium [g/tKl]	Zink [g/tKl]	Antimon [g/tKl]	Kupfer [g/tKl]	Zinn [g/tKl]
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	0,028865	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
Mittelwert	0,010603	0,015790	0,004315	0,013112	0,024736	0,010411	0,034062	0,024352	0,009402	0,000288	0,057206	0,020441	0,100358	0,013149	0,006211	0,014117
davon																
Maximalwert	109,05	74,33	137,49	74,97	80,24	139,53	65,81	45,75	41,17	101,02	60,61	49,44	70,52	4,15	7,04	5,11
Minimalwert	-77,65	-46,70	-75,39	-76,00	-86,04	-69,47	-40,66	-31,54	-30,13	-14,73	-68,54	-55,03	-75,24	-2,40	-4,14	-4,27

Tabelle 6-2: Emissionsfaktoren (bezogen auf die Tonne Klinker) diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Zeitraum 1988 bis 2002

Jahr	Emissionsfaktor														Zinn [g/tKJ]	
	Cadmium [g/tKJ]	Thallium [g/tKJ]	Beryllium [g/tKJ]	Arsen [g/tKJ]	Cobalt [g/tKJ]	Nickel [g/tKJ]	Blei [g/tKJ]	Quecksilber [g/tKJ]	Chrom [g/tKJ]	Selen [g/tKJ]	Mangan [g/tKJ]	Vanadium [g/tKJ]	Zink [g/tKJ]	Antimon [g/tKJ]		Kupfer [g/tKJ]
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			
Mittelwert 1988-99	0,012143	0,015400	0,004140	0,011959	0,029633	0,009899	0,036210	0,022398	0,009923	0,000257	0,065532	0,023202	0,116061			
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
Mittelwert 2000-02	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

Tabelle 6-3: Emissionsfaktoren (bezogen auf die Tonne Klinker) diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Zeitraum 1988 bis 2002

Tabelle 6-4: Entwicklung des thermischen Energieeinsatzes aus Ersatzbrennstoffen, der Einsatzmengen an Sekundärrohstoffen, der Einsatzmengen an Sekundärzumahlstoffen und der Zementproduktionsmengen in Anlagen der österreichischen Zementindustrie

	1988	bez. auf 1988	1991	bez. auf 1988	1995	bez. auf 1988	1999	bez. auf 1988	2002	bez. auf 1988
		[%]		[%]		[%]		[%]		[%]
therm. Energieeinsatz Ersatzbrennstoffe* [GJ/a]	755.009	100,00	1.665.160	120,55	1.976.013	161,72	2.893.706	283,27	4.964.800	557,58
Einsatzmenge Sekundärrohstoffe [t/a]	71.213	100,00	65.093	-8,59	80.130	12,52	258.960	263,64	293.020	311,47
Einsatzmenge Sekundärzumahlstoffe [t/a]	676.740	100,00	763.367	12,80	606.559	-10,37	637.631	-5,78	675.233	-0,22
Zementproduktionsmenge [t/a]	4.540.112	100,00	4.821.480	6,20	3.839.415	-15,43	3.658.102	-19,43	4.060.949	-10,55

* Petrolkoks als konventioneller Energieträger bewertet

Tabelle 6-5: Emissionskenngrößen für klassische Schadstoffe und für pyrogenes CO₂ für 1988, 1991, 1995, 1999 und 2002 und ihre prozentuellen Änderungen zum Jahr 1988

Schadstoff	1988		1991		1995		1999		2002	
	E-Faktor	bez. auf 1988	E-Faktor	bez. auf 1988	E-Faktor	bez. auf 1988	E-Faktor	bez. auf 1988	E-Faktor	bez. auf 1988
	[g/t _{Kl}]	[%]	[g/t _{Kl}]	[%]	[g/t _{Kl}]	[%]	[g/t _{Kl}]	[%]	[g/t _{Kl}]	[%]
Staubförmige Emissionen	59,20	100,00	41,26	-30,31	48,46	-18,13	38,69	-34,65	22,41	-62,14
Stickstoffoxide (als NO ₂)	1.762,10	100,00	1.736,36	-1,46	1.680,81	-4,61	1.368,40	-22,34	1.364,65	-22,56
Schwefeldioxid (SO ₂)	331,10	100,00	292,45	-11,67	264,09	-20,24	60,81	-81,64	168,72	-49,04
chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	4,972	100,00	4,934	-0,77	5,328	7,16	4,730	-4,86	2,298	-53,77
fluorhaltige Verbindungen (als HF)	0,482	100,00	0,489	1,42	0,538	11,70	0,371	-23,05	0,273	-43,43
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	64,797	100,00	63,197	-2,47	55,695	-14,05	75,365	16,31	73,297	13,12
Kohlenmonoxid (CO)	3.288,1	100,00	3.203,5	-2,57	2.531,4	-23,01	2.639,4	-19,73	2.257,5	-31,34
pyrogenes CO ₂	291.692,8	100,00	285.817,2	-2,01	295.932,5	1,45	301.172,4	3,25	313.136,3	7,35
spez. therm. Energieeinsatz [GJ/t _{Kl}]	3,528	100,00	3,463	-1,86	3,580	1,45	3,492	-1,04	3,543	0,41

Tabelle 6-6: Entwicklung der auf die Tonne Klinker bezogenen Emissionsmassenströme (E-Faktoren) für Quecksilber, Thallium und Cadmium aus österreichischen Zementwerken im Zeitraum 1988 bis 2002

Bilanzjahr	Quecksilber (Hg)		Thallium (Tl)		Cadmium (Cd)	
	[g/t _{Kl}]	[%]	[g/t _{Kl}]	[%]	[g/t _{Kl}]	[%]
1988	0,016671	100,00	0,012563	100,00	0,010850	100,00
1989	0,018474	10,82	0,008416	-33,01	0,009756	-10,08
1990	0,017113	2,65	0,008994	-28,41	0,011786	8,63
1991	0,017892	7,32	0,010777	-14,22	0,010485	-3,36
1992	0,017411	4,44	0,009524	-24,19	0,007565	-30,28
1993	0,017420	4,49	0,011366	-9,53	0,014423	32,93
1994	0,032381	94,24	0,017425	38,70	0,022165	104,28
1995	0,026180	57,04	0,027527	119,11	0,018142	67,21
1996	0,024256	45,50	0,020387	62,28	0,016355	50,74
1997	0,029055	74,28	0,024622	95,99	0,012475	14,98
1998	0,025062	50,34	0,015839	26,08	0,004784	-55,90
1999	0,026865	61,15	0,017355	38,14	0,006933	-36,11
2000	0,026837	60,98	0,014851	18,21	0,006819	-37,15
2001	0,035493	112,90	0,018768	49,39	0,004131	-61,93
2002	0,034171	104,97	0,018436	46,75	0,002370	-78,16

7 Kohlendioxidemissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie

7.1 Einleitung und Aufgabenstellung

Bei der Bilanzierung von Treibhausgasemissionen aus Produktionsprozessen der Zementindustrie ist von den im Kyoto-Protokoll angeführten klimarelevanten Schadgasen (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFCs, PFCs, SF_6) ausschließlich Kohlendioxid (CO_2) zu erfassen. Bei Kohlendioxidemissionen ist zwischen den prozessspezifischen CO_2 -Emissionen, auch geogene CO_2 -Emissionen genannt, und den pyrogenen CO_2 -Emissionen zu unterscheiden. Während sich geogene CO_2 -Emissionen auf die thermische Decarbonatisierung der in den Einsatzstoffen enthaltenen carbonatischen Bestandteile während des Zementklinkerbrandes zurückführen lassen, resultieren die pyrogenen CO_2 -Freisetzungen aus der Verfeuerung kohlenstoffhaltiger Brennstoffe. Bei den pyrogenen Emissionen ist zwischen pyrogenen CO_2 -Emissionen aus der Verfeuerung fossiler Kohlenstoffanteile des Brennstoffes und jenen CO_2 -Emissionen, die aus der Verfeuerung biogener Kohlenstoffanteile entstehen, zu unterscheiden. Letztere gelten als klimaneutral. Als klimaneutral werden einer Regel der internationalen Scientific Community und den Richtlinien der IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) der UN folgend, alle jene CO_2 -Emissionen gewertet, die aus dem biologischen Abbau von organischer Masse entstehen, sowie die aus der Verbrennung von Energieträgern oder Rohstoffen mit biogenen Kohlenstoffanteilen gebildet werden - dies auf Basis des natürlichen Kohlenstoffkreislaufes in welchem die Menge des aus biogenem Kohlenstoff gebildeten CO_2 von assimilierenden Organismen wieder inventarisiert wird. Somit werden in der vorliegenden Emissionsinventur CO_2 -Emissionen aus der Verfeuerung biogener Kohlenstoffanteile als nicht bilanzwirksam eingestuft.

In Zementklinkerherzeugungsanlagen finden sich unterschiedliche CO_2 -Quellen. In der nachfolgenden Tabelle 7-1 werden diese Quellen genannt und nebenstehend ihre Klimarelevanz angegeben.

Tabelle 7-1: Klimarelevanz von CO_2 -Emissionen der Zementindustrie

CO_2-Quelle	klimawirksam	klimaneutral
Rohmehl	✓	–
fossile Brennstoffe	✓	–
Ersatzbrennstoffe		
fossile Kohlenstoffkomponenten	✓	–
biogene Kohlenstoffkomponenten	–	✓

Mit dem erstmaligen Einsatz von Altreifen in den Achtzigerjahren hat die österreichische Zementindustrie damit begonnen Ersatzbrennstoffe aus dem Bereich der Abfallwirtschaft mitzuverfeuern. Für den Hochtemperaturprozess im Drehrohrofen sind hierfür heizwertreichere Abfälle besonders geeignet, aber auch der Einsatz jener heizwertärmeren Abfälle die Komponenten enthalten, die als sekundäre Rohstoffe für die Klinkerproduktion von Bedeutung sind, ist sinnvoll. Die Verwendung von Ersatzbrennstoffen, von sekundären Rohstoffen und sekundären Zuschlagstoffen bringt eine Entlastung für die Abfallwirtschaft und entspricht den Vorgaben des Abfallwirtschaftsgesetzes für thermische und stoffliche Verwertung. Durch den zunehmenden Einsatz von Ersatzbrennstoffen mit biogenen Kohlenstoffanteilen ist aus Sicht der Klimaproblematik der Quantifizierung der biogenen klimaneutralen CO_2 -Emissionen besonderes Augenmerk zu schenken. Somit ergibt sich für diese Studie folgende zusätzliche Aufgabenstellung.

Für die neun österreichischen Zementwerke mit Ofenbetrieb sind die werkspezifischen geogenen und werkspezifischen pyrogenen Kohlendioxidemissionen für die Bilanzjahre 2000, 2001 und 2002 zu ermitteln. Die Werksbilanzen sind zu einer CO_2 -Gesamtemissionsinventur für den österreichischen Zementsektor unter Wahrung der Vertraulichkeit werkspezifischer Einzelergebnisse zusammenzufassen. Bei den Kohlendioxidemissionen ist zwischen den prozessspezifischen CO_2 -Emissionen und den pyrogenen CO_2 -Emissionen zu unterscheiden. Bei den pyrogenen Emissionen soll zwischen pyrogenen CO_2 -Emissionen aus der Verfeuerung fossiler Kohlenstoffanteile des Brennstoffes und jenen CO_2 -Emissionen, die aus der Verfeuerung biogener Kohlenstoffanteile entstehen, differenziert werden. Letztere gelten konventionsgemäß als nicht bilanzwirksam.

7.2 Für die CO_2 -Emissionsinventur eingesetzte Bilanzierungsmethodik

Die für die CO_2 -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]. Im Unterschied zu den genannten Richtlinien werden in der vorliegenden Studie die geogenen CO_2 -Emissionen aus der Zusammensetzung des Rohmehls bzw. der Einsatzstoffe und nicht aus der des Klinkers errechnet. Diese Vorgehensweise erlaubt aufgrund geringerer methodischer Unschärfen (Kapitel 7.5, Seite 46) in Form eines worst

case - Ansatzes eine vollständigere und sicherere Erfassung der geogenen CO₂- Emissionen. Zur Berechnung der biogenen, klimaneutralen CO₂-Emissionen wurden für die verwendeten Ersatzbrennstoffe, die in Tabelle 7-2 angegebenen, auf Gesamtkohlenstoff bezogenen, biogenen Kohlenstoffanteile herangezogen.

Tabelle 7-2: auf Gesamtkohlenstoff bezogene, biogene C-Anteile von Ersatzbrennstoffen (Jahresmittelwerte 2000, 2001, 2002)

Energieträger	2000	2001	2002	Bemerkungen zum biogenen Anteil
	[%]	[%]	[%]	
I) Altreifen	27,14	27,12	27,16	Naturkautschuk
J) Kunststoffabfälle	3,00	3,00	3,00	Etiketten-, Verpackungsreste
K) Altöl	0,00	0,00	0,00	
L) Lösungsmittel	0,00	0,00	0,00	
N) Sägemehl (kontaminiert)	60,00	60,00		Holzanteil
O) sonstige fossile EBS	0,00	0,00	0,00	
P) Papierfaserreststoff	100,00	100,00	100,00	
Q) Heizwertreiche Fraktion	44,00	43,93	43,94	Mischung mechanisch aufbereiteter Fraktionen
S) Sägemehl (nicht kontaminiert)		100,00	100,00	
T) Klärschlamm			100,00	ausschließlich Papierindustrie
U) Tiermehl	100,00	100,00	100,00	
V) Sonnenblumenschalen	100,00	100,00	100,00	
W) Pilzmyzel	100,00	100,00	100,00	
X) Tierfett		100,00	100,00	

7.3 Bilanzgrenzen

Die Bilanzgrenzen wurden so umfassend gewählt, dass alle für die Zementerzeugung relevanten Anlagen, die an der CO₂-Freisetzung beteiligt sind, von der Bilanzierung erfasst wurden (Tabelle 7-3).

Tabelle 7-3: in der CO₂-Emissionsinventur erfasste Anlagenbereiche

Anlagenbereiche	verfahrenstechnische Grundoperationen
Rohmaterialgewinnung	Bergbau, Grobzerkleinerung, Lagern,...
Aufbereitung der Einsatzstoffe	Trocknen, Vermahlen, Mischen, Lagern,...
Drehofenprozess	Brennstoff/Rohmaterialaufgabe, Drehrohr,
Zyklonwärmetauscher bzw. Rostvorwärmer,	
Abgasnachbehandlung,	
Klinkerkühler,...	
Klinkervermahlung	Vermahlen, Lagern, Verpacken,...
innerbetriebliche Transporteinrichtungen	Förderer, Materialeilbahnen
sonstige betriebsinterne Strom- und/oder Wärmeproduktionseinrichtungen	

Von der Bilanzierung ausgeschlossen sind Bereitstellungsemissionen für Brennstoffe, Zumahlstoffe, Korrekturstoffe, für elektrische Energie sowie CO₂-Emissionen aus dem Einsatz mobiler Verbrennungskraftmaschinen (SLKW, Silofahrzeuge, Kehrmaschinen,...).

7.4 CO₂-Statistik

Im Jahresvergleich 2000 zu 2002 erhöhten sich die CO₂-Gesamtemissionen inklusive CO₂-Emissionen aus biogenen C-Anteilen um ca. 62.300 t oder 2,4% (Abbildung 7-1). Die geogenen Emissionen erhöhten sich um ca. 24.100 t oder 1,4%. Hingegen nahmen die pyrogenen CO₂-Emissionen aus der Verfeuerung konventioneller fossiler Energieträger um ca. 78.300 t oder 12,2% ab.

Die CO₂-Emissionen aus der Verfeuerung der fossilen C-Anteile der Ersatzbrennstoffe erhöhten sich um ca. 41.900 t oder 18,6%. Die CO₂-Emissionen aus der Verfeuerung der biogenen C-Anteile der Ersatzbrennstoffe (biogene CO₂-Emissionen) erhöhten sich von ca. 72.050 t im Jahr 2000, um ca. 74.600 t (+103,6%) auf ca. 146.700 t im Jahr 2002. Biogene CO₂-Emissionen werden konventionsgemäß als nicht bilanzwirksam eingestuft.

Die auf die Tonne Klinker bezogenen, spezifischen Kohlendioxidgesamtemissionen – ohne biogenem CO₂-Anteil – verringerte sich von 844 kg CO₂ je Tonne Klinker im Jahr 2000 um 21 kg CO₂ je Tonne Klinker auf 823 kg CO₂ je Tonne Klinker im Jahr 2002 (Abbildung 7-2). Dies entspricht einem unsystematischen Rückgang um 2,5%.

Die spezifischen, geogenen CO₂-Emissionen (bezogen auf die Tonne Klinker) verringerten sich um 0,7%. Wie ausgeführt, resultieren geogene Emissionen aus dem Carbonatgehalt der Rohmaterialien, deren Zusammensetzung geologisch vorgegeben ist. Durch die fehlende Möglichkeit effizienter, primärer Reduktionsmaßnahmen

ist eine deutliche Verminderung der geogenen CO₂-Emissionen nur bei einem Rückgang der Klinker- bzw. der Zementproduktion zu erwarten.

Die spezifischen, pyrogenen CO₂-Emissionen aus der Verfeuerung fossiler C-Anteile in den Brennstoffen reduzierten sich um 6,3% (Abbildung 7-2).

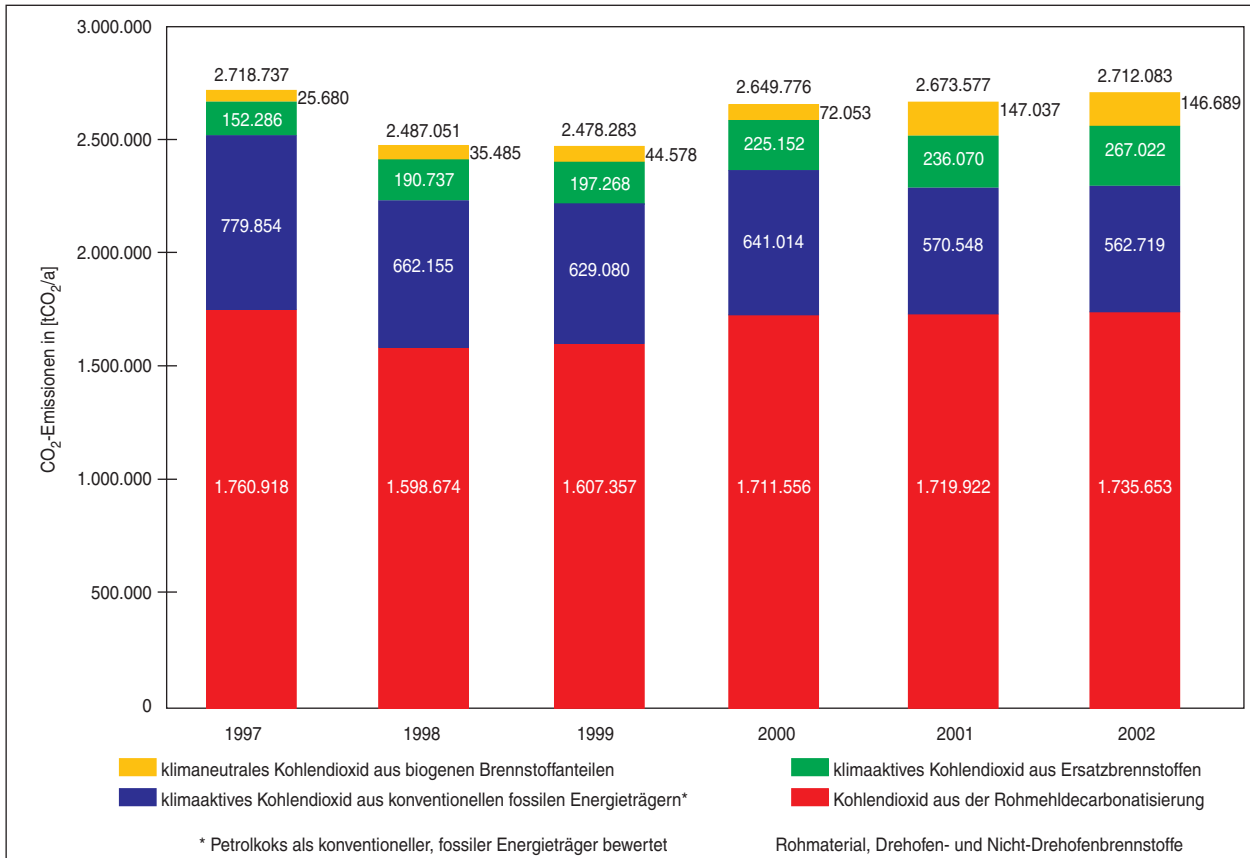


Abbildung 7-1: CO₂-Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002

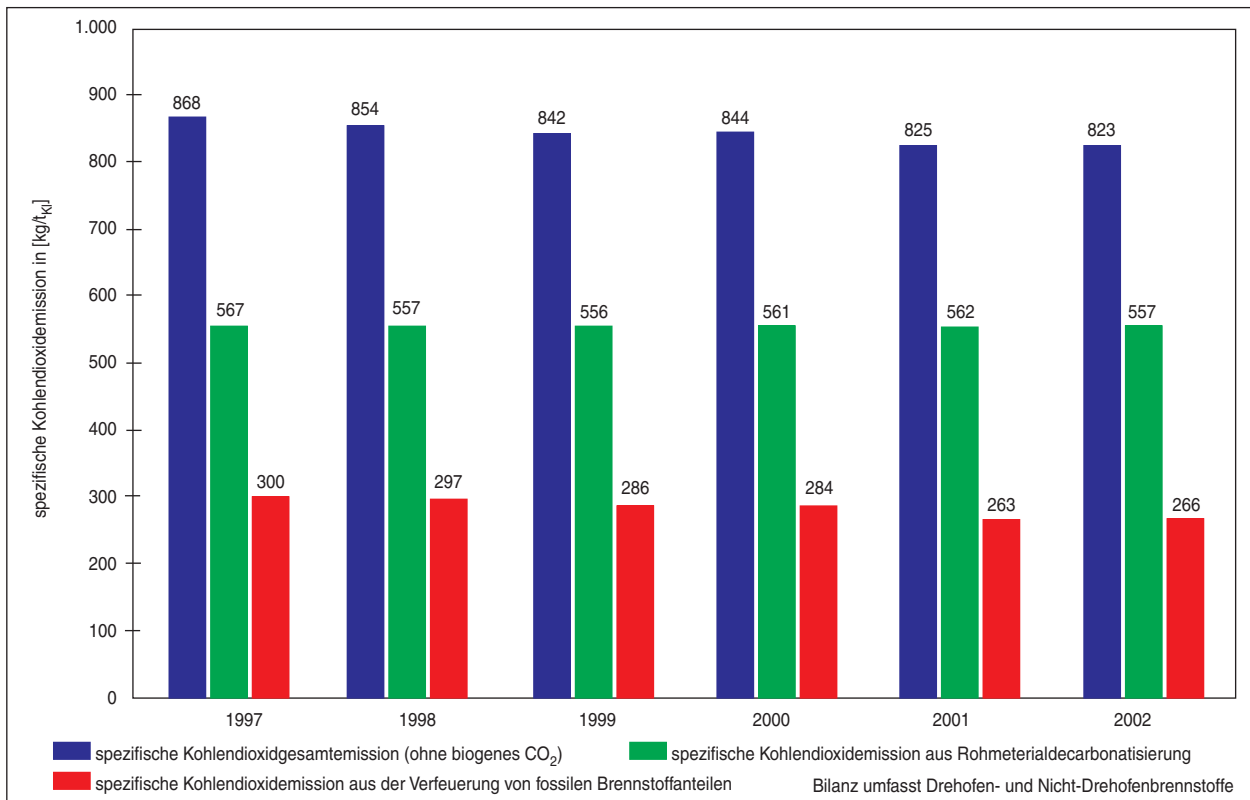


Abbildung 7-2: auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische CO₂-Emissionen (ohne biogene CO₂-Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002

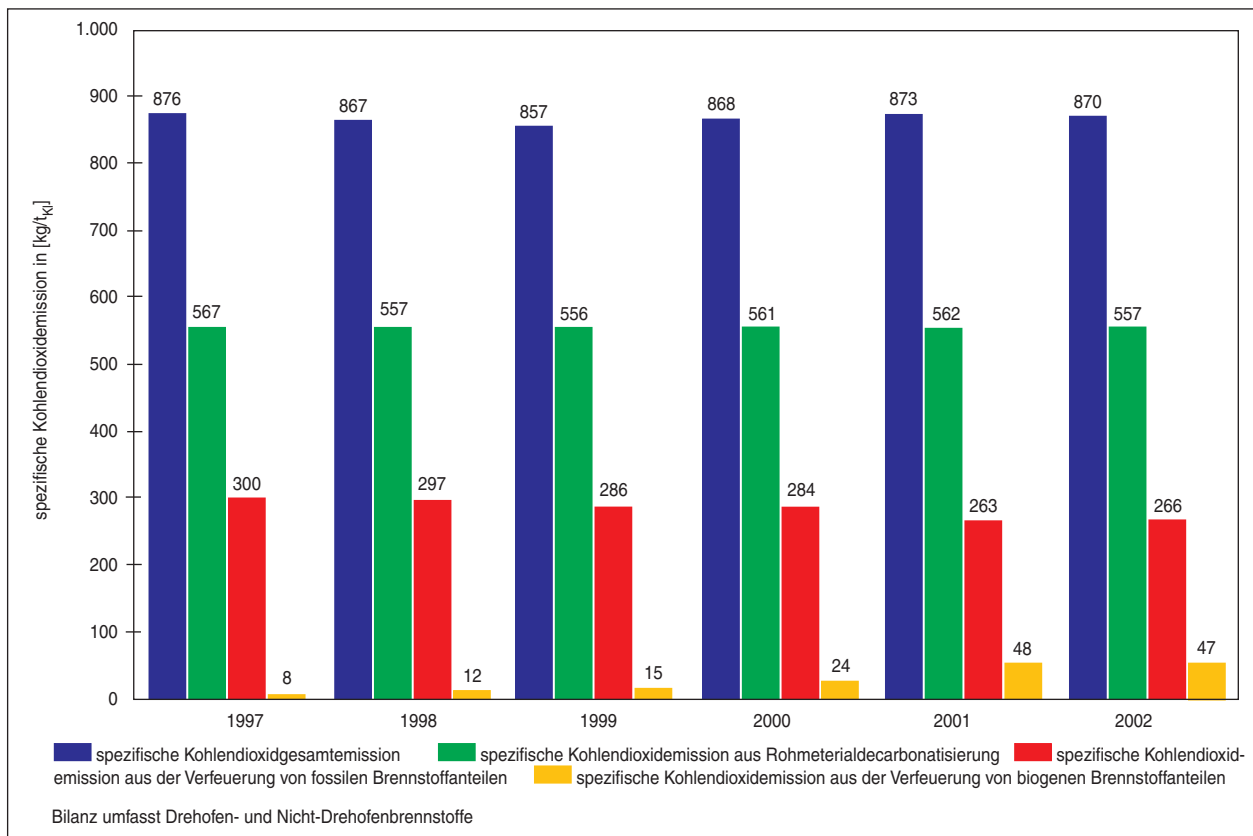


Abbildung 7-3: auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische CO₂-Emissionen (mit biogenen CO₂-Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002

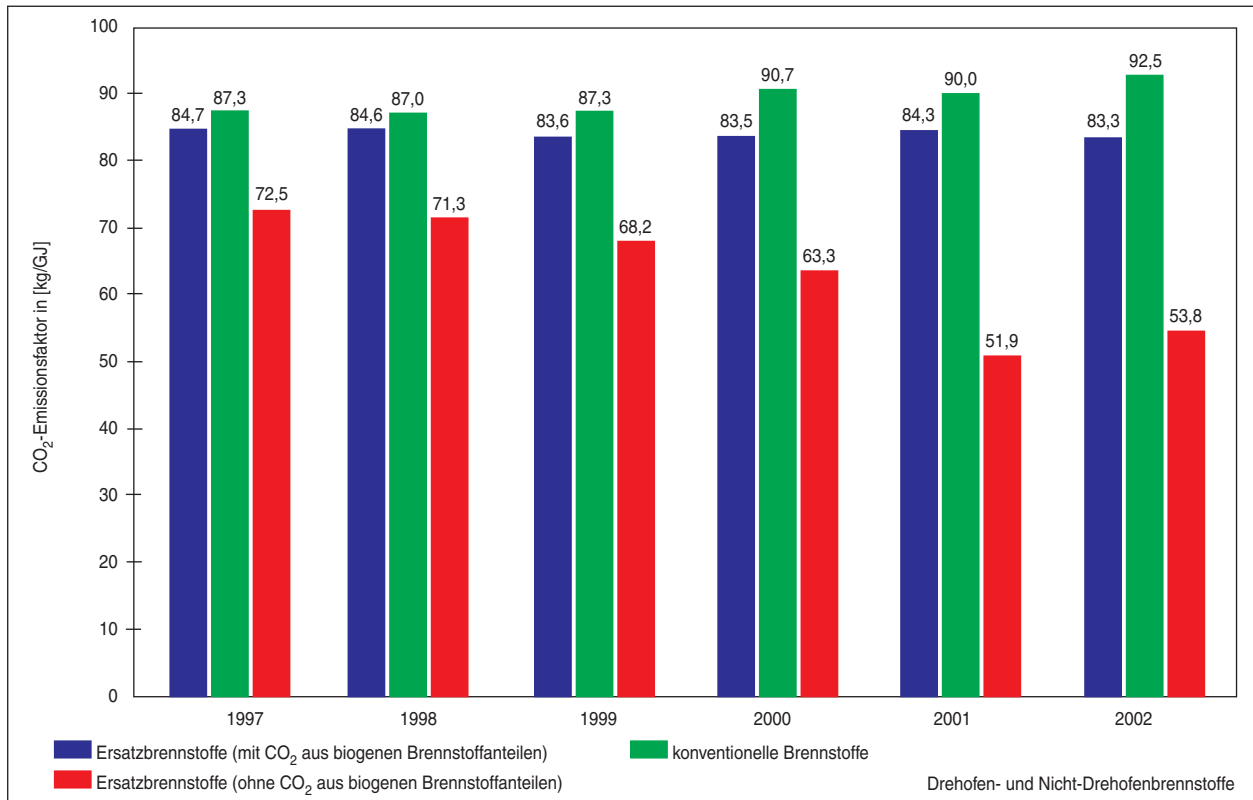


Abbildung 7-4: auf die Brennstoffwärmemenge bezogene, spezifische CO₂-Emissionen (CO₂-Emissionsfaktor) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002

Unter Miteinbeziehung der biogenen CO₂-Emissionen erhöhten sich die auf die Tonne Klinker bezogenen, spezifischen CO₂-Gesamtemissionen im Jahresvergleich 2000 zu 2002 um 0,2% oder ca. 2 kg CO₂ je Tonne Klinker, während sowohl die spezifischen, geogenen, als auch die spezifischen, pyrogenen CO₂-Emissionen aus der Verfeuerung fossiler Brennstoffanteile rückläufig waren. Die spezifischen, biogenen CO₂-Emissionen erhöhte sich im Bilanzzeitraum 2000/2002 von ca. 24 auf ca. 47 kg CO₂ je Tonne Klinker (Abbildung 7-3, Seite 43).

Der CO₂-Emissionsfaktor für den sektorspezifischen Brennstoffmix, errechnet aus den werkspezifischen, konventionellen Energieträgern, erhöhte sich im Bilanzzeitraum 2000/2002 von ca. 90,7 kgCO₂/GJ um ca. 1,8 kgCO₂/GJ auf 92,5 kgCO₂/GJ oder ca. 2,0% (Abbildung 7-4). Damit verschlechterte sich aus der Sicht der CO₂-Emissionsinventur die Qualität der verfeuerten konventionellen Brennstoffe. Unter Miteinbeziehungen der biogenen CO₂-Emissionen ging im Bilanzzeitraum 2000/2002 der CO₂-Emissionsfaktor für die in den Anlagen der österreichischen Zementindustrie verfeuerten Ersatzbrennstoffe von ca. 83,5 kgCO₂/GJ um 0,2% auf 83,3 kgCO₂/GJ zurück. Damit verbesserte sich die Qualität der Ersatzbrennstoffe im Hinblick auf die energiebezogene CO₂-Emissionsfreisetzung geringfügig. Der Ausschluss der biogenen CO₂-Emissionen macht sich in einem Rückgang des CO₂-Emissionsfaktors für Ersatzbrennstoffe von 63,3 kgCO₂/GJ im Jahr 2000 auf 53,8 kgCO₂/GJ im Jahr 2002, mit -15,0% deutlich bemerkbar.

Der CO₂-Emissionsfaktor für den sektorenspezifischen Brennstoffmix unter Mitberücksichtigung biogener CO₂-Emissionen blieb im Bilanzzeitraum 2000 bis 2002 mit ca. 88,3 bzw. 88,4 kg CO₂ je GJ Brennstoffwärmemenge nahezu unverändert (Abbildung 7-5). Der Kennwert sank jedoch ohne Berücksichtigung biogener CO₂-Emissionen um 6,4 kg CO₂ je GJ Brennstoffwärmemenge oder 7,9%. Aus Sicht der CO₂-Freisetzung ist ein Rückgang des CO₂-Emissionsfaktors gleichbedeutend mit einer Erhöhung der Brennstoffqualität und/oder des Ofenwirkungsgrades.

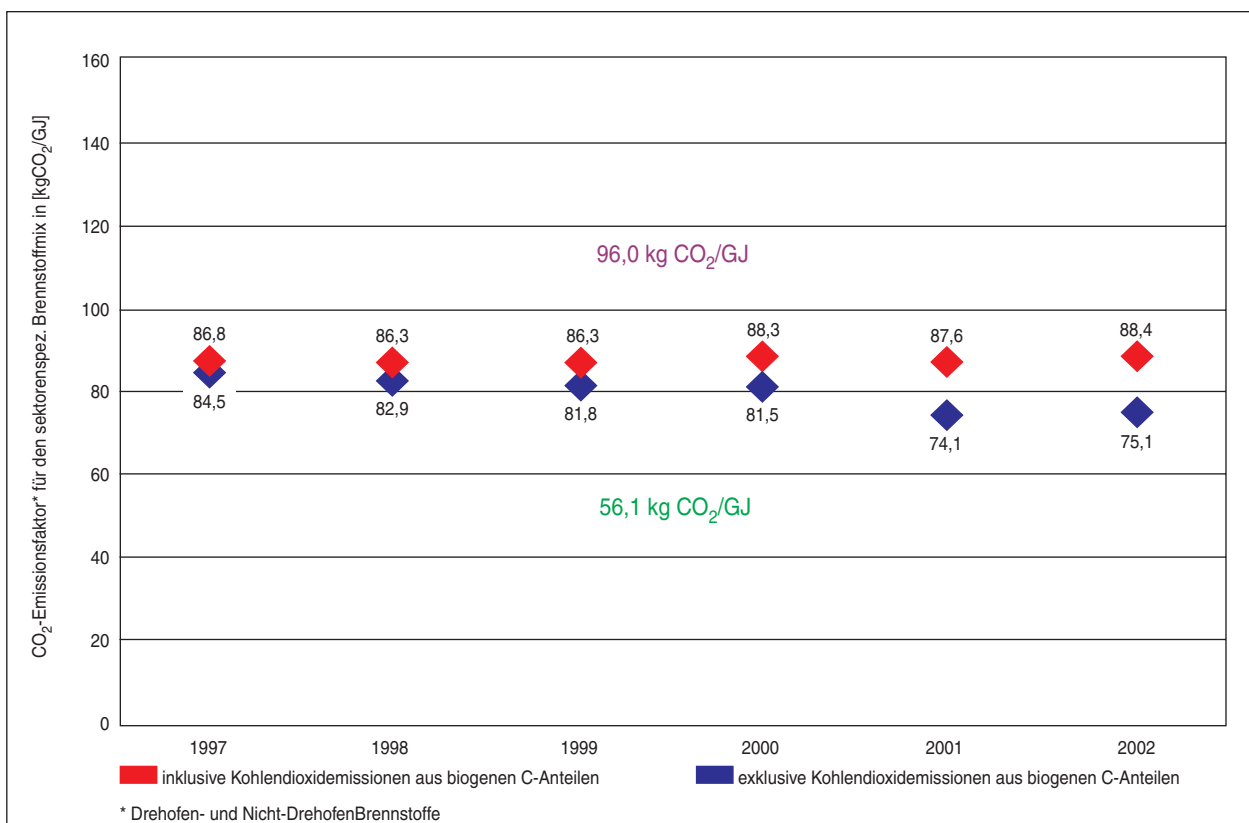


Abbildung 7-5: CO₂-Emissionsfaktor für den sektorspezifischen Brennstoffmix für die Beobachtungsjahre 1997 bis 2002 (zu Vergleichszwecken ist der IPCC Default -Wert für den CO₂-Emissionsfaktor für Erdgas mit 56,1 kg CO₂/GJ und der für Steinkohle mit 96,0 kgCO₂/GJ eingezeichnet)

Aus Vollständigkeitsgründen wird die Entwicklung der spezifischen Kohlendioxidemission bezogen auf die Tonne Zement für den Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002 in Abbildung 7-6 dargestellt. Aufgrund der gewählten Bezugsgröße „Tonne Zement“ ist der Kennwert „spezifische CO₂-Emission je Tonne Zement“ von geringer Aussagekraft, da mitunter nicht der gesamte erzeugte Klinker zur werkseigenen Zementproduktion herangezogen wird. Unter Miteinbeziehung biogener CO₂-Emissionen und CO₂-Emissionen aus der Rohmehldecarbonatisierung erhöhten sich die spezifischen CO₂-Emissionen von ca. 655 kgCO₂ je Tonne Zement im Jahr 2000 auf ca. 668

kgCO₂ je Tonne Zement im Jahr 2002, also um ca. 13 kgCO₂ je Tonne Zement oder um ca. 2%. Bleiben hingegen die CO₂-Emissionen aus biogenen Brennstoffanteilen unberücksichtigt, so reduzierten sich im Bilanzzeitraum 2000/2002 die spezifischen CO₂-Emissionen bezogen auf die Tonne Zement unsystematisch um ca. 5 kgCO₂ je Tonne Zement oder um 0,8%.

Geogene CO₂-Emissionen lassen sich entweder aus der Zusammensetzung der Einsatzstoffe oder aus der Zusammensetzung des Klinkers errechnen. Ein Vergleich der beiden Bilanzierungsmethoden ergibt im Bilanz-

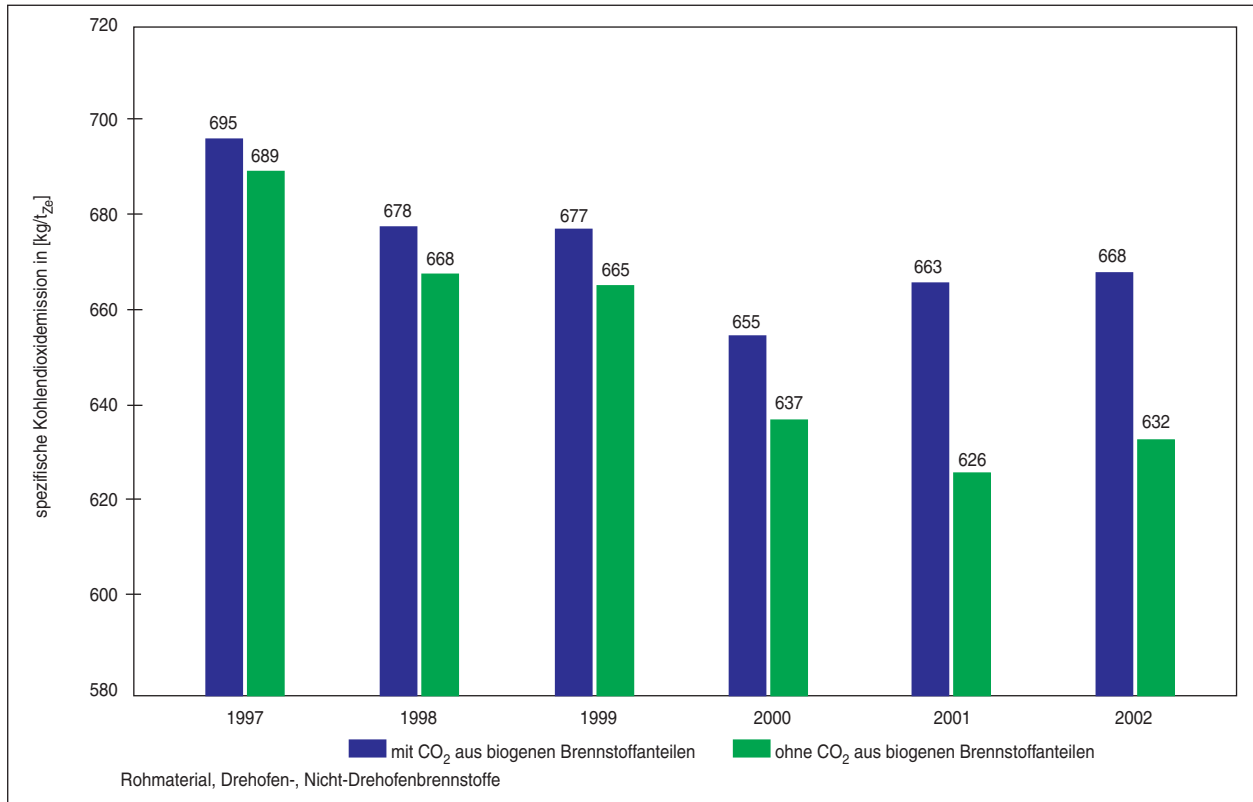


Abbildung 7-6: auf die Tonne Zement bezogene, spezifische CO₂-Emissionen (mit und ohne biogene CO₂-Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002

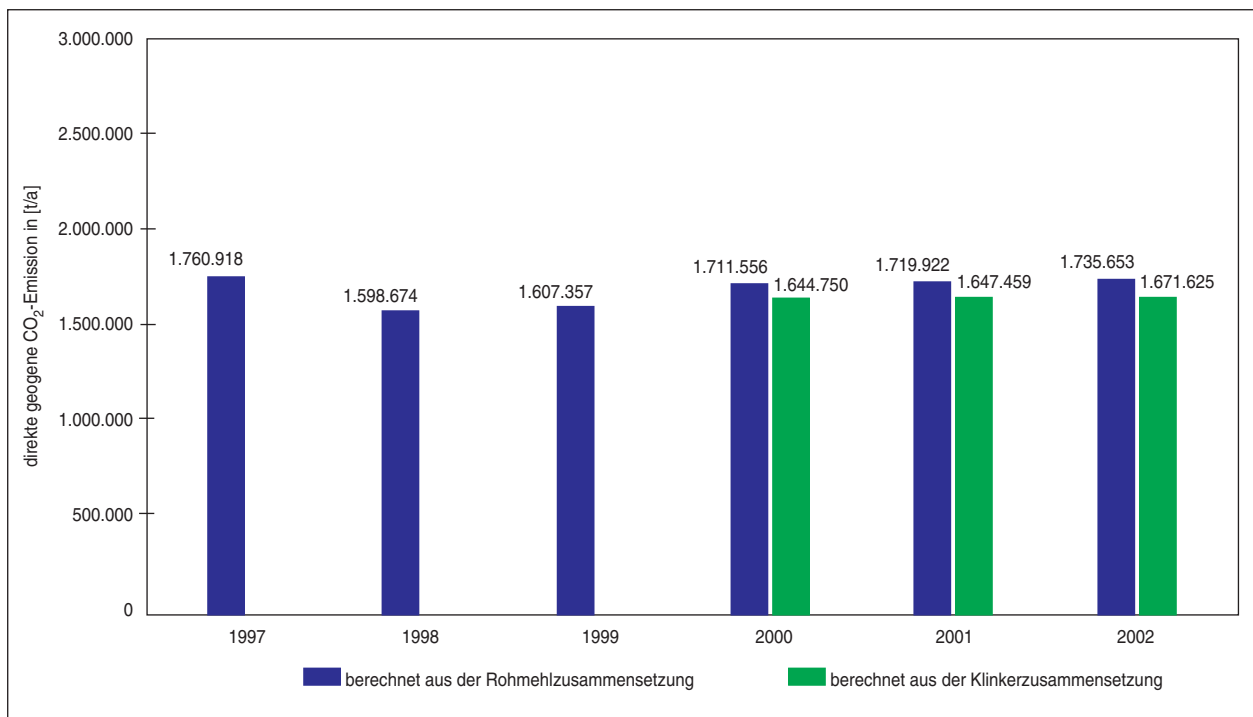


Abbildung 7-7: Vergleich der Berechnungsmethoden für geogene CO₂-Emissionen (Bilanzzeitraum 2000 bis 2002)

zeitraum 2000 bis 2002 um ca. 3,7% - 4,2% niedrigere geogene CO₂-Emissionen, wenn diese aus der Klinkerzusammensetzung errechnet werden (Abbildung 7-7).

Ausschlaggebend für die Ergebnisdifferenz der beiden CO₂-Berechnungsmethoden ist u.a. eine größere Unsicherheit bei der Abschätzung der Jahresmittelwerte für „CaO- und MgO-Gehalt im Zementklinker“. Somit wurden in der vorliegenden Studie im Sinne eines worst case - Bilanzansatzes die geogenen CO₂-Emissionen aus der Rohmehlzusammensetzung und in Kenntnis der Rohmehlmassenströme berechnet. Damit ist auch die Vergleichbarkeit mit den in den Vorgängerstudien [11, 12, 13] veröffentlichten geogenen CO₂-Emissionen („CO₂ aus der Rohmehldcarbonatisierung“ in Tabelle 4-1) gewährleistet.

Abbildung 7-8 zeigt die über den Bilanzzeitraum gewichteten Mittelwerte der CO₂-Emissionsfaktoren von Drehofenbrennstoffen im Einsatzzustand. Als Spreizung sind werkspezifische Minimal- und Maximalwerte aus den Bilanzjahren 2000, 2001 bzw. 2002 angegeben. Die angeführten Mittelwerte beinhalten CO₂-Emissionen aus der Verfeuerung biogener C-Anteile in den Brennstoffen.

Größere Schwankungen des Emissionskennwertes waren in den Brennstoffkategorien „Heizwertreiche Fraktion“, „Kunststoffabfälle“, „Altöl“ und „Lösungsmittel“ feststellbar - Schwankungen, die sich aus der variablen Zusammensetzung i.g. Brennstoffe ergeben.

7.5 Unschärfen bei der CO₂-Emissionsinventur

Die Gesamtunschärfe der vorliegenden CO₂-Bilanz setzt sich additiv aus folgenden Teilbeiträgen zusammen:

- ± 2% Bilanzunschärfe bei der Berechnung von geogenen CO₂-Emissionen, ermittelt aus der Rohmehlzusammensetzung, bedingt durch Messfehler, Fehlbeträge in der Lagerhaltung, Methodikfehler,...

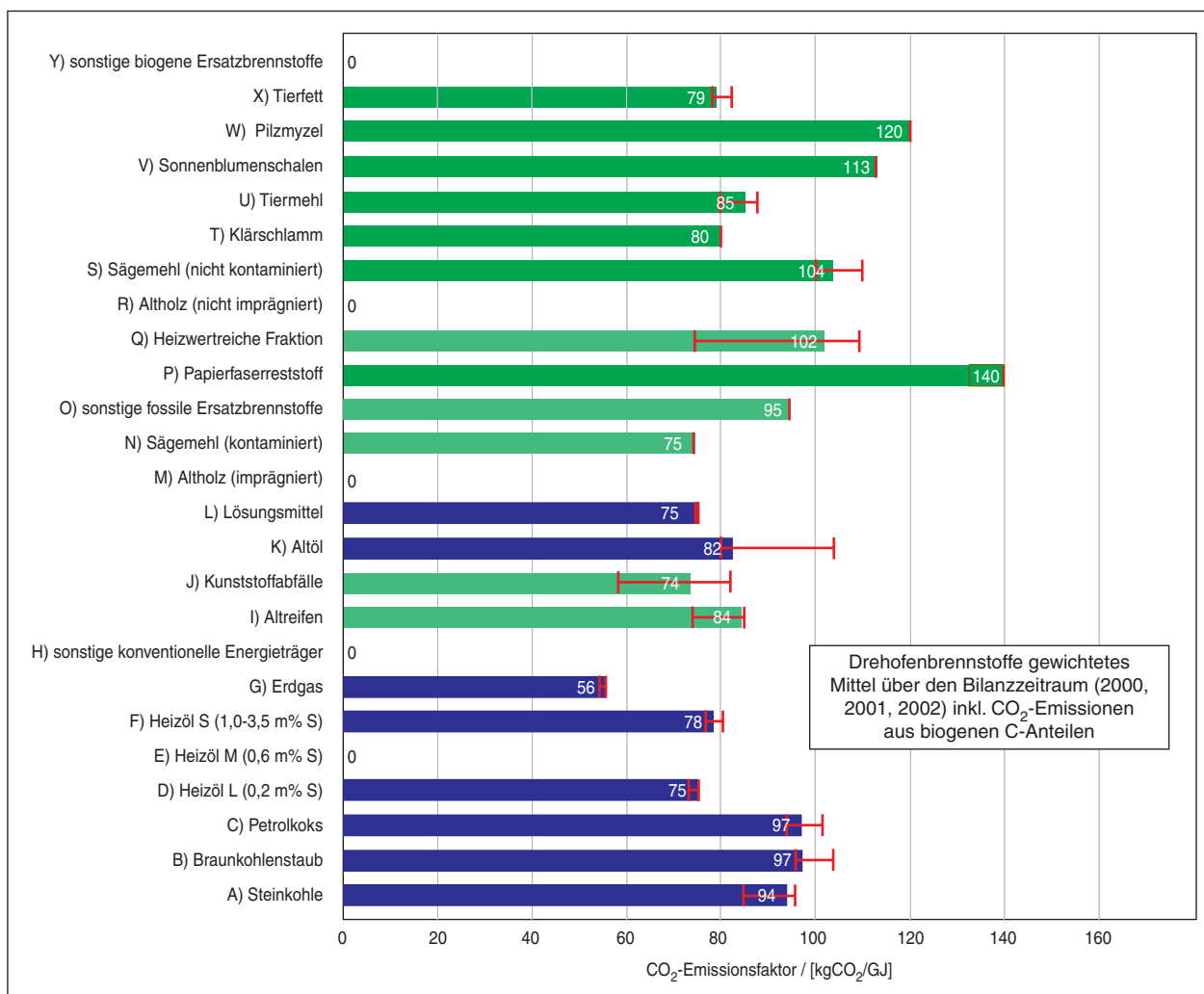


Abbildung 7-8: über den Bilanzzeitraum 2000, 2001 und 2002 mengengewichtete Mittelwerte von CO₂-Emissionsfaktoren unterschiedlicher Drehofenbrennstoffe (im Einsatzzustand, inklusive biogene CO₂-Emissionen) mit werkspezifischen Minimal- und Maximalwerten

bzw. $\pm 3,5\%$ Bilanzunschärfe bei der Berechnung von geogenen CO_2 -Emissionen, ermittelt aus der Klinkerzusammensetzung, bedingt durch Messfehler, Fehlbeträge in der Lagerhaltung, Methodikfehler,...

- In die Gesamtunschärfe geht ferner der Fehler aufgrund der Durchschnittsbildung (bspw. von Jahresmittelwerten) mit $\pm 4\%$ ein, sowie Bilanzunschärfen die sich bei der Ermittlung der pyrogenen CO_2 -Emissionen aus der Verfeuerung der Brennstoffe mit $\pm 2\%$ ergeben.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die maximale Gesamtunschärfe des Inventurergebnisses sich auf $\pm 8\%$ beläuft, vorausgesetzt die geogene CO_2 -Emissionen werden aus der Rohmehlzusammensetzung errechnet. Wenn die geogenen CO_2 -Emissionen aus der Klinkerzusammensetzung errechnet werden, erhöht sich aufgrund des höheren Methodikfehlers die maximale Gesamtunschärfe des Ergebnisses auf $\pm 9,5\%$.

7.6 Resümee der CO_2 -Emissionsinventur

Obwohl im Jahresvergleich 2000 zu 2002

- die Zementproduktionsmenge um $+0,4\%$ auf ca. 4,061 Millionen Jahrestonnen zunahm,
- die spezifische Brennstoffenergieeinsatzmenge sich um $+1,8\%$ auf 3.543 MJ je Tonne Klinker erhöhte,
- die spezifische geogene CO_2 -Emission aus dem Rohmaterial mit 557 - 562 kg CO_2 je Tonne Klinker auch im internationalen Vergleich hoch lag und
- die Ofenleistung um $-2,9\%$ auf ca. 48,8 t Klinker je Ofenbetriebsstunde zurückging,

reduzierte sich dennoch die spezifische CO_2 -Gesamtemission ohne Berücksichtigung biogener CO_2 -Emissionen um $-2,5\%$ auf ca. 823 kg CO_2 je Tonne Klinker bzw. um $-0,8\%$ auf ca. 632 kg CO_2 je Tonne Zement, somit betrug 2002 die absolute CO_2 -Gesamtemission ca. 2,565 Millionen Tonnen.

Dafür waren ausschlaggebend:

- die Reduktion des Klinkerfaktors um $-0,5\%$ auf ca. 750 kg Klinker je Tonne Zement,
- eine Erhöhung des Substitutionsgrades für fossile Energieträger durch Ersatzbrennstoffe um $+11,5$ Prozentpunkte auf 44,9% und infolge vor allem
- der Wechsel von konventionellen, fossilen Energieträgern zu Brennstoffen mit biogenen Kohlenstoffanteilen, die konventionsgemäß beim Verfeuern keine bilanzwirksamen CO_2 -Emissionen freisetzen. Dies manifestiert sich u.a. im Rückgang des CO_2 -Emissionsfaktors für den sektorspezifischen Brennstoffmix um $-7,9\%$ auf ca. 75,1 kg CO_2 je GJ Brennstoffwärmemenge.

8 Zusammenfassung

Im Berichtszeitraum 2000 bis einschließlich 2002 hat die österreichische Zementindustrie nach Jahren des Produktionsrückganges und der Stagnation wieder eine systematische Zunahme der installierten Klinkerkapazität und der Produktion aufzuweisen. In diesen drei Jahren wurde auch der Einsatz von Ersatzbrennstoffen von 33,47% auf 44,94% des thermischen Energiebedarfes gesteigert. Der Verbrauch an fossilen konventionellen Energieträgern bezüglich [GJ/a] hat systematisch abgenommen und bildet 2002 55,06% des thermischen Energieeinsatzes.

Der Energieeinsatz für alle thermischen Anlagen zeigt eine systematische Steigerung. Der spezifische Energiegehalt aus der Summe der eingesetzten Brennstoffe hat abgenommen. Bei gleichem Temperaturfeld im Ofen bedeutet das einen erhöhten Massenstrom für die Brennstoffzufuhr oder verlängerte Verweilzeit im Ofen, d.h. mehr Ofenbetriebsstunden.

Der Einsatz von Sekundärrohstoffen hat um 14,60% zugenommen, die Sekundärzumahlstoffe jedoch um 6,08% abgenommen.

Für die Produktion einer Tonne Klinker wurden 2002, bezogen auf 2000, um 0,39% mehr Rohmehl verbraucht, um 1,78% mehr thermische Energie eingesetzt und um 2,92% mehr Ofenbetriebsstunden benötigt. Diese und andere Daten belegen, dass im Berichtszeitraum die Produktion von Klinker unter ungünstigeren Bedingungen erfolgen musste.

Im Bereich der klassischen Schadstoffe zeigen sich für den jährlichen Massenstrom [t/a] und die beiden spezifischen Emissionsfaktoren [g/t_{Ze}] bzw. [g/t_{Kl}] starke Emissionsminderungen bei Staub, den chlor- und fluorhaltigen Verbindungen sowie bei Kohlenmonoxid. Für Stickstoffoxide liegt eine unsystematische Steigerung bei den drei Kennwerten vor.

Da die jeweils notwendige Ofentemperatur auch von der chemischen Zusammensetzung des Rohmehls abhängt, kann auch durch eine höhere Ofentemperatur in einzelnen Werken eine verstärkte Bildung von thermischen NO_x erfolgt sein, die zusammen mit dem gesteigerten Brennstoff NO_x aus dem Petrolkokeinsatz und von Tiermehl die NO_x -Gesamtemission erhöht hat.

Für die Zunahme der SO_2 -Emissionswerte sind Betriebsprobleme in sekundärer SO_2 - Minderung sowie der gestiegene Einsatz von Petrolkoks anzuführen.

Im Berichtszeitraum zeigen die meisten metallischen Spurenelemente für die spezifischen Emissionsfaktoren für Klinker und Zement einen rückläufigen Verlauf. Eine Zunahme (über 20%) zeigen Quecksilber und Thallium. Neu aufgenommen in die Inventur wurden die metallischen Spurenelemente Antimon, Kupfer und Zinn. Unter Einschluss dieser drei metallischen Spurenelemente ergibt die Summe aller 16 erfassten Spurenelemente innerhalb des Berichtszeitraumes eine signifikante Reduzierung um mehr als 17% beim Massenstrom und beim zementbezogenen Emissionsfaktor, um annähernd 19% beim klinkerbezogenen Emissionsfaktor.

Die zunehmende umwelt- und wirtschaftspolitische Bedeutung die die Klimaproblematik im Rahmen der UNO, der EU und damit auch auf nationaler Ebene erfahren hat, hat Anlass dazu gegeben den CO_2 -Emissionen im vorliegenden Bericht ein eigenes Kapitel zu widmen und über das Ausmaß der bisherigen Darstellung der nunmehrigen Bedeutung entsprechend hinauszugehen. Sollte das Kyoto-Protokoll nicht Rechtskraft erlangen, werden EU-interne Vereinbarungen aller Voraussicht nach bestehen bleiben.

Mit dem nunmehr vorliegenden Bericht verfügt die österreichische Zementindustrie über eine weitgehend geschlossene jährliche Datenreihe von 15 Jahren von 1988 bis einschließlich 2002 für

Emissionen von

- > konventionellen Luftschadstoffen,
- > metallischen Spurenelementen ,
- > geogenen und pyrogenen CO_2 ,

Verbrauch von

- > konventionellen Energieträgern,
- > Ersatzbrennstoffen,
- > Sekundärrohstoffen,
- > Sekundärzumahlstoffen,

sowie wesentliche produktions- und betriebsbezogene Gesamtdaten.

Bei den konventionellen Schadstoffen zeigt der klinkerbezogene Emissionsfaktor, bezogen auf 1988 für Staub, SO₂, chlorhaltige Verbindungen und fluorhaltige Verbindungen eine sehr starke Reduktion, eine starke Verminderung bei NO_x und CO, eine Erhöhung bei CO₂ und TOC.

Für die NO_x-Gesamtemission zeigt der längerfristige Trend des klinkerbezogenen Emissionsfaktors, dass seit Beginn der Emissionsdatenerfassung im Jahr 1988 die Emissionswerte weitgehend systematisch um rund 28% bis 2001 reduziert werden konnten. Ein Erfolg, der vor allem durch primäre technische Maßnahmen, die die Bildungsrate der Emissionen verkleinerte, erreicht werden konnte.

Langfristig gesehen ist der Einsatz thermischer Energie pro Tonne Klinker innerhalb einer geringen Schwankungsbreite gleichgeblieben.

Ersatzbrennstoffe und sekundäre Rohstoffe zeigen seit 1988 eine starke Einsatzsteigerung. Die Sekundärzuzugstoffe haben in diesen 15 Jahren mengenmäßig keine signifikante Änderung erfahren. Es ist abschließend hervorzuheben, dass die Summe dieser drei Stoffgruppen, die allesamt dem Bereich der Abfallwirtschaft zuzuordnen sind, im Jahre 2002 diese um 1,207 Millionen Tonnen durch thermische und stoffliche Verwertung entlastet hat.

9 Tabellenverzeichnis

Tabelle 2-1:	erfasste Schadstoffe	4
Tabelle 2-2:	Anlagentechnische Kenndaten zu den österreichischen Zementwerken (Ofenlinie)	6
Tabelle 3-1:	Anzahl jener österreichischen Zementwerke, die über eine kontinuierliche Emissionsdatenerfassung (KMDE) verfügen	7
Tabelle 3-2:	Anzahl der in die Datenerfassung aufgenommenen Einzelmessungen der österreichischen Zementwerke mit eigener Klinkerproduktion für den Vergleichszeitraum 2000 bis 2002 (exklusive Werte aus der kontinuierlichen Meßdatenerfassung KMDE).....	7
Tabelle 4-1:	Gesamtübersichtstabelle - Emissionen und Produktionsmittel der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 1997 bis 2002	10
Tabelle 5-1:	Produktionsdaten für Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Bilanzzeitraum 2000 bis 2002.....	30
Tabelle 5-2:	Energiedaten für Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Bilanzzeitraum 2000 bis 2002	30
Tabelle 5-3:	Emissionsminderung bei klassischen Schadstoffen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie in den Bilanzjahren 2001 und 2002 bezogen auf 2000.....	31
Tabelle 5-4:	Vergleich der Stickstoffoxid-Emissionsdaten mit den Einsatzmengen an Petrolkoks bzw. Tiermehl	32
Tabelle 5-5:	Verlauf des auf die Tonne Klinker bezogenen Emissionsfaktors für Stickstoffoxide von 1988 bis 2002.....	32
Tabelle 5-6:	Emissionskenngrößen für metallische Spurenelemente und ihre prozentuelle Änderung in 2002 bezogen auf 2000.....	33
Tabelle 5-7:	Streubreite der mittleren Emissionskonzentrationen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) berechnet für das Jahr 2002 (Bezugssauerstoffkonzentration: 10,0 Vol.-%, angeführte Grenzwerte – unbeschadet anderer rechtlicher Regulative – nach [1])	34
Tabelle 6-1:	Emissionsfaktoren (bezogen auf die Tonne Klinker) diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Zeitraum 1988 bis 2002	36
Tabelle 6-2:	Emissionsfaktoren (bezogen auf die Tonne Klinker) diverser Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Zeitraum 1988 bis 2002	37
Tabelle 6-3:	Emissionsfaktoren (bezogen auf die Tonne Klinker) diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Zeitraum 1988 bis 2002	38
Tabelle 6-4:	Entwicklung des thermischen Energieeinsatzes aus Ersatzbrennstoffen, der Einsatzmengen an Sekundärrohstoffen, der Einsatzmengen an Sekundärzumahlstoffen und der Zementproduktionsmengen in Anlagen der österreichischen Zementindustrie.....	39
Tabelle 6-5:	Emissionskenngrößen für klassische Schadstoffe und für pyrogenes CO ₂ für 1988, 1991, 1995, 1999 und 2002 und ihre prozentuellen Änderungen zum Jahr 1988.....	39
Tabelle 6-6:	Entwicklung der auf die Tonne Klinker bezogenen Emissionsmassenströme (E-Faktoren) für Quecksilber, Thallium und Cadmium aus österreichischen Zementwerken im Zeitraum 1988 bis 2002	39
Tabelle 7-1:	Klimarelevanz von CO ₂ -Emissionen der Zementindustrie	40
Tabelle 7-2:	auf Gesamtkohlenstoff bezogene, biogene C-Anteile von Ersatzbrennstoffen (Jahresmittelwerte 2000, 2001, 2002)	41
Tabelle 7-3:	In der CO ₂ -Emissionsinventur erfasste Anlagenbereiche	41

10 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Werksstandorte der österreichischen Zementindustrie.....	5
Abbildung 4-1:	Rohmehleinsatzmenge, Klinkerproduktionsmenge und Zementproduktionsmenge der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002 (ohne Mahlwerke)	13
Abbildung 4-2:	Klinkerfaktor und Rohmehlfaktor im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002.....	13
Abbildung 4-3:	Entwicklung der Ofenleistung in den Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002	14
Abbildung 4-4:	Einsatzmengen konventioneller Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002.....	14
Abbildung 4-5:	Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002	15
Abbildung 4-6:	Entwicklung des thermischen und elektrischen Energieeinsatzes in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002...	16
Abbildung 4-7:	Ersatzbrennstoffenergieanteil am thermischen Energieeinsatz (Substitutionsgrad) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002 (Petrolkoks wurde als konventioneller, fossiler Energieträger bewertet).....	17
Abbildung 4-8:	auf die Tonne Zement bzw. auf die Tonne Klinker bezogener spezifischer Brennstoffenergieeinsatz in Anlagen der österreichischen Zementindustrie für den Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002.....	18
Abbildung 4-9:	über den Bilanzzeitraum 2000, 2001 und 2002 mengengewichtete Mittelwerte von Heizwerten unterschiedlicher Drehofenbrennstoffe (im Einsatzzustand) mit werksspezifischen Minimal- und Maximalwerten	18
Abbildung 4-10:	Einsatzmengen von Ersatzbrennstoffen (EBS) in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1997 bis 2002	19
Abbildung 4-11:	Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes (exklusive elektrischer Energieeinsatz) bzw. Darstellung des spezifischen CO ₂ -Emissionsmassenstroms und des spezifischen, trockenen Gesamtabgasnormvolumens (nicht auf 10,0 Vol.-% O ₂ bezogen) in österreichischen Zementwerken mit eigener Klinkererzeugung jeweils für den Zeitraum 1997 bis 2002	20
Abbildung 4-12:	Einsatzmengen sekundärer Rohstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 1997 bis 2002	21
Abbildung 4-13:	Spezifizierung der im Zeitraum von 1997 bis 2002 in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) verwendeten sonstigen sekundären Rohstoffmassenströme	22
Abbildung 4-14:	Einsatzmengen sekundärer Zumahlstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie von 1997 bis 2002 (ohne Mahlwerke)	23
Abbildung 4-15:	jährliche Emissionen an Stickoxiden (als NO ₂), an Schwefeldioxid, an organischem Gesamtkohlenstoff und an Staub aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Zeitraum von 1997 bis 2002	23
Abbildung 4-16:	zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO ₂), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Klinker (1997 - 2002, ohne Mahlwerke)	24
Abbildung 4-17:	zeitlicher Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stickoxide (als NO ₂), für Schwefeldioxid und für Staub jeweils bezogen auf 1 t Zement (1997 - 2002, ohne Mahlwerke)	24
Abbildung 4-18:	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 1997 bis 2002 (ohne Mahlwerke)	25

Abbildung 4-19:	zeitliche Entwicklung der jährlichen Emissionen an Kohlendioxid und Kohlenmonoxid aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) jeweils für den Zeitraum 1997 bis 2002	25
Abbildung 4-20:	Emissionen diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 1997 bis 2002.....	26
Abbildung 4-21:	klinkerbezogene Emissionsfaktoren diverser metallischer Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) für den Zeitraum von 1997 bis 2002.....	27
Abbildung 4-22:	Entwicklung der pyrogenen und prozessspezifischen Kohlendioxidemissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Bilanzzeitraum von 1997 bis 2002.....	28
Abbildung 4-23:	mittlerer spezifischer Energieeinsatz je Tonne Zement in Anlagen der österreichischen Zementindustrie (ohne Mahlwerke) im Vergleichszeitraum 1997 bis 2002	28
Abbildung 4-24:	Staubmassenstrom aus „sonstigen definierten Quellen“ nach „Zementverordnung“ § 5 Z.3 für Anlagen der österreichischen Zementindustrie (exklusive Mahlwerke) im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002.....	29
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 1997 bis 2002.....	29
Abbildung 7-1:	CO ₂ -Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002.....	42
Abbildung 7-2:	auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische CO ₂ -Emissionen (ohne biogene CO ₂ -Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002.....	42
Abbildung 7-3:	auf die Tonne Klinker bezogene, spezifische CO ₂ -Emissionen (mit biogenen CO ₂ -Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002.....	43
Abbildung 7-4:	auf die Brennstoffwärmemenge bezogene, spezifische CO ₂ -Emissionen (CO ₂ -Emissionsfaktor) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002.....	43
Abbildung 7-5:	CO ₂ -Emissionsfaktor für den sektorspezifischen Brennstoffmix für die Beobachtungsjahre 1997 bis 2002 (zu Vergleichszwecken ist der IPCC Default -Wert für den CO ₂ -Emissionsfaktor für Erdgas mit 56,1 kg CO ₂ /GJ und der für Steinkohle mit 96,0 kgCO ₂ /GJ eingezeichnet).....	44
Abbildung 7-6:	auf die Tonne Zement bezogene, spezifische CO ₂ -Emissionen (mit und ohne biogene CO ₂ -Emissionen) aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie im Beobachtungszeitraum 1997 bis 2002.....	45
Abbildung 7-7:	Vergleich der Berechnungsmethoden für geogene CO ₂ -Emissionen (Bilanzzeitraum 2000 bis 2002)	45
Abbildung 7-8:	über den Bilanzzeitraum 2000, 2001 und 2002 mengengewichtete Mittelwerte von CO ₂ -Emissionsfaktoren unterschiedlicher Drehofenbrennstoffe (im Einsatzzustand, inklusive biogene CO ₂ -Emissionen) mit werksspezifischen Minimal- und Maximalwerten.....	46

11 Literaturverzeichnis

- [1] "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)
- [2] Verbrennungsverordnung für gefährliche Abfälle BGBl II 1999/22
- [3] Fernando R.: „The use of petroleum coke in coal-fired plant“, IEA Coal Research, London (2001), 42p
- [4] BMUJF Aktenzahl 35 3527/13-III/5/98, Wien (1998)
- [5] Smith, I.: „Co-utilisation of coal and other fuels in cement kilns“, IEA Coal Research, London (2003) 64p
- [6] Verordnung über die Verbrennung gefährlicher Abfälle in gewerblichen Betriebsanlagen, BGBl II 1999/32
- [7] Abfallverbrennungsverordnung des BMLFUW und des BMWA, BGBl II 2002/389
- [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 CO2 Protocol: CO2 Emissions Monitoring and Reporting Protocol for the Cement Industry“, October 2001
- [11] Hackl, A.; Mauschitz, G.: "Emissionen aus Anlagen der Österreichischen Zementindustrie I", Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H. Wien (1995) 48S.
- [12] Hackl, A.; Mauschitz, G.: "Emissionen aus Anlagen der Österreichischen Zementindustrie II", Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H. Wien (1997) 28S.
- [13] Hackl, A.; Mauschitz G.: „Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie III“, Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H. Wien (2001) 44S.