

Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie

(Zweite Fassung)

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

Dipl.-Ing. Gerd Mausnitz

Weitra/Wien

Wien, im August 1995

unveränderter Datenstand vom Februar 1995

Inhaltsverzeichnis

1.	Einleitung	3
2.	Datenerfassung	4
2.1	Erfasste Schadstoffe	4
2.2	Erfassungszeitraum	4
2.3	Erfasste Anlagen	5
3.	Zementerzeugung	6
4.	Datenermittlung	10
5.	Ergebnisse	13
6.	Beitrag zu Gesamtemissionen	23
	Anlagenschema Zementerzeugung	24
7.	Emissionsgrenzwerte	28
7.1	Gesetzliche Maßnahmen zur Begrenzung luftverunreinigender Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie	29
7.2	Grenzwerte für luftverunreinigende Schadstoffe aus Anlagen zur Zementerzeugung in Frankreich	30
7.3	Grenzwerte für luftverunreinigende Schadstoffe aus Anlagen zur Zementerzeugung in der Schweiz	31
7.4	Grenzwerte für luftverunreinigende Schadstoffe aus Anlagen zur Zementerzeugung in Deutschland	32
7.5	Grenzwerte für luftverunreinigende Schadstoffe aus Anlagen zur Zementerzeugung aus Sicht der Europäischen Union	34
7.6	Grenzwerte für luftverunreinigende Schadstoffe aus Anlagen zur Zementerzeugung in den Niederlanden und Dänemark	35
8.	Möglichkeiten der Emissionsminderung	37
9.	Ersatzbrennstoffe	40
10.	Sekundärroh- und Sekundärzumahlstoffe	42
11.	Zusammenfassung	43
12.	Literaturverzeichnis	48

1. Einleitung

Die Aufstellung von Emissionsbilanzen für luftverunreinigende Stoffe dient einerseits dazu, das Maß der Luftbelastung zu ermitteln, andererseits dafür, um Strategien und Maßnahmen zur Verminderung dieser Belastung zu konzipieren und umzusetzen. Der räumliche Umfang für die zu erfassenden Emissionsquellen kann vom globalen Rahmen bis in Bereiche einzelner Produktionsanlagen führen und sich für die zu erfassenden Schadstoffe auf verschiedene Arten von Emissionen und Emissionsquellengruppen beziehen.

Für die nationalen Emissionsbilanzen, wie sie Österreich nicht nur als Beitrag für die Arbeit internationaler Organisationen, z.B. ECE, OECD, EU, sondern auch für die nationale Umweltpolitik benötigt, erfaßt man für die im Rahmen der im zweijährigen Rhythmus herausgegebenen Energieberichte der Österreichischen Bundesregierung die Schadstoffe Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Staub, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und seit kurzem auch Kohlendioxid. Bei den für die Emittentengruppe Industrie angegebenen jährlichen Emissionsmassenströmen handelt es sich um pyrogene Emissionen aus der Verfeuerung von fossilen Energieträgern zur Gewinnung von thermischer Energie in Form von Dampf und/oder Elektrizität.

Nicht erfaßt werden die prozeßbedingten Emissionen der Industrie. Die Ermittlung dieser Emissionen kann meist nicht durch einfache Rechnung oder durch Anwenden repräsentativer Emissionsfaktoren erfolgen. Art und spezifische Mengen von prozeßbedingten Emissionen sind von zahlreichen Einflußfaktoren abhängig, die nicht nur von Branche zu Branche sehr verschieden sind, sondern auch innerhalb eines Industriezweiges stark variieren können. Solche Einflußgrößen sind u.a.

- die jeweils eingesetzte Rohstoffpalette und die Zuschlagstoffe,
- die anlagenspezifische Variante des Herstellungs- oder Verarbeitungsprozesses und seine technischen Einrichtungen sowie
- die Spezifikation des jeweils herzustellenden Produktes.

Daraus ergibt sich, daß neben den vorstehend angeführten Schadstoffen auch andere rohstoff- und produktionsbedingte Schadstoffpotentiale branchenspezifisch gegeben sind, die in Summe die prozeßbedingten Emissionen bilden. Ohne Erfassung und Darstellung dieser prozeßbedingten Emissionen ist jedoch eine nur die pyrogenen Emissionen erfassende nationale Bilanz als Teilbilanz zu werten, die über die tatsächliche Emissionsbelastung keine Auskunft gibt.

Nach den Fachverbänden der chemischen Industrie und der Mineralölwirtschaft hat sich auch die österreichische Zementindustrie entschlossen, eine branchenspezifische Emissionsbilanz zu erarbeiten und damit auch ein Beispiel für andere Industriezweige zu geben.

2. Datenerfassung

2.1 Erfasste Schadstoffe

Unter Berücksichtigung der für die Zementindustrie relevanten Schadstoffpotentiale wurden Emissionsdaten für 23 Schadstoffgruppen erhoben, darunter finden sich 12 Schwermetalle, sowie Emissionsangaben über das Treibhausgas Kohlendioxid, unterteilt in pyrogenes CO₂ und prozeßbezogenes CO₂.

Im einzelnen wurden folgende Emissionskomponenten erfaßt:

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

Mit der Einzeldarstellung der 12 wichtigsten Schwermetalle wurde erstmalig für Österreich eine so detaillierte Emissionsbilanz für die Gruppe der Schwermetalle erstellt.

2.2 Erfassungszeitraum

Um die Qualität der Aussage von weniger systematischen Einflußgrößen unabhängiger zu machen und einen zeitlichen Verlauf darstellen zu können, wurden die Daten für einen Zeitraum von sechs Jahren, 1988 bis einschließlich 1993, erhoben. Dadurch ist es möglich, eine Trendanalyse zu erstellen und Mittelwertbildungen auf eine breitere Basis zu beziehen.

2.3 Erfasste Anlagen

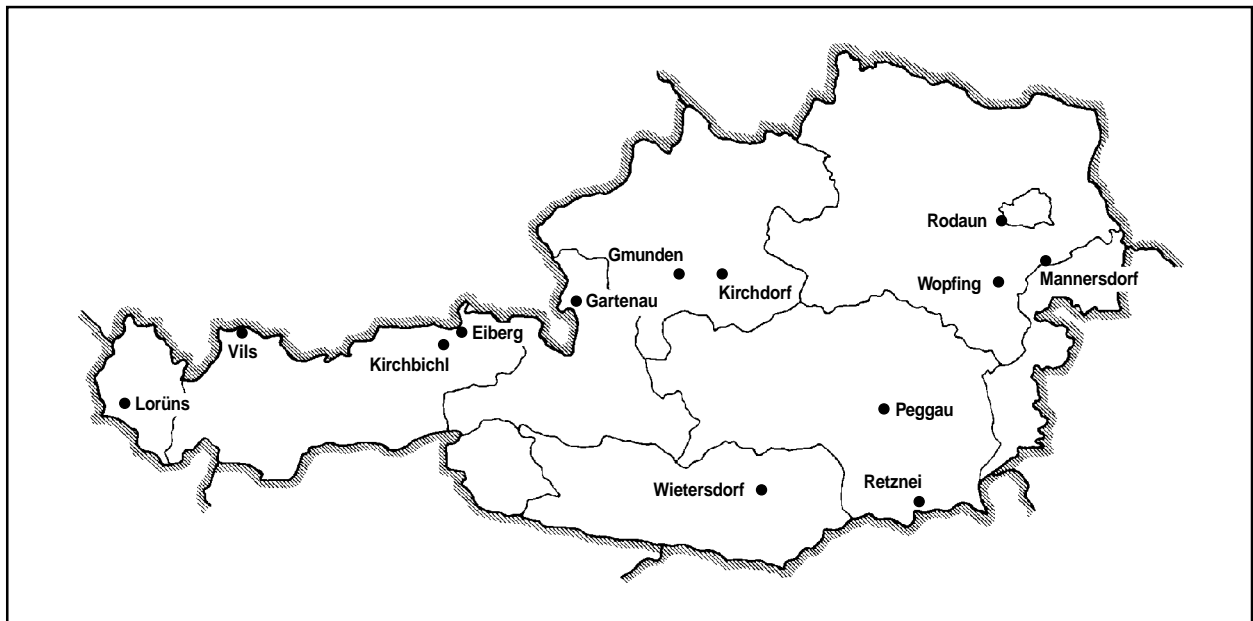
Es wurden die 13 Produktionsanlagen der Zementindustrie in Österreich erfaßt. Es sind dies die folgenden Werke:

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

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

Das im ersten Quartal 1993 geschlossene Kalkwerk der Perlmooser Zementwerke AG in Peggau, welches mit zwei Schachtöfen jährlich ca. 120.000 t Zementklinker produzierte, wurde von der Studie nicht erfaßt.

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



3. Zementerzeugung

Das Herstellen von Zement umfaßt, wie es den nachgestellten verfahrenstechnischen Grundfließbildern (Abb. 2 u. 3) zu entnehmen ist, im wesentlichen folgende vier Bereiche:

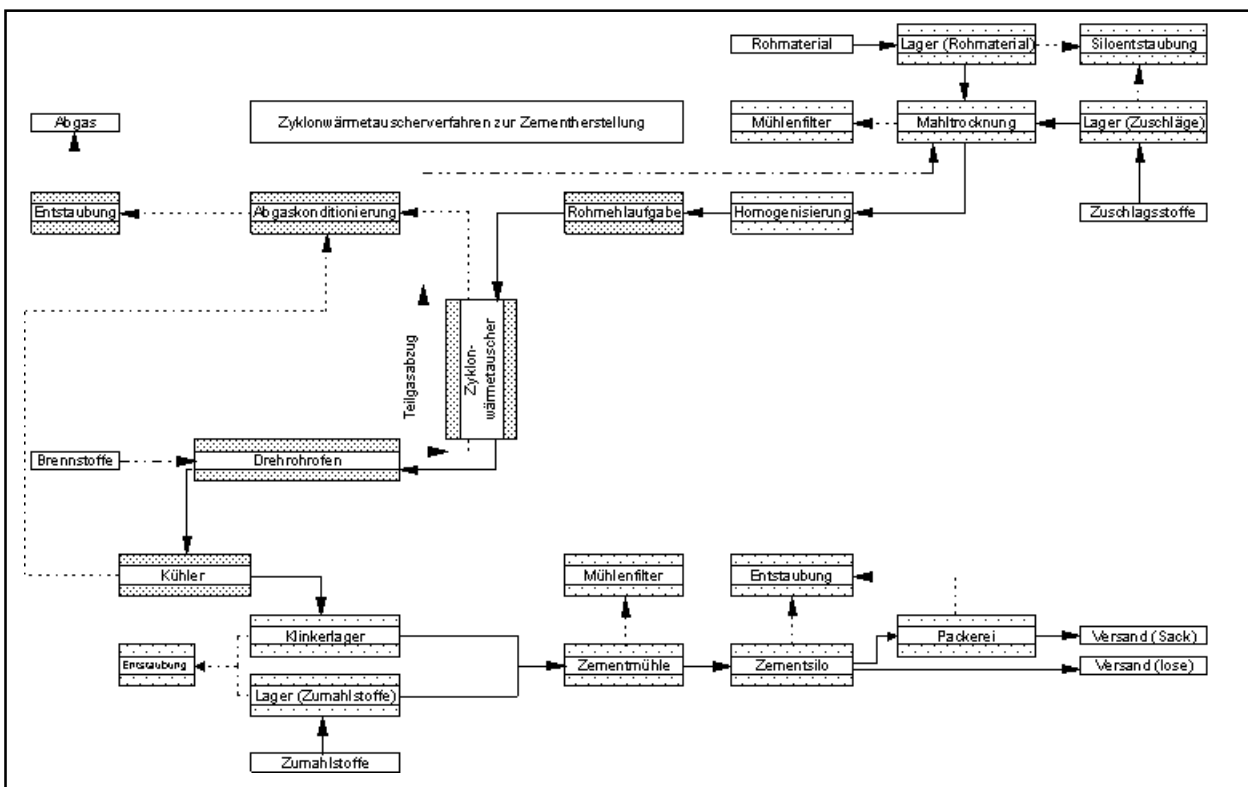
- das Aufbereiten der Roh- und Einsatzstoffe,
- das Brennen des Rohmehls zu Zementklinker,
- das gemeinsame Vermahlen des Klinkers mit diversen Zumahlstoffen zu Zement sowie
- die Abgasentstaubung.

Eine detailliertere Darstellung des Zementerzeugungsprozesses ist dem auf den Seiten 24/25 befindlichen anlagentechnischen Fließbild (Abb. TU-1002-003) zu entnehmen.

● **Aufbereiten der Roh- und Einsatzstoffe**

Bei der Rohstoffaufbereitung werden die Rohstoffe entweder trocken zu Rohmehl (*Trockenverfahren*) oder naß zu Rohschlamm (*Naßverfahren*) weiterverarbeitet. In Österreich werden die Rohstoffe in allen 13 Zementwerken trocken aufbereitet. Dabei werden die im Steinbruch abgebauten und in Hammer- bzw. Walzenbrechern grobzerkleinerten Rohstoffkomponenten Kalkstein und Mergel im Mischbett, zum Ausgleichen größerer Schwankungen in der chemischen Lagerstättenzusammensetzung, vorhomogenisiert und anschließend zwischengelagert. Die nach Kalk- und Tongehalt getrennten Rohstoffkomponenten werden über geregelte Dosiereinrichtungen den mit Windsichtern kombinierten Rohmühlen (Walzen- bzw. Kugelmühlen) aufgegeben und feingemahlen. Gegebenenfalls werden zum Einstellen der gewünschten Rohmehlzusammensetzung Korrekturstoffe wie Quarzsand und/oder Eisenerz zugesetzt. Während des Mahlens wird das Mahlgut mit Heißgas getrocknet, das durch die Mahlanlage gesaugt wird. In ähnlicher Weise verfährt man bei der Trocknung von feinzermahlenden Kohlen in eigens dafür vorgesehenen Mühlen. In beiden Fällen nutzt man hierfür die Wärme der Ofenabgase. Die Trocknung sehr feuchter Rohstoffe erfolgt wegen der benötigten erheblich größeren Heißgasvolumenströme nicht in der Rohmühle selbst, sondern in speziell dafür installierten Trommeltrocknern. Durch eine Verstellung der Austrageeinrichtungen an den Vorratsbehältern der einzelnen Rohmehlkomponenten ist eine Änderung der Rohmehlrezeptur möglich. Verbleibende Inhomogenitäten werden in eigenen Siloanlagen mittels Fluidisierung oder mechanischer Umwälzvorrichtungen vereinheitlicht.

▼ **Abbildung 2: Grundfließbild eines Zementwerkes mit Zyklonwärmetauscher**



● *Brennen des Rohmehls zu Zementklinker*

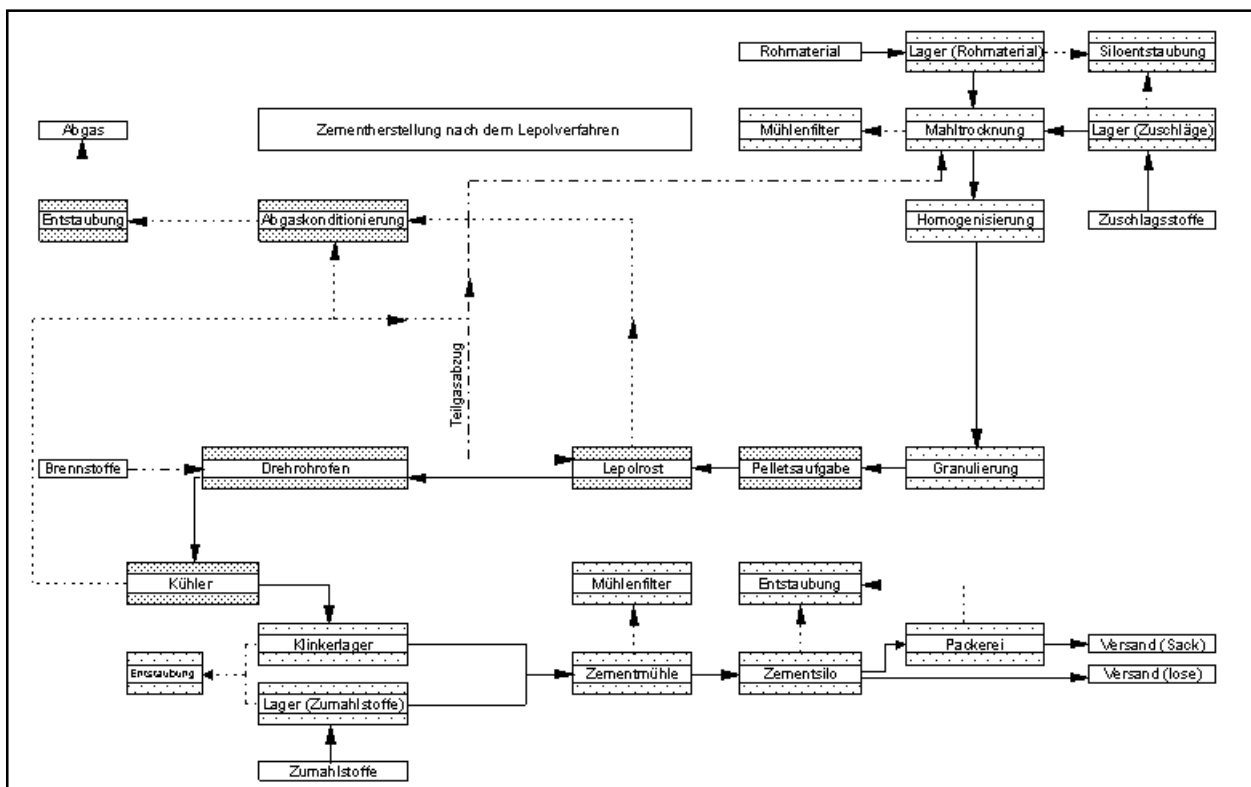
Das Brennen des Brenngutes zu Zementklinker erfolgt bei ca. 1450°C im Drehrohrofen. Drehrohrofen sind unter 3° bis 4° geneigt liegende, feuerfest ausgekleidete Rohre mit einem Durchmesser von ca. 3,5 m bis 5,0 m und einer durchschnittlichen Länge von 40 m bis 70 m (Trocken- bzw. Halbtrockenverfahren). Infolge Neigung und Drehung des Ofens läuft das am oberen Ofenende zugeführte Brenngut einer Kohlenstaub-, Öl- oder Gasflamme entgegen, die als *Primärfeuerung* bezeichnet wird. Daneben können Ersatzbrennstoffe wie Altreifen über die *Sekundärfeuerung* am oberen Ofenende direkt dem Drehrohr aufgegeben werden.

Die für die Klinkerbildung von 1350°C bis 1500°C erforderlichen Temperaturen werden im Bereich der Sinterzone des Drehrohrofens mit Gastemperaturen von 1800°C bis 2000°C erreicht. Der Zementklinker wird nach Verlassen des Drehrohrofens möglichst rasch in Rost-, Trommel- oder Satellitenkühlern abgekühlt. Die beim Kühlen des Klinkers auf 800°C bis 900°C erhitzte Luft strömt als Sekundärluft in das Drehrohr und dient dort als Verbrennungsluft. Das Einblasen des Brennstoffes erfolgt mittels Primärluft. Die zur Klinkerkühlung bevorzugt eingesetzten Rostkühler benötigen mehr Luft zu Kühlzwecken, als für das Brennen des Klinkers erforderlich ist. Die überschüssige Luftmenge kann gegebenenfalls als wärmebilanzverbessernde Tertiärluft dem Vorcalzinator zugeführt werden, oder wird nach Abwärmenutzung und entsprechender Entstaubung in die Atmosphäre freigesetzt. Um eine ausreichende Wärmeübertragung zwischen Ofenabgasen und Brenngut sicherzustellen, werden dem Drehrohrofen Vorwärmer vorgeschaltet. Man unterscheidet dabei zwischen Rost- und Zyklonvorwärmern.

Die für das *Lepolverfahren* zur Zementerzeugung charakteristischen Rostvorwärmer werden mit Rohmehlpellets beschickt, die zuvor aus Rohmehl unter Wasserzugabe auf Pelletiertellern erzeugt wurden. Im Rostvorwärmer wandern die Rohmehlgranalien auf einem Wanderrost durch eine Trocken- und anschließend eine Heißkammer, die voneinander durch eine bis auf die Brenngutschicht herunterreichende Zwischenwand abgetrennt sind. In beiden Kammern werden die Granalien von heißen Ofenabgasen durchströmt, um schließlich auf 700°C bis 800°C vorgewärmt dem Drehrohrofen aufgegeben zu werden.

Im Gegensatz zum Lepolverfahren werden in Zementwerken mit *Schwebgaswärmetauschern* vier- bzw. fünfstufige Zyklonwärmetauscher zum Einsatz gebracht. Sie bestehen aus vier bzw. fünf Zyklonstufen, die in einem 50 m bis 70 m hohen Turm angeordnet sind. Die 1100°C bis 1200°C heißen Ofenabgase durchströmen den Zyklonvorwärmer von unten nach oben. Das Rohmehl wird dem Ofenabgas vor der letzten Zyklonstufe, welche der Abgasteilentstaubung dient, aufgegeben und durchwandert im Gegenstrom zum Ofenabgas die

▼ *Abbildung 3: Grundfließbild eines Zementwerkes nach dem Lepolverfahren*



darunterliegenden Zyklonstufen. Dabei erwärmt sich das mehlartige Brenngut und läuft mit ca. 850°C in das Drehrohr aus.

Eine weitere Verbesserung für Zementofenanlagen bedeutet der Einsatz von *Vorcalzinatoren*. Dabei wird die gesamte Brennstoffenergie, die zum Brennen des Zementklinkers erforderlich ist, zwischen der Hauptfeuerung im Drehrohr und der *Zweitfeuerung* am Vorcalzinator aufgeteilt. Mit dieser Zweitfeuerung zwischen Drehrohr und Wärmetauscher wird soviel Energie dem System zugeführt, daß der im Brenngut enthaltene Carbonatanteil bei Verlassen des Vorcalzinators fast vollständig dissoziiert ist. Der wesentliche Vorteil des Vorcalzinators besteht darin, daß die für die Rohmehldecarbonatisierung erforderliche Energie durch die Zweitfeuerung schon bei 900°C - meist durch flammenlose Verbrennung - freigesetzt werden kann und unmittelbar für die Dissoziation zur Verfügung steht. Somit ist auch der Einsatz von minderwertigen Brennstoffen möglich. Daneben entlastet der Vorcalzinator die Sinterzone des Drehrohrrofens bei gleichzeitiger Erhöhung der Klinkerkapazität bei unveränderten Ofenabmessungen.

- *Vermahlen des Klinkers mit diversen Zuschlagstoffen zu Zement*

Der abgekühlte Klinker wird noch im Kühler durch einen Brecher grobzerkleinert und ebenso wie die zement-eigenen Zuschlagstoffe in Großraumsilos oder geschlossenen Hallen zwischengelagert. Anschließend werden je nach Zementrezeptur Klinker sowie diverse Zuschlagstoffe (Natur-, REA-Gips, Hochofenschlacke,...) miteinander gemischt und in den Zementmühlen gemahlen. Für das Feinmahlen des Zements werden überwiegend Kugelmühlen - in selteneren Fällen Wälzmühlen - verwendet. Die meisten Zementmühlen arbeiten in Kombination mit einstellbaren Windsichtern, die den Zement mit der geforderten Feinheit aus dem Mahlgut aussondern. Die fertigen Zementsorten werden aus den Silos lose in Behälterfahrzeuge verladen oder mittels Roto-packmaschinen sackweise abgefüllt und palettiert zum Versand gebracht.

- *Abgasentstaubung*

Eine Vielzahl der unterschiedlichsten Entstaubungseinrichtungen wie Filternde Abscheider, Elektrofilter, Fliehkraftentstauber und Schüttichtfilter werden zur möglichst vollständigen Auftrennung der Aerodispersionen verwendet, die sonst von den verschiedensten Einzelaggregaten des Zementwerkes, wie Mahl-, Förder-, Silo-, Ofenanlagen, freigesetzt würden. Dabei fällt Rohmaterialstaub genauso an, wie Rohmehlstaub, Zementklinkerstaub, Zementstaub und gegebenenfalls Kohlenstaub.

Die werksspezifischen anlagentechnischen Kenndaten der 13 österreichischen Zementwerke können der nachfolgenden Zusammenstellung (Tab. 1) entnommen werden.

Anlagenbetreiber	Standort	Anlagenvariante	Lieferant / Zustellung	Klinkerkühler	Entstaubung	Brennstoffe	Klinkerkapazität installiert [t/Jahr]
Zementwerk Eiberg Bartl Lechner sen. u. jun. KG	Kufstein	2strang. 4stufig. WT-DO mit Calz. Ausbr.	KHD (DOI 1960 / 76)	1 Rostkühler	2 E-Filter, Schlauchf.	SK, Ö, R	400.000
Zementwerk Leube Ges.m.b.H. Gartenau	Gartenau	2 vierstufige WT-DO, DOII mit Vorcalz.	KHD (DOI 1960, DOII 1967)	2 Schrägrostkühler	2 E-Filter	SK, Ö	576.000
Gmundner Zementwerk Hans Hatschek AG	Gmunden	5stufiger WT-DO	Polysius (DOIV 1972 / 92)	Satellitenkühler	2 E-Filter in Serie	BK, Ö, G, R, AÖ, LM	512.000
Kirchdorfer Zementwerk Hofmann Ges.m.b.H.	Kirchdorf	2 vierstufige WT-DO	KHD (DOI 1957/58 DOII 1962)	2 Schrägrostkühler	3 E-Filter	SK, G	368.000
Perlmooser Zementwerke AG	Kirchbichl	Lepolverfahren 2 DO	Polysius (DOI 1952, DOII 1956)	2 Rohrkühler	je 1 E-Filter u. 1 Tuchf.	SK, Ö	275.000
Vorarlberger Zementwerk Lorüns AG Nfg. GmbH	Bludenz	4stufiger WT-DO	KHD/VOEST (1981)	Rohrkühler	1 E-Filter	SK, Ö	106.000
Perlmooser Zementwerke AG	Mannersdorf	2strang. 5stufig. WT-DO mit Vorcalzinator	VOEST (DOIX 1984)	2 Rostkühler	4 E-Filter	SK, Ö	768.000
Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH	Peggau	Lepolverfahren 2 DO	Polysius (DOI 1961, DOII 1979)	2 Rostkühler	je 1 E-Filter	SK, PK, G, AÖ, LM	442.000
Perlmooser Zementwerke AG	Retznei	4stufiger WT-DO	Polysius (DOV 1967)	Rostkühler	2 E-Filter	SK, Ö, R	384.000
Perlmooser Zementwerke AG	Rodaun	4stufiger WT-DO	KHD (DOIV 1972)	Rohrkühler	1 E-Filter	SK, Ö, R	624.000
Schretter & Cie. Vils	Vils	4stufiger WT-DO (zus. 1 Lepolofen)	Polysius (DOI 1961, DOII 1973)	2 Rostkühler	Multiklon u. E-Filter	BK, Ö, R	256.000
Wietersdorfer & Peggauer Zementwerke GmbH	Wietersdorf	Lepolverfahren 1 DO	Polysius (DOIII 1967)	Rostkühler	1 E-Filter	SK, PK, Ö, R, K	320.000
Wopfinger Stein- und Kalkwerke Schmid & Co.	Wopfing	4stufiger WT-DO	Polysius (1980)	Rostkühler	E-Filter u. Kriesbettf.	Ö, G, P	240.000
Summe Symbolik: SK Steinkohle BK Braunkohlenstaub LM Lösungsmittel K Kunststoffabfälle P Papierrestfaserstoff G Erdgas AÖ Aitöl PK Petrolkoks R Altreifen Ö Heizöl (S)							5.271.000

▲ Tabelle 1: Anlagentechnische Kenndaten zu den 13 österreichischen Zementwerken

4. Datenermittlung

Die Ermittlung der Daten erfolgte für jedes der erfaßten Werke in individueller Weise durch Besichtigung der Werksanlagen, Erfassung und Auswertung der werkseigenen Aufzeichnungen sowie der im Auftrag des jeweiligen Werkes durchgeführten Messungen, Analysen und Untersuchungen von unabhängigen Instituten und wissenschaftlichen Einrichtungen. Die so erfaßten und in ihrer Dokumentation überprüften werkspezifischen Analysedaten - sie liegen je nach Schadstoff entweder als mehrmals jährlich durchgeführte Einzelmessungen (Tab. 2) oder als Halbstundenmittelwerte bei installierter kontinuierlicher Emissionsdatenerfassung vor - wurden für jedes einzelne Werk zu mittleren Jahresemissionskonzentrationen zusammengefaßt. Gemeinsam mit den durchschnittlichen Mengen an trockenem Abgas im Normzustand (273,15K; 101.325Pa) errechnen sich für jeden einzelnen Schadstoff werkseigene Emissionsmassenströme und infolge spezifische Emissionswerte (Emissionsfaktoren) - relativiert auf die Tonne Klinker (bzw. Zement). Als Bezugssauerstoffkonzentration finden in allen Berechnungen 10,0 Vol.-% O₂ Berücksichtigung. Seit 1992/93 erfassen sechs Zementwerke kontinuierlich Staubemissionen, fünf Werke messen permanent Stickoxid- und Schwefeloxidemissionen.

In jenen Positionen, in welchen werkspezifische Daten in unzureichendem Maß vorlagen, mußten Analogieberechnungen vorgenommen werden. Zu diesem Zweck wurde werksübergreifend für jeden in der Studie erfaßten Schadstoff alle verfügbaren Meßwerte (1988 bis 1993) einer der folgenden vier Kategorien zugeteilt:

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

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

Der gruppenspezifische Emissionsfaktor eines Schadstoffes findet nur für jene Produktionsanlagen Anwendung, die von 1988 bis 1993 keinerlei werkspezifische Analysen für den speziellen Schadstoff aufweisen konnten. So machte die unzureichende Verfügbarkeit von Daten bei der Gesamtbilanzierung gewisser (Schwer-)Metallemissionen den Einsatz von Emissionsfaktoren aus Analogieberechnungen erforderlich.

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

Die Gesamtdarstellung der Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie erfolgt durch Addition der Emissionskennzahlen aller 13 Betriebsstandorte, bei gleichzeitiger Wahrung der gewünschten Vertraulichkeit werkspezifischer Einzelwerte.

Die Qualität der erfaßten und errechneten Daten ergibt sich bei analytisch, meßtechnisch erfaßten Daten aus der Genauigkeit der zur Anwendung gebrachten Meß- bzw. Analyseverfahren. Für die wesentlichen Verfahren liegen Ö-Normen vor, in welchen Geräte, Probenahme, Messung und Auswertung sowie Justierung und Überprüfung der Geräte festgelegt sind und dafür zur Anwendung gelangen.

Bei jenen Daten, die auf Grund von Analogrechnungen ermittelt wurden, liegt bei schlüssiger Vergleichbarkeit der Rahmenbedingungen eine mögliche Unschärfe in der meist nicht genügend kontrollierbaren Qualität der Bezugsdaten.

Die angegebenen mittleren Gesamtemissionsfaktoren - diese sind Mittelwerte, gebildet aus den für jedes der 13 Werke ermittelten werkspezifischen Emissionsfaktoren - können als durchaus repräsentativ für die pyrogenen Emissionen der österreichischen Zementindustrie angesehen werden.

X Emission	Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen		Anzahl der Messungen						
	1988 [-]	1988 [%]	1988 [-]	1988 [%]	1989 [-]	1989 [%]	1989 [-]	1989 [%]	1990 [-]	1990 [%]	1990 [-]	1990 [%]	1991 [-]	1991 [%]	1992 [-]	1992 [%]	1993 [-]	1993 [%]	1988-1993 [-]
1 Staubbürmige Emissionen	17	11,2	17	11,2	17	11,2	21	13,8	31	20,4	32	21,1	34	22,4	32	21,1	34	22,4	152
2 Stickstoffoxide (als NO ₂)	11	8,0	15	10,9	18	13,1	18	13,1	23	16,8	35	25,5	35	25,5	35	25,5	35	25,5	137
3 Schwefeldioxid (SO ₂)	14	11,1	16	12,7	12	9,5	12	9,5	30	23,8	26	20,6	28	22,2	26	20,6	28	22,2	126
4 Cadmium (Cd)	11	12,6	11	12,6	13	14,9	13	14,9	15	17,2	20	23,0	17	19,5	20	23,0	17	19,5	87
5 Thallium (Tl)	10	11,6	11	12,8	15	17,4	15	17,4	14	16,3	19	22,1	17	19,8	19	22,1	17	19,8	86
6 Beryllium (Be)	3	9,4	3	9,4	5	15,6	5	15,6	5	15,6	7	21,9	9	28,1	7	21,9	9	28,1	32
7 Arsen (As)	6	9,4	6	9,4	8	12,5	8	12,5	11	17,2	15	23,4	18	28,1	15	23,4	18	28,1	64
8 Cobalt (Co)	3	6,8	2	4,5	4	9,1	4	9,1	12	27,3	10	22,7	13	29,5	10	22,7	13	29,5	44
9 Nickel (Ni)	6	9,5	7	11,1	8	12,7	8	12,7	13	20,6	13	20,6	16	25,4	13	20,6	16	25,4	63
10 Blei (Pb)	7	8,0	10	11,4	12	13,6	12	13,6	17	19,3	21	23,9	21	23,9	21	23,9	21	23,9	88
11 Quecksilber (Hg)	10	14,3	10	14,3	13	18,6	13	18,6	10	14,3	11	15,7	16	22,9	11	15,7	16	22,9	70
12 Chrom (Cr)	10	12,7	8	10,1	12	15,2	12	15,2	16	20,3	15	19,0	18	22,8	15	19,0	18	22,8	79
13 Selen (Se)	3	14,3	2	9,5	3	14,3	3	14,3	2	9,5	4	19,0	7	33,3	4	19,0	7	33,3	21
14 Mangan (Mn)	3	8,6	3	8,6	6	17,1	6	17,1	8	22,9	6	17,1	9	25,7	6	17,1	9	25,7	35
15 Vanadium (V)	4	10,5	4	10,5	6	15,8	6	15,8	7	18,4	8	21,1	9	23,7	8	21,1	9	23,7	38
16 Zink (Zn)	7	11,5	7	11,5	7	11,5	7	11,5	12	19,7	14	23,0	14	23,0	14	23,0	14	23,0	61
17 chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	10	10,4	11	11,5	11	11,5	11	11,5	22	22,9	20	20,8	22	22,9	20	20,8	22	22,9	96
18 fluorhaltige Verbindungen (als HF)	11	10,6	11	10,6	15	14,4	15	14,4	23	22,1	22	21,2	22	21,2	22	21,2	22	21,2	104
19 org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	7	6,9	12	11,8	16	15,7	16	15,7	23	22,5	22	21,6	22	21,6	22	21,6	22	21,6	102
20 Kohlenmonoxid (CO)	17	11,4	15	10,1	16	10,7	16	10,7	31	20,8	36	24,2	34	22,8	36	24,2	34	22,8	149
23 Kohlendioxid (CO ₂)	17	8,4	20	9,9	31	15,3	31	15,3	45	22,2	44	21,7	46	22,7	44	21,7	46	22,7	203
Summe 1-23	187	[-]	201	[-]	252	[-]	252	[-]	370	[-]	400	[-]	427	[-]	400	[-]	427	[-]	1837
	10,18	[%]	10,94	[%]	13,72	[%]	13,72	[%]	20,14	[%]	21,77	[%]	23,24	[%]	21,77	[%]	23,24	[%]	100,00

▲ Tabelle 2: Anzahl der in die Datenerfassung aufgenommenen Einzelmessungen der 13 osterreichischen Zementwerke fur den Vergleichszeitraum 1988-1993 (exklusive Werte aus der kontinuierlichen Meßdatenerfassung)

5. Ergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle 3 werden für alle 13 österreichischen Zementwerke

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

zusammengefaßt (Gesamtübersichtsbogen über den Vergleichszeitraum von 1988 bis 1993) und in den anschließenden Diagrammen graphisch aufbereitet.

Tabelle 3:

GESAMTÜBERSICHT

I Anlagendaten	
Anlagenzahl	Österreichweit sind 5 Lepolöfen mit 1.053.000, 9 WT-DO mit 2.682.000 sowie 3 WT-DO + Kalzinator mit 1.536.000 t/a betriebsbereit
Klinkerkapazität / [t/a]	mit der installierten Gesamtanlagenkapazität von ca. 5.271.000 t/a wurden die unter II angeführten Jahresmengen produziert

II Produktionsdaten		1988	1989	1990	1991	1992	1993
Rohmehleinsatz	[t/a]	5.624.040	5.573.373	5.832.777	5.748.943	6.037.658	5.830.089
Klinkerproduktion	[t/a]	3.545.337	3.525.452	3.693.539	3.635.462	3.820.397	3.678.293
Zementproduktion	[t/a]	4.540.112	4.534.945	4.679.409	4.821.480	4.822.304	4.858.012
Ofenbetriebsstunden	[h _{OB} /a]	83.228	83.855	86.708	84.775	88.473	83.794
Rohmehlfaktor	[t _{RM} /t _{KL}]	1,59	1,58	1,58	1,58	1,58	1,58
Klinkerfaktor	[t _K /t _{ZB}]	0,78	0,78	0,79	0,75	0,79	0,76

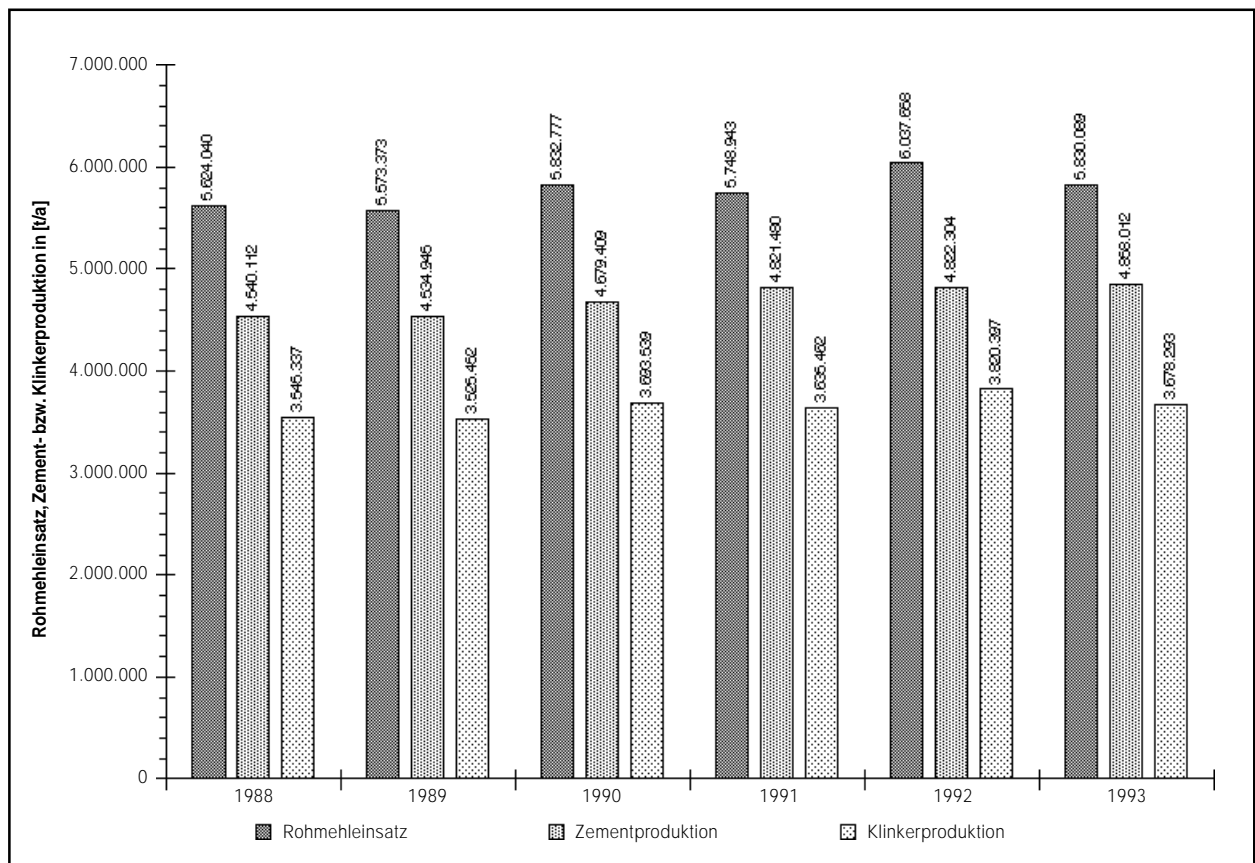
III Konventionelle Energieträger (KET)		1988			1989			1990			1991			1992			1993		
		Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]
A) Steinkohle		28,09	178.770	5.021.338	28,42	198.585	5.644.685	28,78	199.080	5.729.304	28,72	174.940	5.023.869	27,91	223.218	6.230.010	29,03	165.581	4.806.472
B) Braunkohlenstaub		21,93	25.679	563.262	21,79	21.043	458.551	21,83	23.439	511.673	21,81	23.110	504.046	21,92	6.496	142.392	21,92	76	1.666
D) Petrolkoks		34,30	29.180	1.000.786	34,30	22.295	764.652	34,30	17.195	589.737	34,30	17.142	587.919	34,30	19.368	664.264	34,30	15.949	547.003
E) Heizöl L (0,2 m% S)		41,89	144	6.032	41,83	377	15.770	42,00	418	17.556	42,00	304	12.768	42,00	499	20.958	42,00	400	16.800
F) Heizöl M (0,6 m% S)			0	0		0	0	41,20	200	8.240	41,20	409	16.851	41,20	1.679	69.175	41,20	894	36.833
G) Heizöl S (1,0-2,5 m% S)		40,13	108.206	4.342.313	40,12	96.753	3.882.173	40,11	96.252	3.860.938	40,12	106.280	4.263.781	40,01	90.394	3.617.044	40,07	122.349	4.902.021
I) Erdgas / [1000m ³ (Vn)/a]; Hu / [MJm ⁻³ (Vn)]		36,01	22.795.153	820.862.868	36,01	22.379.753	805.901.883	36,01	22.886.422	824.136.467	36,00	14.297.580	514.775.035	36,00	16.147.215	581.300.564	36,00	16.050.749	577.828.985
J) sonstige			0	0		0	0		0	0		0	0		0	0		0	0
Summe A) bis J)				11.754.594			11.571.732			11.541.584			10.924.009			11.325.144			10.888.624

IV Ersatzbrennstoffe (EBS)		1988			1989			1990			1991			1992			1993		
		Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]	Hu / [MJ/kg]	[t/a]	[GJ/a]
K) Altreifen		25,16	29.567	743.848	25,29	30.641	775.041	25,29	31.292	791.347	25,21	30.554	770.139	25,37	32.206	817.042	25,27	32.007	808.811
L) Kunststoffabfälle			0	0		0	0		0	0		0	0		0	0	31,01	242	7.504
M) Altöl		39,25	64	2.498	40,35	3.348	135.087	39,84	11.716	466.766	38,67	22.069	853.384	38,72	24.141	934.771	36,69	21.273	780.460
N) Lösungsmittel			0	0	37,61	147	5.529	31,97	594	18.993	33,05	255	8.427	34,63	1.921	66.530	34,66	4.755	164.795
O) Tallölpech			0	0		0	0		0	0		0	0	35,70	167	5.978	35,70	179	6.408
P) Papierrestfaserstoff			0	0		0	0	3,14	7.660	24.052	3,14	8.511	26.725	3,14	13.733	43.122	3,14	13.808	43.357
Q) sonstige		1,26	6.897	8.663	1,26	8.141	10.225	1,26	8.160	10.249	1,26	5.163	6.485	1,26	6.635	8.334	1,26	6.304	7.918
Summe K) bis Q)				755.009			925.882			1.311.407			1.665.160			1.875.776			1.819.254

V Energieeinsatz		1988	1989	1990	1991	1992	1993
a) Σ Energieeinsatz (KET)	[GJ/h _{OB}]	141,2	138,0	133,1	128,9	128,0	129,9
b) Σ Energieeinsatz (EBS)	[GJ/h _{OB}]	9,1	11,0	15,1	19,6	21,2	21,7
Summe a) u. b)	[GJ/h _{OB}]	150,3	149,0	148,2	148,5	149,2	151,7
EBS-Anteil an (III+IV)	[%]	6,0	7,4	10,2	13,2	14,2	14,3
spez. Energieeinsatz	[GJ/t _{Klinker}]	3,53	3,54	3,48	3,46	3,46	3,45

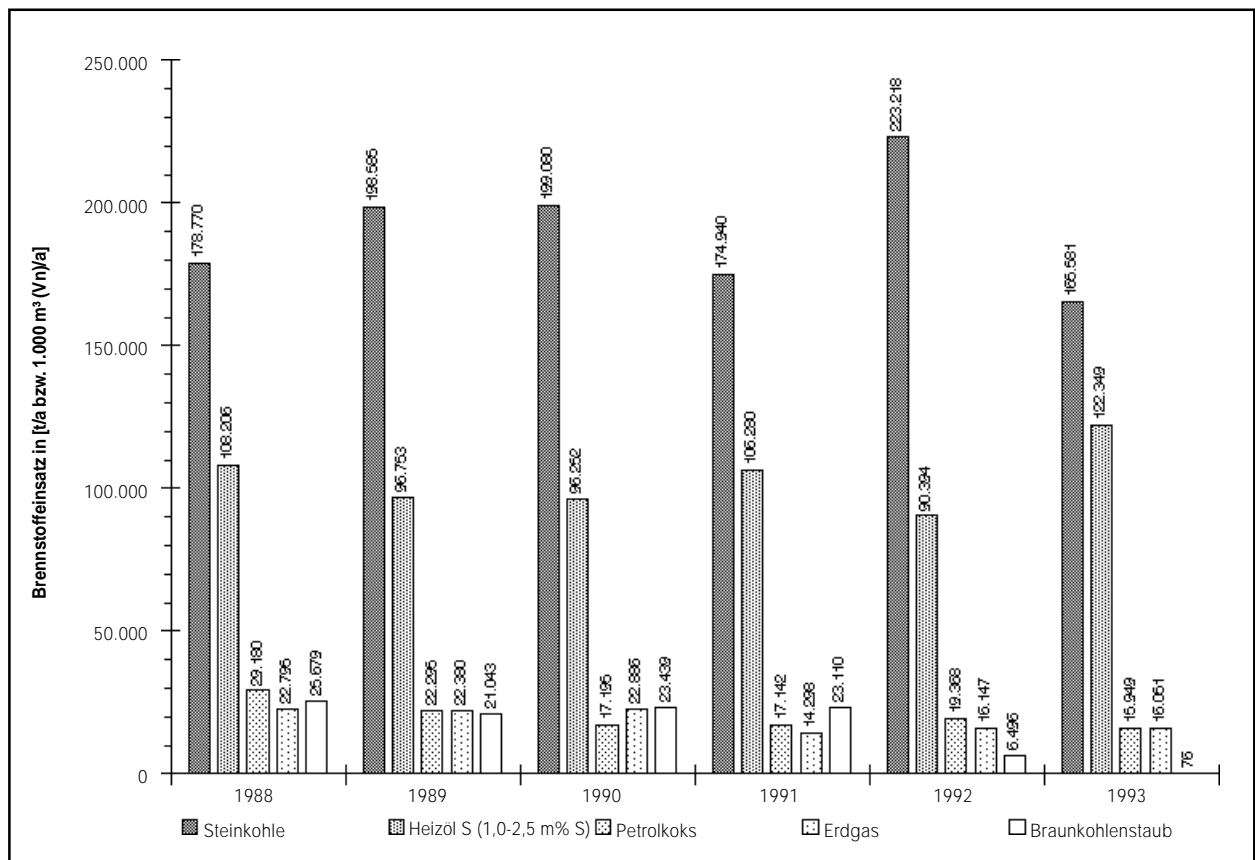
VI Sekundärrohstoffe		1988	1989	1990	1991	1992	1993
LD - Schlacke	[t/a]	32.363	37.791	38.942	37.718	41.201	27.888
Gießereialsand	[t/a]	40	180	3.318	3.654	1.817	3.938
sonstige	[t/a]	38.810	24.352	19.079	23.721	47.966	57.258

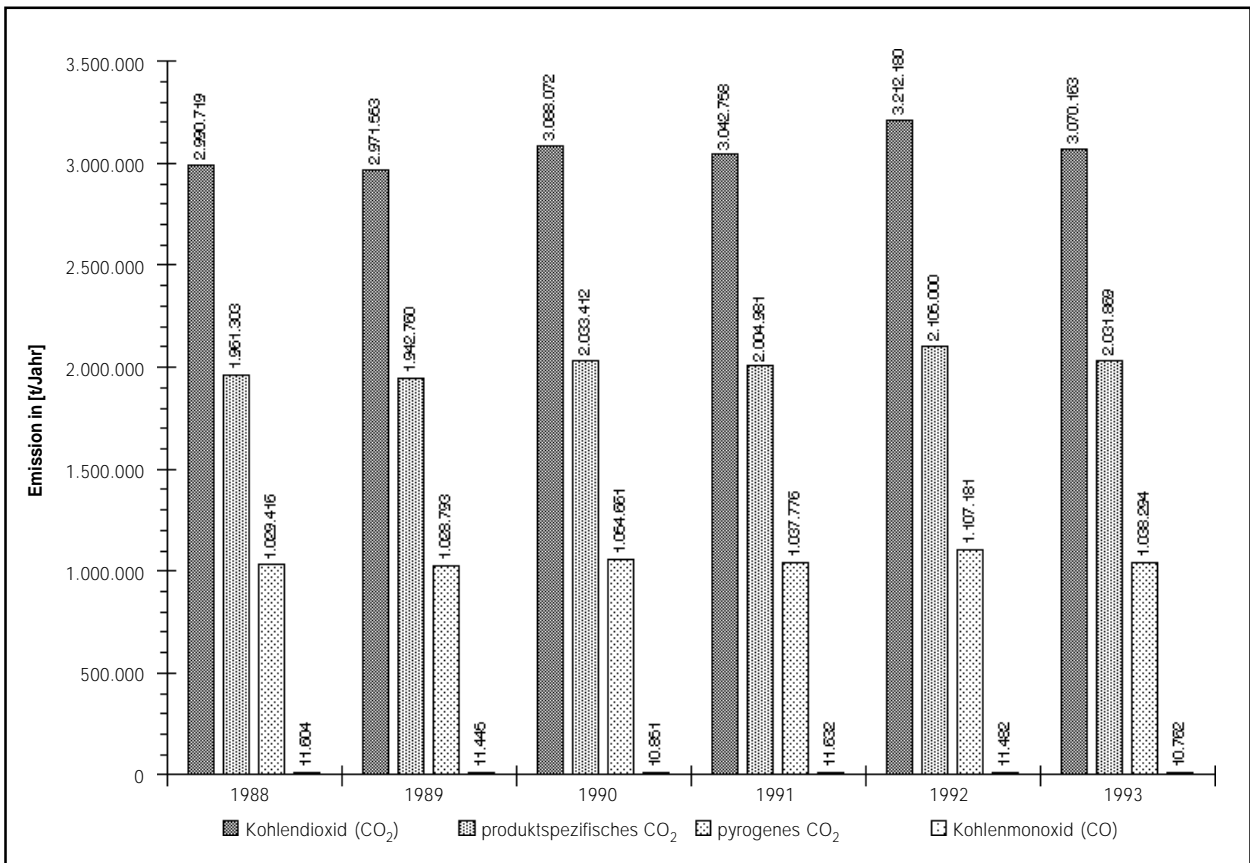
VII	Sekundärzumahistoffe		1988		1989		1990		1991		1992		1993	
		[l/a]	539,121	547,714	559,708	569,528	577,204	585,528	593,121	601,214	609,307	617,400	625,493	633,586
	Hocholenschlacke	[l/a]	21,423	21,157	21,184	21,157	21,184	21,157	21,184	21,157	21,184	21,157	21,184	21,157
	REA - Gips	[l/a]	116,196	113,643	116,537	117,418	118,301	119,184	120,067	120,950	121,833	122,716	123,600	124,483
	Flugasche	[l/a]	0	707	194	0	0	0	0	0	0	0	0	
	sonstige	[l/a]												
	Summe		1.376,00	1.168,470	1.168,470	1.168,470	1.168,470	1.168,470	1.168,470	1.168,470	1.168,470	1.168,470	1.168,470	
VIII	Abgasparameter		1988		1989		1990		1991		1992		1993	
	Bez.-O ₂ / O ₂ gemessen	[Vol.-%]	10,00	10,05	10,10	10,15	10,18	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	10,20	
	Abgasmenge (trocken)	[1000m ³ (Vn)/h _{gel}]	1,373,420	1,375,752	1,375,752	1,375,752	1,375,752	1,375,752	1,375,752	1,375,752	1,375,752	1,375,752	1,375,752	
IX	Emissionsrelevante Daten		1988		1989		1990		1991		1992		1993	
			E-faktor	Massenstrom	E-faktor	Massenstrom	E-faktor	Massenstrom	E-faktor	Massenstrom	E-faktor	Massenstrom	E-faktor	Massenstrom
			[g/t _{z,a}]	[t/a]	[g/t _{z,a}]	[t/a]	[g/t _{z,a}]	[t/a]	[g/t _{z,a}]	[t/a]	[g/t _{z,a}]	[t/a]	[g/t _{z,a}]	[t/a]
1	Staubförmige Emissionen		46,20	208,792	59,2	151,635	43,6	152,078	41,9	149,807	41,3	156,670	43,3	140,110
2	Stickstoffoxide (als NO ₂)		1,376,00	6,218,588	1,762,1	6,135,114	1,763,9	6,486,126	1,785,6	6,304,583	1,794,1	6,495,388	1,794,1	6,315,259
3	Schwefeldioxid (SO ₂)		258,55	1,168,470	331,1	1,231,240	354,0	1,101,068	303,1	1,081,855	292,4	1,033,140	285,4	929,549
4	Cadmium (Cd)		0,008472	0,038289	0,010850	0,033934	0,009756	0,042814	0,011786	0,038072	0,010485	0,027389	0,007565	0,010921
5	Thallium (Tl)		0,009811	0,044337	0,012563	0,029274	0,008416	0,032670	0,008994	0,039129	0,010777	0,007545	0,009524	0,011919
6	Beryllium (Be)		0,000850	0,003839	0,001088	0,003825	0,001100	0,004080	0,001123	0,003856	0,001062	0,000905	0,001142	0,000862
	Summe 4-6		0,019132	0,086466	0,024501	0,079733	0,019272	0,079563	0,021903	0,081057	0,022324	0,014443	0,020389	0,069315
7	Arsen (As)		0,003969	0,017939	0,005083	0,004225	0,005434	0,017619	0,004850	0,017605	0,004849	0,002494	0,003147	0,004747
8	Cobalt (Co)		0,031510	0,142405	0,040352	0,030671	0,039454	0,151007	0,041571	0,148603	0,040376	0,034723	0,033757	0,164434
9	Nickel (Ni)		0,003630	0,016405	0,004649	0,003242	0,004170	0,034570	0,009517	0,017232	0,004746	0,002518	0,011506	0,002844
10	Blei (Pb)		0,020802	0,094012	0,026639	0,020576	0,026467	0,109741	0,030211	0,176111	0,048503	0,032182	0,015304	0,074546
	Summe 7-10		0,059912	0,270762	0,076722	0,058713	0,075526	0,312937	0,086149	0,357551	0,098474	0,071916	0,056652	0,275959
11	Quecksilber (Hg)		0,013018	0,058832	0,016671	0,014362	0,018474	0,062163	0,017113	0,013491	0,017892	0,013794	0,013189	0,064247
12	Chrom (Cr)		0,008861	0,031009	0,008787	0,006633	0,029679	0,048210	0,013272	0,008743	0,011595	0,006330	0,006421	0,031280
13	Selen (Se)		0,000195	0,000882	0,000250	0,000195	0,000251	0,000956	0,000263	0,000187	0,000248	0,000196	0,000186	0,000906
14	Mangan (Mn)		0,049052	0,221681	0,062815	0,049669	0,063891	0,229601	0,063207	0,232284	0,063974	0,050632	0,231387	0,049689
15	Vanadium (V)		0,020954	0,094698	0,026833	0,021192	0,094815	0,098048	0,026992	0,10913	0,030547	0,023259	0,019904	0,096956
16	Zink (Zn)		0,106003	0,479062	0,135746	0,104964	0,135020	0,476168	0,131086	0,129038	0,171135	0,119336	0,118589	0,577659
	Summe 11-16		0,196083	0,888164	0,251101	0,197015	0,253429	0,915146	0,251833	0,222728	0,295590	0,212547	0,268288	0,270797
	Summe Spurenelemente (4-16)		0,275127	1,243392	0,352325	1,211202	0,348226	1,307646	0,359985	1,511143	0,416189	0,298907	0,377296	1,388362
17	Chlorverbindungen (als HCl)		3,882	17,545	4,972	17,799	5,117	17,003	4,681	17,915	4,934	19,445	5,371	19,787
18	Fluorverbindungen (als HF)		0,376	1,699	0,482	1,427	0,410	1,669	0,459	1,775	0,489	1,845	0,510	1,831
19	org. Gesamtkohlenstoff (TOC)		50,600	228,677	64,797	229,477	65,976	236,031	64,977	229,462	63,197	234,871	64,872	240,663
20	Kohlenmonoxid (CO)		2,567,7	11,604,234	3,288,1	11,445,050	3,290,5	10,851,054	2,987,2	11,631,694	3,203,5	11,482,134	3,171,4	10,761,789
23	ber.pyrogenes CO ₂		227,780,5	1,029,416	291,692,8	1,028,793	295,783,0	1,054,661	290,340,1	1,037,776	285,817,2	1,107,181	305,807,8	213,154,1
24	ber.CO ₂ (Decarbonatisierung)		433,980,8	1,961,303	555,750,1	1,942,760	558,552,8	2,033,412	559,783,0	2,004,981	552,197,9	2,105,000	581,409,6	417,127,6
	Summe 23-24		661,761,3	2,990,718,7	847,442,8	2,971,553	854,335,8	3,088,072	858,123,2	3,042,758	838,015,1	702,884,5	887,217,5	630,281,7



▲ Abbildung 4: Rohmehleinsatz, Zement- bzw. Klinkerproduktion der österreichischen Zementindustrie im Vergleichszeitraum von 1988 -1993

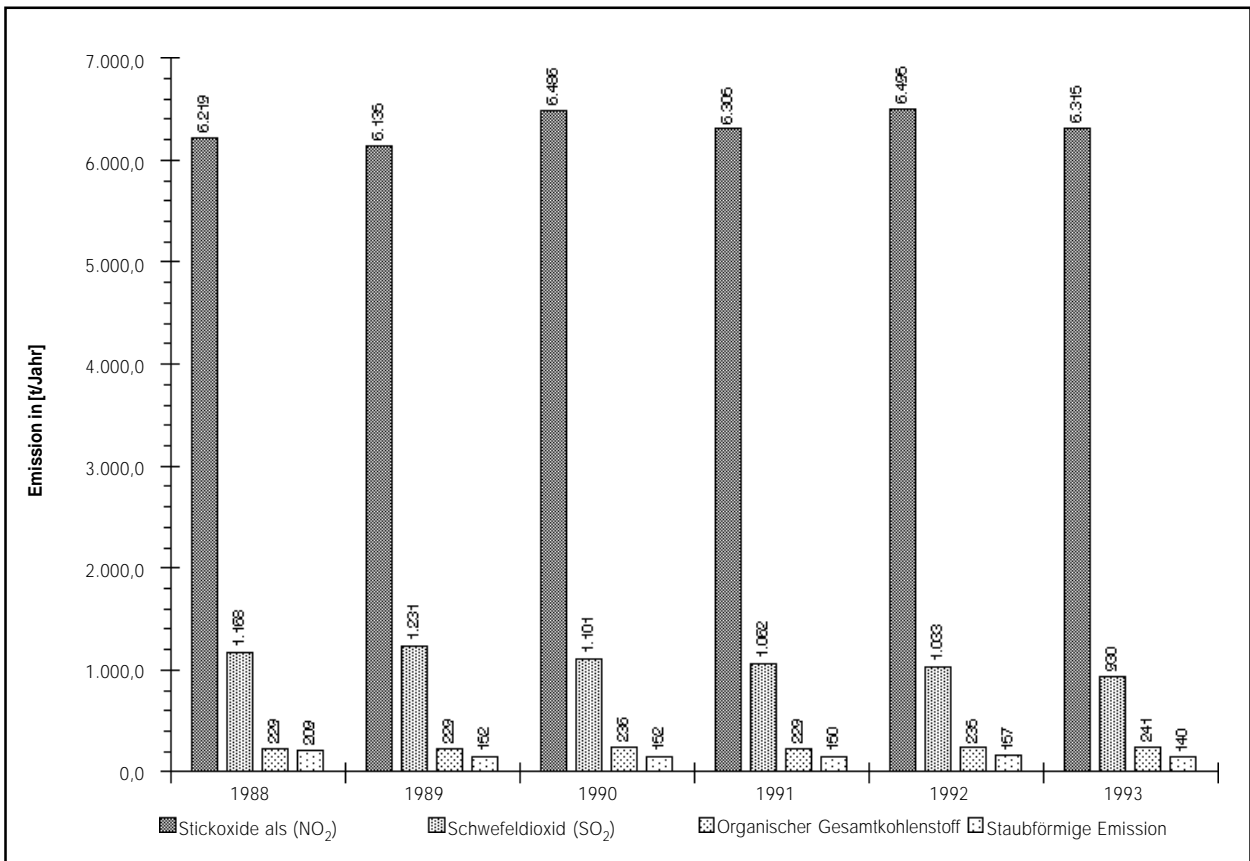
▼ Abbildung 5: Einsatzmengen konventioneller Brennstoffe in der österreichischen Zementindustrie im Vergleichszeitraum von 1988 -1993

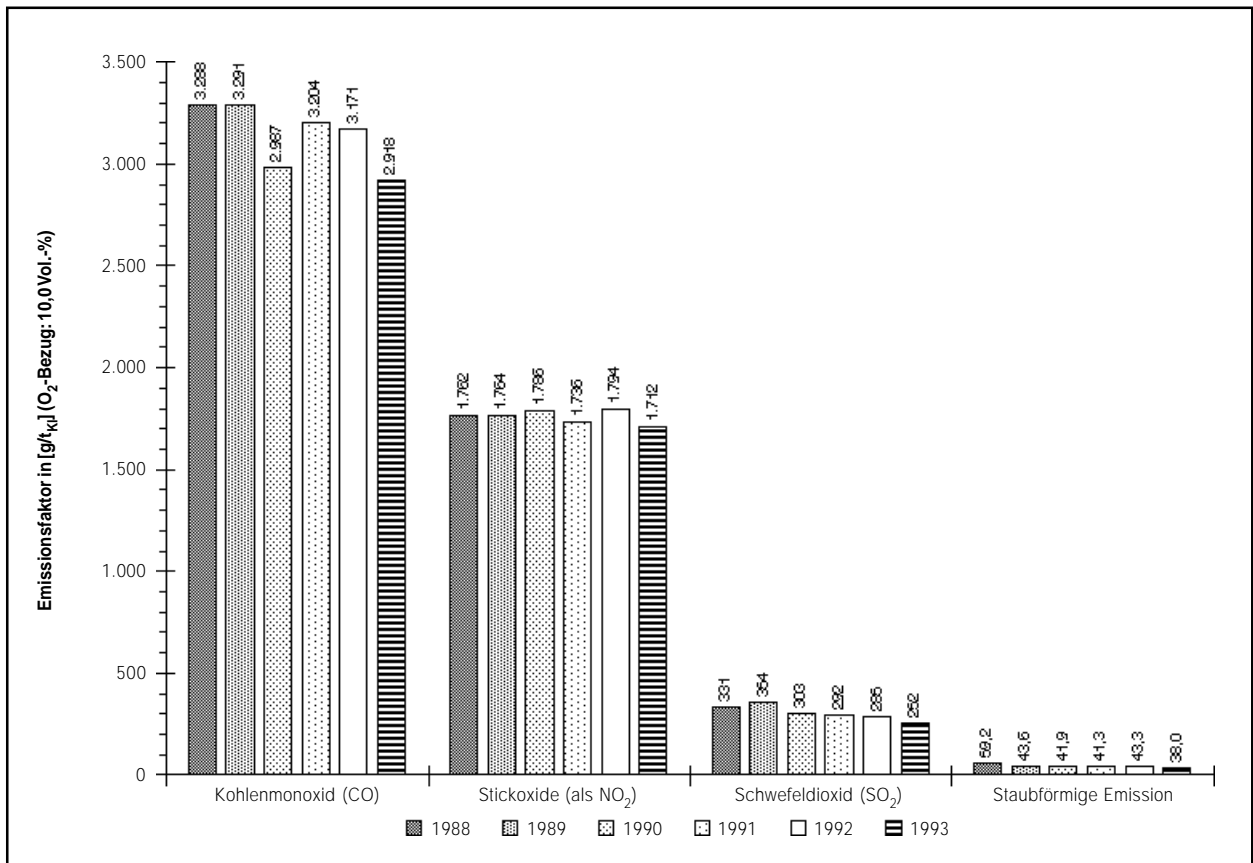




▲ **Abbildung 6:** Jährliche Emissionen an Kohlendioxid und Kohlenmonoxid aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie, im Vergleichszeitraum von 1988 - 1993

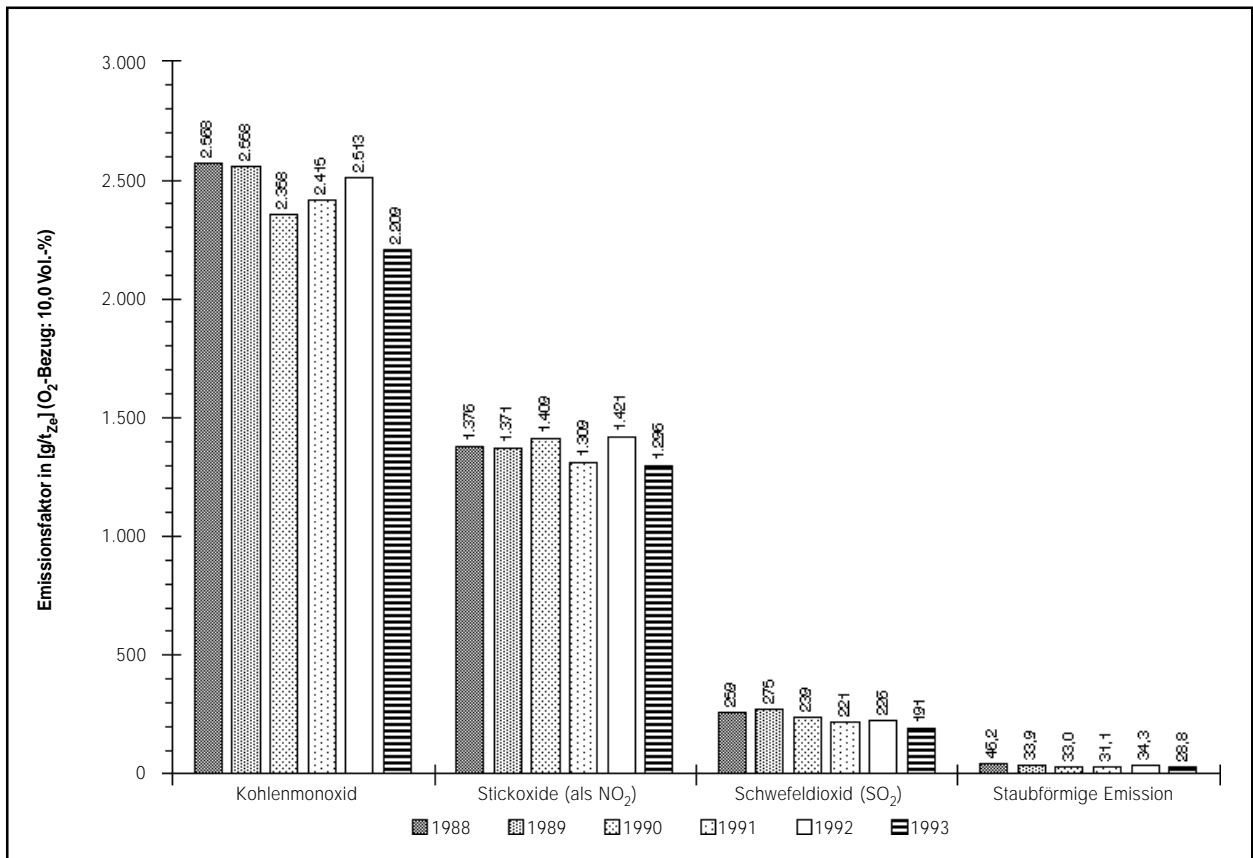
▼ **Abbildung 7:** Jährliche Emissionen an Stickoxiden (als NO₂), an Schwefeldioxid, an organischem Gesamtkohlenstoff und an Staub aus österreichischen Zementwerken (1988 - 1993)

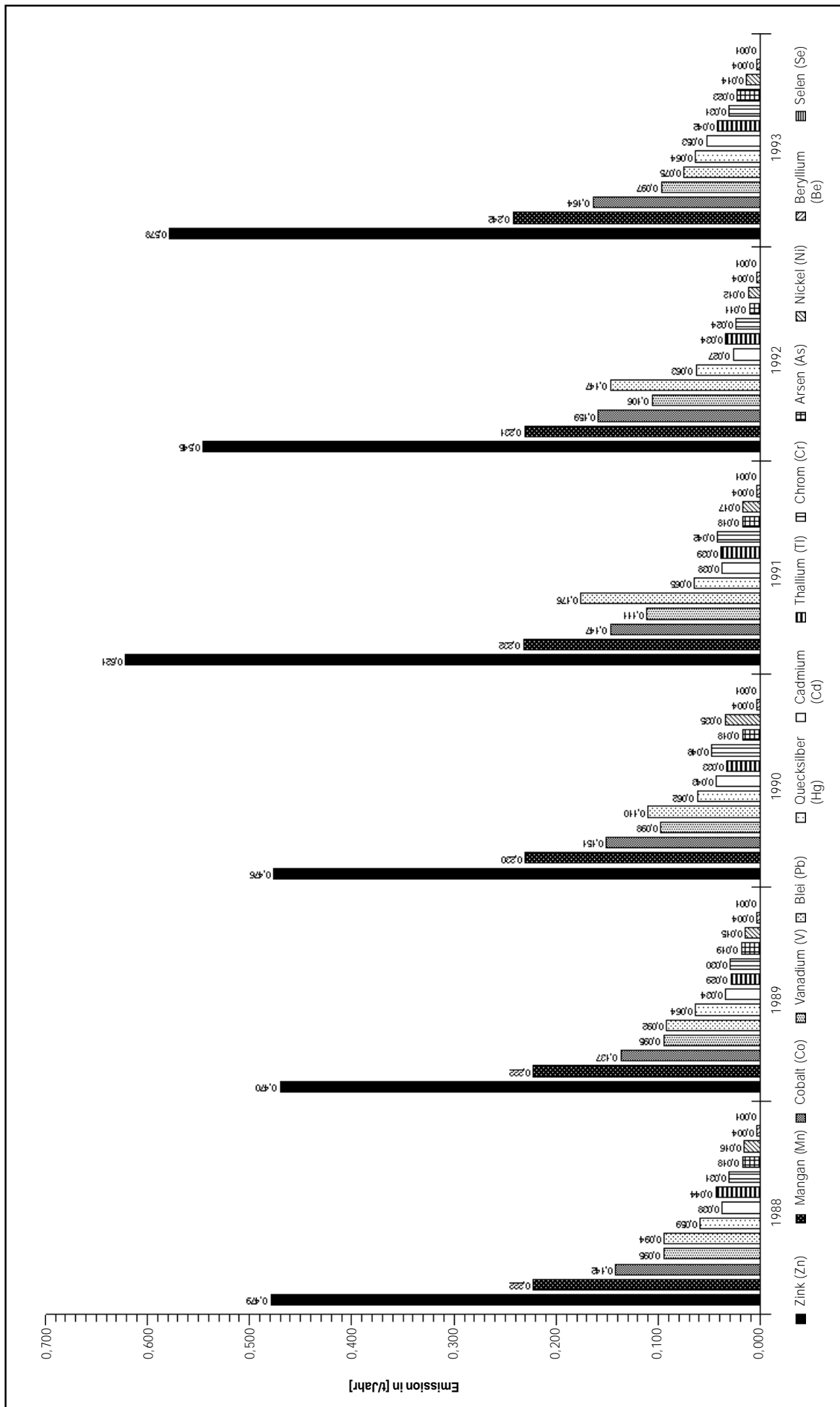




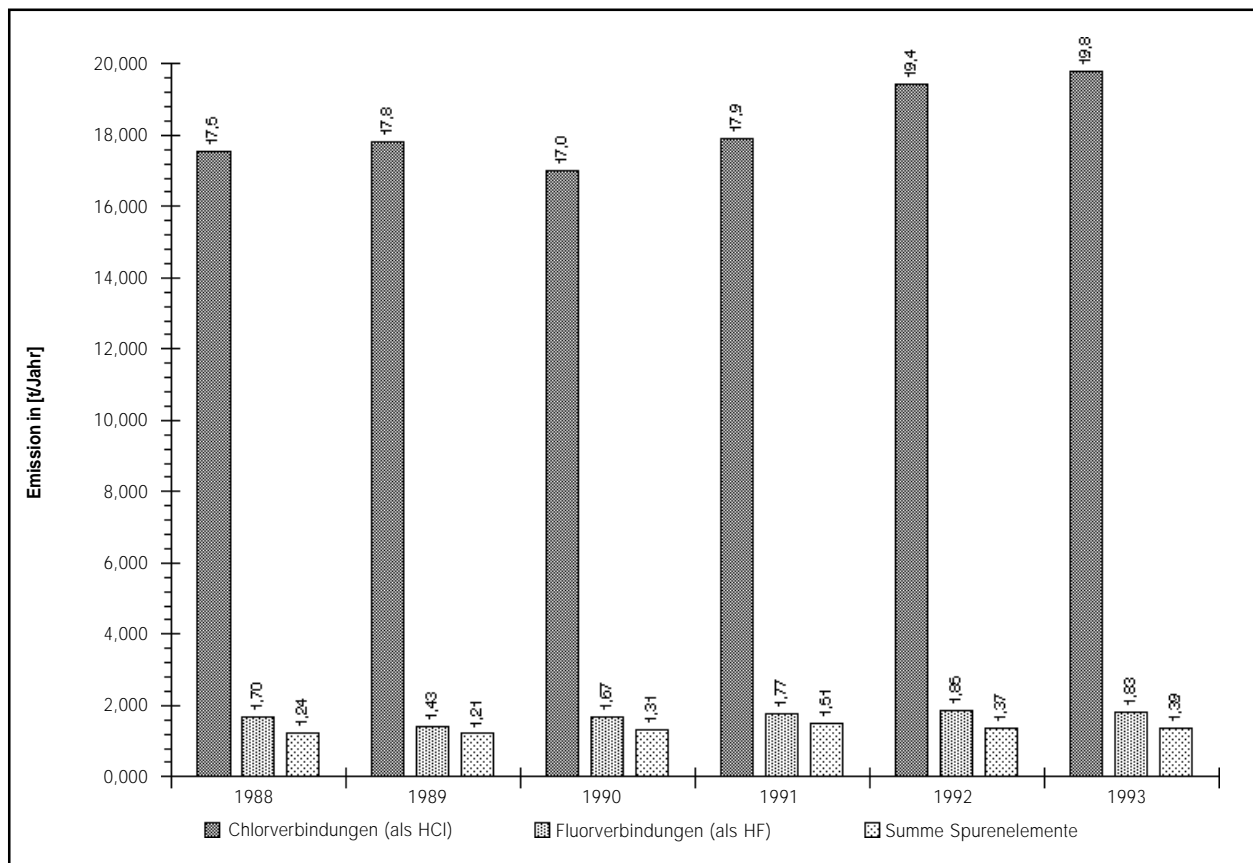
▲ **Abbildung 8:** Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stick-oxide (als NO₂), für Schwefeldioxid und für Staub bezogen auf 1 t Klinker (Bezugssauerstoffkonzentration: 10,0 Vol.-%)

▼ **Abbildung 9:** Verlauf der jährlichen, spezifischen Emissionsmassenströme (Emissionsfaktoren) für Kohlenmonoxid, für Stick-oxide (als NO₂), für Schwefeldioxid und für Staub bezogen auf 1 t Zement (Bezugssauerstoffkonzentration: 10,0 Vol.-%)





▲ Abbildung 10: Emissionen diverser Spurenelemente aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie, im Vergleichszeitraum von 1988 - 1993



▲ **Abbildung 11:** Jährliche Emissionen an chlor- und fluorhaltigen Verbindungen (als HCl bzw. HF) sowie die jährlichen Gesamtemissionen an Spurenelementen im Vergleichszeitraum von 1988 -1993

▼ **Tabelle 4:** Streubreite der mittleren Emissionskonzentrationen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie für das Jahr 1993 (Bezugssauerstoffkonzentration: 10,0 Vol.-%)

Schadstoff	mittlere Emissionskonzentration [mg/m ³ (Vn)trocken]	maximale Emissionskonzentration [mg/m ³ (Vn)trocken]	minimale Emissionskonzentration [mg/m ³ (Vn)trocken]
Staubförmige Emissionen	16,79	44,25	1,00
Stickstoffoxide (als NO ₂)	739,31	1.200,00	286,90
Schwefeldioxid (SO ₂)	98,15	729,00	9,25
Kohlenmonoxid (CO)	1.348,21	3.751,00	61,50
As, Co, Ni, Pb (insgesamt)	0,025743	0,105984	0,002042
Cadmium (Cd)	0,004586	0,029081	0,000100
Thallium (Tl)	0,004697	0,022180	0,000208
Quecksilber (Hg)	0,006635	0,017250	0,000140
Beryllium (Be)	0,000457	0,001264	0,000026
chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	2,190	9,793	0,770
fluorhaltige Verbindungen (als HF)	0,230	0,698	0,147
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	28,086	93,563	0,900

In Tabelle 4 wird die Streubreite für die von den einzelnen Werken erhobenen Emissionsdaten - maximaler und minimaler Wert - dargestellt und der aus den 13 Einzelwerten sich ergebende arithmetische Mittelwert für das Jahr 1993 angegeben.

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

Für schwingende Prozeßabläufe sind daher Emissionsgrenzwerte auf der Basis von Halbstundenmittelwerten wesentlich schwieriger einzuhalten als solche auf 3-Stunden- oder 8-Stunden-Basis.

Der Vergleich zwischen maximalen und minimalen Werten zeigt eine Streubreite, die mit Ausnahme von Fluorverbindungen (als HF), im Bereich von ein bis zwei Zehnerpotenzen liegt. Die Höhe der mittleren Emissionskonzentrationswerte zeigt, daß die Mehrheit der erfaßten Einzelwerte näher, zum Minimalwert liegt und die Maximalwerte der einzelnen Schadstoffe meist isoliert aus dem Bereich der wesentlich tiefer liegenden übrigen Werte herausragen.

Aus der in Tabelle 5 zusammengestellten Übersicht über die pyrogenen Emissionen der Zementindustrie der Jahre 1988 bis 1993 können folgende Entwicklungen erkannt werden.

▼ **Tabelle 5:** Emissionen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (1988 - 1993)

Vergleichsjahr	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Komponente	Emission [t / Jahr]	Emission [t / Jahr]	Emission [t / Jahr]	Emission [t / Jahr]	Emission [t / Jahr]	Emission [t / Jahr]
Staub	208,79	151,64	152,08	149,81	156,67	140,11
Stickstoffoxide (als NO ₂)	6.218,59	6.135,11	6.486,13	6.304,58	6.495,39	6.315,26
Schwefeldioxid (SO ₂)	1.168,47	1.231,24	1.101,07	1.061,86	1.033,14	929,55
chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	17,55	17,80	17,00	17,92	19,45	19,79
fluorhaltige Verbindungen (als HF)	1,70	1,43	1,67	1,78	1,85	1,83
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	228,68	229,48	236,03	229,46	234,87	240,66
Kohlenmonoxid (CO)	11.604,23	11.445,05	10.851,05	11.631,69	11.482,13	10.761,79
pyrogenes Kohlendioxid (CO ₂)	1.029.416	1.028.793	1.054.661	1.037.776	1.107.181	1.038.294
(Schwer-)Metalle	1,24	1,21	1,31	1,51	1,37	1,39

Für Staub hat eine starke Reduktion der Emissionen stattgefunden, die sich, bezogen auf den Vergleich 1993 mit 1988, in einer Absenkung um rund 33% ausdrückt. Auch bei SO₂ konnte eine systematische Verminderung erreicht werden, die über den Vergleichszeitraum gerechnet rund 20% beträgt.

Bei den Komponenten Stickoxide und Kohlenmonoxid zeigen die einzelnen Jahre schwankende Werte, die über den Vergleichszeitraum gesehen eine nicht signifikante Zunahme in der Größenordnung von 1% ergeben. Gleiches gilt für die Emission von pyrogenem Kohlendioxid.

Die Emissionen an TOC-Verbindungen zeigen eine leichte Zunahme um rund 5%. Eine stärkere Zunahme ergibt sich bei Halogenverbindungen, bei welchen für chlorhaltige Verbindungen (als HCl) eine Zunahme um rund 13%, für fluorhaltige Verbindungen (als HF) eine solche um rund 7,5% resultiert.

Für die Summe der Schwermetalle liegt auf Grund der kalkulierten Jahreswerte eine absolute Erhöhung um rund 150 kg vor, die prozentuell eine Steigerung um 12% bedeutet. Dazu ist jedoch zu ergänzen, daß dies auch eine relativ starke Steigerung des Zinkanteiles einschließt. Hat der Zinkanteil 1988 38,5% betragen, so ist dieser Anteil 1993 auf rund 41,6% gestiegen.

Die vorstehend kommentierten Ergebnisse beziehen sich auf die Gesamtproduktion und sind daher auch abhängig von der jeweiligen Höhe der Jahresproduktion. Eine systematischere, emissionstechnisch sinnvollere Aussage läßt sich aus den auf eine Masseneinheit des Produktes bezogenen Emissionsfaktoren (g/t) ableiten. In Tabelle 6 sind daher die auf die Tonne Endprodukt (Zement) bezogenen Emissionsfaktoren zusammengestellt.

▼ **Tabelle 6:** Auf die Tonne Zement bezogene Emissionsfaktoren diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie für die Vergleichsjahre 1988 und 1993

Vergleichsjahr	1988	1993	
Komponente	Emissionsfaktor [g / t _{Zement}]	Emissionsfaktor [g / t _{Zement}]	Veränderung [%]
Staub	46,20	28,76	-37,75
Stickstoffoxide (als NO ₂)	1.376,00	1.296,48	- 5,78
Schwefeldioxid (SO ₂)	258,55	190,83	-26,19
chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	3,882	4,062	+ 4,64
fluorhaltige Verbindungen (als HF)	0,376	0,376	± 0,00
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	50,600	49,406	- 2,36
Kohlenmonoxid (CO)	2.567,7	2.209,3	-13,96
pyrogenes Kohlendioxid (CO ₂)	227.780,5	213.154,1	- 6,42
(Schwer-)Metalle	0,275127	0,285020	+ 3,60
(Zink)	(0,106003)	(0,118589)	(+11,87)

Vergleicht man die Werte des Jahres 1993 mit jenen des Jahres 1988 so zeigen sich, mit Ausnahme von Chlorverbindungen und Summe der Schwermetalle bei allen Komponenten verringerte Werte. Die Prozente der verringerten spezifischen Emissionen reichen von 2,4% bei TOC über 5,8% bei NO_x , 6,4% bei pyrogenem CO_2 und 14% bei CO bis 26,2% bei SO_2 und 37,8% bei Staub. Bei einem unveränderten Wert für Fluorverbindungen (als HF) zeigen chlorhaltige Verbindungen (als HCl) eine Zunahme um 4,6%. Bei der Summe der Schwermetalle zeigt sich eine Erhöhung um rund 3,6%, worin für Zink mit einer Steigerung um 12% ein Anteil von fast 42% am Gesamtfaktor der Schwermetalle enthalten ist.

Zusammenfassend folgt daraus, daß durch logistische, verfahrenstechnische und stoffbezogene Maßnahmen spezifische Emissionsvermindierungen in unterschiedlichem Ausmaß für fast alle erfaßten Emissionskomponenten erzielt wurden, die sich jedoch nicht auf Chlorverbindungen und die Summe der Schwermetalle erstrecken konnten. Potentiale für weitere Absenkung von Emissionen werden in Kapitel (8) besprochen.

6. Beitrag zu Gesamtemissionen

Im folgenden wird der spezifische Beitrag der Emissionen der Zementindustrie zu den Gesamtemissionen der österreichischen Industrie sowie zu den Emissionen aller vier Emittentengruppen, i.e. Kraft- und Wärmewerke, Verkehr, Kleinverbraucher, Industrie, dargestellt [2,3].

Auf Grund der nicht kompletten Verfügbarkeit von für die Vergleiche heranzuziehenden Daten, werden für die Vergleiche mit der Gesamtindustrie sowie mit den österreichischen Gesamtemissionen die Jahre 1988, 1990 und 1992 zugrunde gelegt (Tab. 7).

▼ **Tabelle 7:** Anteil der Zementindustrie an den Emissionen der gesamten Industrie in Österreich für die Vergleichsjahre 1988, 1990 und 1992

Vergleichsjahr	1988			1990			1992		
	Gesamte Industrie [t]	Zement-industrie [t]	Zement-industrie [%]	Gesamte Industrie [t]	Zement-industrie [t]	Zement-industrie [%]	Gesamte Industrie [t]	Zement-industrie [t]	Zement-industrie [%]
Schwefeldioxid (SO ₂)	66.000	1.169	1,77	49.500	1.101	2,22	35.400	1.033	2,92
Stickoxide (als NO ₂)	43.000	6.219	14,46	49.200	6.486	13,18	40.400	6.495	16,08
Staub	15.000	209	1,39	13.600	152	1,12	-	157	-
Kohlenmonoxid (CO)	240.000	11.604	4,84	268.000	10.851	4,05	220.000	11.482	5,22
TOC	40.000	229	0,57	18.300	236	1,29	31.700	235	0,74
Kohlendioxid (CO ₂)	14.700.000	2.991.000	20,35	13.200.000	3.088.000	23,40	13.800.000	3.212.000	23,28

▼ **Tabelle 8:** Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Gesamtemission (bezogen auf 1 t Zement) im Zeitraum von 1988 bis 1993

Vergleichsjahr	Zementproduktion [t]	CO ₂ -Gesamtemission [t]	spez. CO ₂ -Emission [kg CO ₂ /t _(Zement)]	spez. CO ₂ -Emission [%]
1988	4.540.112	2.990.719	659	100,00
1989	4.534.945	2.971.553	655	99,39
1990	4.679.409	3.088.072	660	100,15
1991	4.821.480	3.042.758	631	95,75
1992	4.822.304	3.212.180	666	101,06
1993	4.858.012	3.070.163	632	95,90

▼ **Tabelle 9:** Entwicklung der pyrogenen und der spezifischen pyrogenen Kohlendioxidemission (bezogen auf 1 t Zement) im Zeitraum von 1988 bis 1993

Vergleichsjahr	pyrogenes CO ₂ [t]	pyrogenes CO ₂ [%]	spez.pyr. CO ₂ -Emission [kg CO ₂ /t _(Zement)]	spez.pyr. CO ₂ -Emission [%]
1988	1.029.416	100,00	226,7	100,00
1989	1.028.793	99,94	226,9	100,09
1990	1.054.661	102,45	225,4	99,43
1991	1.037.776	100,81	215,2	94,93
1992	1.107.181	107,55	229,6	101,28
1993	1.038.294	100,86	213,7	94,27

▼ **Tabelle 10:** Anteil der Emissionen zementherzeugender Anlagen an den österreichischen Gesamtemissionen für die Vergleichsjahre 1988, 1990 und 1992

Vergleichsjahr	1988			1990			1992		
	Österreich [t]	Zement-industrie [t]	Zement-industrie [%]	Österreich [t]	Zement-industrie [t]	Zement-industrie [%]	Österreich [t]	Zement-industrie [t]	Zement-industrie [%]
Schwefeldioxid (SO ₂)	122.200	1.169	0,96	92.500	1.101	1,19	75.900	1.033	1,36
Stickoxide (als NO ₂)	225.700	6.219	2,76	225.400	6.486	2,88	200.800	6.495	3,23
Staub	39.000	209	0,54	38.200	152	0,40	-	157	-
Kohlenmonoxid (CO)	1.577.000	11.604	0,74	1.682.400	10.851	0,65	1.413.600	11.482	0,81
TOC	431.500	229	0,05	415.100	236	0,06	402.600	235	0,06
Kohlendioxid (CO ₂)	55.971.000	2.991.000	5,34	61.523.000	3.088.000	5,02	59.325.000	3.212.000	5,41

Symbolik: * für CO₂: Vergleich der pyrogenen und prozeßbezogenen Emission der Zementindustrie mit der österreichweiten pyrogenen und prozeßbedingten CO₂-Gesamtemission; für die anderen Schadstoffe: Vergleich ausschließlich der pyrogenen Emissionen aus den Anlagen der österreichischen Zementindustrie mit den pyrogenen und prozeßspezifischen österreichweiten Gesamtemissionen

Bei der Beurteilung des Vergleiches mit den Emissionen der Gesamtindustrie ist unter anderem auch zu berücksichtigen, daß in den Vergleichsjahren 1988, 1990 und 1992 die Produktion in der Zementindustrie deutlich gestiegen ist, was jedoch nicht in allen Industriesparten der Fall war.

Der in Tabelle 10 dargestellte Anteil der Zementindustrie an den pyrogenen und industrieprozessbezogenen Gesamtemissionen in Österreich zeigt, entsprechend abgeschwächt, ein ähnliches Bild in bezug auf NO_x und CO_2 .

- *Stickoxide*

Beim Emissionsanteil der Zementindustrie an der Gesamtindustrie fällt im Bereich der Schadstoffe der relativ starke Anteil der NO_x -Emissionen mit durchschnittlich rund 15% auf. Der NO_x -Rückgang im Bereich Gesamtindustrie ist sowohl auf den verstärkten Einsatz von Brennstoffstickstoff-freiem Erdgas als auch auf den Einsatz von feuerungstechnischen Maßnahmen zurückzuführen.

- *Kohlendioxid*

Von der gesamten CO_2 -Emission aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie entfällt nur rund ein Drittel auf pyrogenes CO_2 , der Hauptanteil von zwei Drittel entsteht prozessbedingt durch die Dekarbonisierung des eingesetzten Kalksteins. Aus der in den Tabellen 8 und 9 dargestellten Entwicklung der spezifischen CO_2 -Gesamt- sowie der spezifischen pyrogenen CO_2 -Emission ist ersichtlich, daß seit 1990 dieser jeweilige Wert - mit Ausnahme von 1992 - um rund 4% bzw. 5% reduziert werden konnte. Dennoch stieg der Anteil der gesamten CO_2 -Emission im Vergleichszeitraum von rund 20% auf 23% der Gesamtindustrie an.

- *Schwefeldioxid*

Der Anteil an der gesamtindustriellen SO_2 -Emission ist von knapp 1,8% auf unter 3% der Gesamtindustrie gestiegen. Dies ist auf einen verstärkten Einsatz von schwefelarmen und schwefelfreien Brennstoffen im industriellen Bereich zurückzuführen. Auf Gesamtösterreich bezogen liegt der Beitrag im Bereich von 1%.

- *Kohlenmonoxid*

Trotz der teilweise hohen CO-Konzentrationen in Abgasen aus zementerzeugenden Anlagen liegt ihr Beitrag zur gesamtindustriellen CO-Emission im Bereich von 5,2%, auf ganz Österreich bezogen deutlich unter 1%.

- *Staubförmige Emission*

Bei Staub ist aufgrund der fehlenden Angaben über staubförmige Emissionen aus österreichischen Industrieanlagen und in weiterer Folge aufgrund der fehlenden Angaben über staubförmige Emissionen der Gesamtindustrie die Datenlage unvollständig. Für den früheren Bezugszeitraum (1988 - 1990) ergeben sich im Bereich der Industrie Beiträge von rund 1,4%, auf rund 1,1%, für ganz Österreich von 0,5% auf 0,4% abnehmend.

- *Organische Verbindungen*

Für organische Verbindungen ist der Anteil der Zementindustrie an der Emission der Gesamtindustrie - sieht man von 1990 ab - weit unter 1% liegend, für Gesamtösterreich in der Größenordnung von hundertstel Prozent.

- *Schwermetalle*

Zur Datenlage im Bereich der Schwermetalle ist festzustellen, daß diese im einzelnen und im gesamten wenig befriedigend ist. Messungen von beispielsweise Quecksilberemissionen, bei welchen dampfförmige und partikelförmige zu erfassen sind, liegen nur von 5 der insgesamt 13 österreichischen Zementwerke vor. In anderen relevanten Branchen der Industrie - mit Ausnahme der thermischen Kraftwerke - ist die Informationsdichte über Schwermetalle ebenfalls klein oder noch schlechter. Für die Emittentengruppen Verkehr und Kleinverbraucher liegen nur sehr grobe Abschätzungen vor. Eine vom Umweltbundesamt erstmals für 1992 durchgeführte, abschätzende Kalkulation in ihren einzelnen Positionen ist als erste Näherung zu betrachten [4]. Für eine bessere Qualität der Emissionsbilanzen sind daher weitere Messungen in allen Bereichen, auch in der Zementindustrie durchzuführen.

In der für das Jahr 1992 erfolgten Abschätzung der in die Luft abgegebenen Gesamtemissionen aus den Emissionsgruppen Kraftwerke, Kleinf Feuerungsanlagen, Verkehr, Industrie, sonstige Quellen wurden die Elemente Blei, Zink, Nickel, Kupfer, Chrom, Selen, Cadmium, Arsen und Quecksilber erfaßt.

Mit Ausnahme von Kupfer, das im Rahmen dieser Studie nicht erfaßt wurde, werden diese Werte des Jahres 1992 mit den relevanten Werten aus der Zementindustrie in Bezug gesetzt und in Tabelle 11 mit den Schwermetallemissionen der gesamten Industrie, in Tabelle 12 mit den gesamtösterreichischen verglichen.

Für die im wesentlichen durch die chemische Zusammensetzung der eingesetzten Stoffe verursachten Emissionen sind erwähnenswerte Anteile für Zink, Chrom, Cadmium und Quecksilber zu nennen, wobei lufthygienisch die beiden letztgenannten von Bedeutung sind.

Vergleichsjahr	1992		
	Industrie Gesamt [t]	Zement- industrie [t]	Zement- industrie [%]
Blei (Pb)	20,48	0,147	0,72
Zink (Zn)	18,46	0,545	2,95
Nickel (Ni)	7,77	0,012	0,15
Kupfer (Cu)	2,07	-	-
Chrom (Cr)	2,76	0,024	0,87
Selen (Se)	4,28	< 0,001	< 0,02
Cadmium (Cd)	0,48	0,027	5,63
Arsen (As)	0,65	0,011	1,69
Quecksilber (Hg)	2,05	0,063	3,07

▲ **Tabelle 11:** Anteil der Zementindustrie an den Schwermetallemissionen der gesamten Industrie Österreichs

Vergleichsjahr	1992		
	Österreich Gesamt [t]	Zement- industrie [t]	Zement- industrie [%]
Blei (Pb)	216,9	0,147	0,07
Zink (Zn)	99,4	0,545	0,55
Nickel (Ni)	30,4	0,012	0,04
Kupfer (Cu)	21,7	-	-
Chrom (Cr)	5,6	0,024	0,43
Selen (Se)	5,3	< 0,001	< 0,02
Cadmium (Cd)	5,1	0,027	0,53
Arsen (As)	4,6	0,011	0,24
Quecksilber (Hg)	4,3	0,063	1,47

▲ **Tabelle 12:** Anteil der Zementindustrie an den österreichweiten Gesamtschwermetallemissionen (1992)

Für Cadmium liegt der Anteil aus der Zementproduktion an der Gesamtemission der Industrie bei etwas mehr als 5,6%, für Quecksilber bei 3%. Auf Gesamt-Österreich bezogen liegen diese Anteile bei rund 0,5% für Cadmium und knapp 1,5% für Quecksilber. Aus gesamtösterreichischer Sicht, siehe Tabelle 12, liefert bei Quecksilber die Industrie mit 2,05 t, vor den Kleinf Feuerungen mit 1,18 t den stärksten Beitrag. Bei Cadmium liegen der Verkehr mit 2,83 t und Kleinf Feuerungen mit 1,57 t an der Spitze.

Unmittelbar nach Abschluß dieser Studie wurde vom Österreichischen Umweltbundesamt (UBA) ein Bericht "Abschätzungen der Schwermetallemissionen in Österreich" veröffentlicht [5]. Dieser Bericht ist als Detaillierung der bereits 1994 vom Österreichischen Umweltbundesamt in "Umwelt in Österreich" [6] veröffentlichten Abschätzung der Schwermetallemissionen in Österreich anzusehen, deren Zahlen in den obengenannten Emissionsvergleichen Verwendung fanden.

Die Verfasser des Berichtes betonen, daß die im Bericht für 33 Emittentengruppen, darunter auch für die Zementindustrie, angeführten Daten nur eine Größenordnung darstellen können, die - mangels einer gut abgesicherten österreichischen Datenbasis und der daraus resultierenden teilweisen Verwendung ausländischer Daten jüngerer und älteren Datums - mit einer Unsicherheit behaftet sind, die für "die gesamte Fehler-spanne jeder Quelle eine Zehnerpotenz" beträgt.

Die in der nun vorliegenden Studie für die österreichische Zementindustrie ausgewiesenen Schwermetall-emissionen sowie deren Anteile an den gesamtindustriellen und gesamtösterreichischen Emissionen stellen somit einen gewünschten wesentlichen Schritt zur Verbesserung der Datenlage dar. Trotz der auch in diesen Zahlen noch enthaltenen Unschärfe sind letztere jedenfalls auf Messungen in österreichischen Zementwerken basierend und vergleichsweise jüngerer Datums.

Mit Ausnahme von Cadmium liegen die in dieser Studie ermittelten Emissionsmassenströme im Bereich einer Zehnerpotenz unter den im UBA-Bericht enthaltenen Abschätzungen, wodurch auch die prozentuellen Anteile der Zementindustrie - einschließlich Quecksilber - analog tiefer liegen.

● **Dioxin- und Furanverbindungen**

In den vergangenen zehn Jahren haben Dioxin- und Furanverbindungen besondere Bedeutung erlangt. Verbindungen dieser Gruppe werden de facto bei jedem Verbrennungsvorgang gebildet, jedoch in sehr unterschiedlichen Konzentrationen und chemischen Konfigurationen. Für den Bereich der Zementindustrie ist die Frage von Dioxin- und Furanverbindungen in jenen Fällen von Bedeutung, in welchen Ersatzbrennstoffe zum Einsatz kommen. Inhaltsstoffe mancher Ersatzbrennstoffe können ein Potential für die Bildung solcher Verbindungen darstellen. Prinzipiell ist der im Drehrohr ablaufende Hochtemperaturprozeß sehr gut geeignet, kritische organische Verbindungen einer thermischen Destruktion zu unterziehen. Dennoch könnte durch eine nachfolgende de novo-Synthese eine Neubildung solcher Verbindungen stattfinden, und - wenn keine sekundäre Emissionsminderung vorhanden ist - eine Emission solcher Verbindungen erfolgen. Erfahrungsgemäß sind diese Werte in der Zementindustrie sehr gering.

Kontrollmessungen, die in vier der dreizehn österreichischen Zementwerke im Rahmen von Einsatzversuchen mit Ersatzbrennstoffen durchgeführt wurden, haben dies bestätigt und TCDD-Äquivalentkonzentrationen ergeben, die in der Größenordnung von einer Zehnerpotenz und mehr unter dem Emissionsgrenzwert für Müll- und Altölverbrennungsanlagen von 0,1 ng/m³ (Vn) liegen.

● **Halogenverbindungen**

Für Halogenverbindungen stehen Vergleichsbilanzen nicht zur Verfügung.

7. Emissionsgrenzwerte

Im Jänner 1993 wurde vom Bundesminister für wirtschaftliche Angelegenheiten die Verordnung über die Begrenzung von luftverunreinigenden Stoffen aus Anlagen der Zementerzeugung erlassen, deren Vollzug - je nach Materie - innerhalb einer Frist von drei bis fünf Jahren nach Inkrafttreten dieser Verordnung zu erfolgen hat. In Tabelle 13 sind die Emissionsgrenzwerte dieser Verordnung zusammen mit Emissionsgrenzwerten von fünf anderen europäischen Industriestaaten vergleichsweise dargestellt.

▼ Tabelle 13: Emissionsgrenzwerte für luftverunreinigende Stoffe aus Anlagen zur Zementerzeugung

Schadstoff		Österreich [mg/m ³ (Vn)]	Schweiz [mg/m ³ (Vn)]	Deutschland [mg/m ³ (Vn)]	Frankreich [mg/m ³ (Vn)]	Dänemark [mg/m ³ (Vn)]	Niederlande [mg/m ³ (Vn)]
Staub		50	50	50	30 50 100	100	50
Stickstoffoxide (als NO ₂)	NO ₂	500 1.000	800	1.300 1.500 1.800 800 / 500	1.200 1.500 1.800	500	1.500
Schwefeloxide (als SO ₂)	SO ₂	200 400	500	400	500 1.200 1.800	500	400
Kohlenmonoxid	CO	-	-	-	-	-	-
Fluor und -verbindungen	F ⁻	-	5	5	5	5	5
Chlor / Cl-Verbindungen	Cl / Cl ⁻	-	5 / 30	5 / 30	k.A. / 40	5 / 100	5 / 30
Antimon	Sb	-	5	5	✓	5	✓
Arsen	As	✓	1	1	✓	1	✓
Beryllium	Be	0,1	0,1	-	-	0,1	0,1
Blei	Pb	✓	5	5	✓	1	✓
Cadmium	Cd	0,1	0,2	0,2	✓	✓	✓
Chrom	Cr	-	5	5	✓	5	✓
Cobalt	Co	✓	1	1	✓	1	✓
Kupfer	Cu	-	5	5	✓	5	✓
Mangan	Mn	-	5	5	✓	5	✓
Nickel	Ni	✓	1	1	✓	✓	✓
Quecksilber	Hg	-	0,2	5	✓	0,1	✓
Selen	Se	-	1	1	✓	1	✓
Tellur	Te	-	1	1	✓	1	✓
Thallium	Tl	0,1	0,2	5	✓	0,1	✓
Vanadium	V	-	5	0,2	✓	5	✓
Zinn	Sn	-	5	5	✓	5	✓
Arsen, Cobalt, Nickel und Blei (insgesamt)	As,Co,Ni, Pb	1,0	-	-	-	1	-
Cadmium, Thallium, Quecksilber (insgesamt)	Cd,Tl, Hg	-	0,2	0,2	0,2	0,1	0,2
Arsen, Cobalt, Nickel, Selen, Tellur (insgesamt)	As,Co,Ni, Se,Te	-	1	1	1	-	1
Antimon, Chrom, Kupfer, Mangan, Zinn, Blei, Vanadium (insgesamt)	Sb,Cr,Cu, Mn,Sn,Pb	-	5	5	5	5	5
Grenzwert als		HMW	SMW	HMW	SMW	SMW	SMW
Bezugssauerstoffkonz.	[Vol.-%]	10,0	k.A.	10,0	10,0	10,0	10,0
nationale Verordnung		BGBI. Nr. 31/1993 29. 01. 1993	LRV 814.318.142 01. 01. 1993	TA - Luft (1986f.)	ENV P 9320194A 03. 05. 1993	EPA (358/91) 06. 06. 1991	NLRV (90/2)
Legende:		*) Anlagenspezifische Emissionsgrenzwerte (LRV Anh. 2 Ziff. 11)					
a) Massenausstoß >1 g/h	h) für Altanlagen ab 31.12.1996	o) Abgas aus Klinkerkühler					
b) Massenausstoß >5 g/h	i) für S-hältige Rohstoffe	p) Anlagen mit Abgaswärmenutzung					
c) Massenausstoß >25 g/h	j) mit Zyklonvorwärmer u. Abgaswärmenutzung	q) Anlagen des Halbnaßverfahrens					
d) Massenausstoß >0,5 kg/h	k) mit Rostvorwärmer	r) Anlagen ohne Abgaswärmenutzung					
e) Massenausstoß >50 g/h	l) mit Zyklonvorwärmer o. Abgaswärmenutzung	s) laut Dynamisierungsklausel Alt-/Neuanlagen					
f) Massenausstoß >0,5 g/h	m) Abgas aus sonstigen Anlagen	t) Massenausstoß SO ₂ > 200 kg/h (S-RM)					
g) für Neuanlagen	n) Abgas aus Ofen und Mühlen	u) Massenausstoß SO ₂ < 200 kg/h (S-RM)					
HMW.....Halbstundenmittelwert	SMW.....Stundenmittelwert	MMW.....Monatsmittelwert					

Diese Emissionsgrenzwerte sind für die kontinuierlich zu erfassenden Schadstoffe in den meisten Ländern nicht auf Halbstundenmittelwerte (HMW), wie es in Österreich der Fall ist, bezogen, sondern auf längere Zeiträume, so etwa in Frankreich, Dänemark, Schweiz,... auf Stundenmittelwerte (SMW).

Auffallend ist, daß sich in *keiner* der Luftreinhalteverordnungen der angeführten Länder Emissionsgrenzwerte für Kohlenmonoxid finden. Dies hat folgenden Hintergrund:

Im Normalbetrieb ist die Kohlenmonoxidemission beim Zementofen, ähnlich dem Kohlendioxid aus der Rohstoffdekarbonatisierung, prozeßbedingt.

Jedes Rohmaterialvorkommen (Mergel, Kalkstein, Ton) enthält natürliche, brennbare Bestandteile, die normalerweise zwischen 0,1 und 0,3 Gew.-% liegen; das bedeutet bei einer zementerzeugenden Anlage mit einer täglichen Klinkerkapazität von 2.000 t eine rohmaterialseitige Zufuhr von täglich 3 bis 9 t organischer Brennstoffe, die über einen Heizwert von 6.000 bis 30.000 kJ/kg verfügen können. Durch diesen zusätzlichen Brennstoffinput kann es bereits bei der Mahltrocknung, und in weit aus höherem Ausmaß bei der Rohmaterialvorwärmung zu unvermeidlichen Abschwelungen kommen, die eine Grundfracht an CO (eventuell VOC) verursachen.

Eine weitere prozeßbedingte CO-Grundfracht wird dadurch verursacht, daß aufgrund der im Hochtemperaturprozeß des Drehrohrofens auftretenden internen Kreislaufanreicherungen von Kalium- und Natriumverbindungen, der gleichzeitig ablaufende Oxidationsprozeß des Brennstoffes nicht vollständig stattfinden kann, da vor allem Alkalisalze auf die Oxidation eine inhibierende Wirkung ausüben. Dieser vermehrten Kohlenmonoxidemission steht jedoch eine vollständige Einbindung des im Brennstoff enthaltenen Schwefels durch Alkalien gegenüber.

Während in der Schweiz, in Deutschland, Frankreich, den Niederlanden und Dänemark durchaus unterschiedliche Emissionsgrenzwerte für Halogenverbindungen aus Anlagen der Zementindustrie von den nationalen Umweltschutzbehörden erlassen wurden, fehlen in Österreich vergleichbare Regelungen.

Halogene bzw. ihre Verbindungen werden, soweit sie nicht in das Produkt eingebaut werden, nur in geringen Konzentrationen mit dem Reingas freigesetzt, wobei über die chemische Form dieser Emission keine endgültigen Aussagen möglich sind. Aus orientierenden Analysen [7] kann jedoch angenommen werden, daß die aufgrund der hohen Prozeßtemperaturen aus den Einsatzstoffen entstehenden gasförmigen Chlor- und Fluorverbindungen, als Säuren von basisch reagierenden Bestandteilen des Brenngutes neutralisiert und gebunden werden. Somit ist es wenig wahrscheinlich, daß HCl, HF oder andere gasförmige Halogenverbindungen emittiert werden. Es dürfte sich vielmehr um aus der Dampfphase kondensierte Feinststäube mit einem mittleren Partikeldurchmesser von kleiner 1 µm handeln, die aus Alkalisulfaten, Alkalichloriden, Calcium- oder Alkalifluoriden bestehen, die von den in gasanalytischen Untersuchungen eingesetzten Membranfiltern unvollständig zurückgehalten werden und infolge ihrer Löslichkeit in den verwendeten Absorptionsflüssigkeiten Anteile an gasförmigen Chlor- und Fluorverbindungen im Abgas vortäuschen.

Ein Vergleich der in der vorliegenden Studie für die vergangenen Jahre ausgewiesenen Jahresmittelwerte mit den künftig, gemäß der Verordnung vom Jänner 1993 einzuhaltenden Grenzwerten für gasförmige Schadstoffe ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich, da das hierfür notwendige Datenmaterial noch nicht im ausreichenden Umfang meßtechnisch ermittelt wurde. 1993, dem letzten von der Studie erfaßten Jahr, standen noch relativ wenige, kontinuierlich messende Analysegeräte im Einsatz. Die Anzahl dieser Geräte hat 1994 stark zugenommen und wird 1995 das vorgeschriebene Ausmaß erreichen. Es wird daher innerhalb Jahresfrist möglich sein, auf Grund der dann zur Verfügung stehenden Meßdaten einen abgesicherten Vergleich zwischen den aktuellen Emissionskonzentrationen und den Emissionsgrenzwerten anzustellen.

7.1 Gesetzliche Maßnahmen zur Begrenzung luftverunreinigender Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie

Nach der 63. Verordnung des Bundesministers für wirtschaftliche Angelegenheiten vom 29. Jänner 1993 [8] - erlassen aufgrund des § 82 Abs. 1 der österreichischen Gewerbeordnung - sind Anlagen zur Zementerzeugung derart zu betreiben, daß beim Einsatz konventioneller Brennstoffe (§ 2 Abs.1 LRV-K 1989, BGBl. Nr. 19) auch unter Zusatz von Sekundärbrennstoffen wie Altreifen und Gummischnitzeln, die in der folgenden Tabelle 14 ausgewiesenen Emissionsgrenzwerte - sie orientieren sich am Stand der Technik - bei kontinuierlichem Anlagenbetrieb nicht zur Überschreitung gelangen.

Die so festgelegten höchstzulässigen - auf das Normvolumen (273,15K, 101.325Pa) - bezogenen Massenkonzentrationen emittierter Schadstoffe, erlangen Gültigkeit für alle genehmigungspflichtigen und bereits genehmigten gewerblichen Betriebsanlagen zur Zementerzeugung. Im Sinne der zitierten Verordnung sind Zementer-

zeugungsanlagen solche Anlagen, in denen zumindest eine der folgenden, der Zementerzeugung dienenden Tätigkeiten zur Durchführung gelangt:

- ◆ Transport und Zerkleinern der Roh-, Brenn- und Zuschlagsstoffe,
- ◆ Herstellung des Rohmehls;
- ◆ Brennen des Zementklinkers in Drehrohröfen mit Rostvorwärmer, in Drehrohröfen mit Zyklonvorwärmer (mit oder ohne Abgaswärmenutzung) und in Schachtöfen;
- ◆ Weiterverarbeitung des Zementklinkers, seine Lagerung, sein Versand.

umweltrelevanter Schadstoff	Emissionsgrenzwert [mg / m ³ (Vn)]
Staubförmige Emissionen	50
Beryllium	0,1
Cadmium	0,1
Thallium	0,1
Beryllium, Cadmium, Thallium (gesamt)	0,2
Arsen, Blei, Cobalt, Nickel (gesamt)	1,0
Schwefeldioxid	200 (ggf. 400)
Stickstoffoxide (berechnet als NO ₂)	500 (ggf. 1.000)

▲ Tabelle 14: Emissionsgrenzwerte für Luftschadstoffe aus österreichischen Zementerzeugungsanlagen

Der Betriebsanlageninhaber hat

- ◆ eine kontinuierliche Überwachung der Emissionskonzentrationen der Ofenanlage abgasseitig an Gesamtstaub, Schwefeldioxid und Stickstoffoxiden (berechnet als NO₂) sicherzustellen,
- ◆ in regelmäßigen Zeitintervallen, aber zumindest alle drei Jahre, den Gehalt an den in Tabelle 14 angeführten metallischen Begleitsubstanzen des aus der Ofenanlage freigesetzten Gesamtstaubes und zusätzlich - zumindest alle fünf Jahre - den Gehalt an Gesamtstaub bei allen sonstigen der Zementerzeugung dienenden Emissionsquellen durch autorisierte Institutionen ermitteln zu lassen.

Anlagen zur Zementerzeugung, die im Zeitpunkt des Inkrafttretens dieser Verordnung bereits genehmigt waren, müssen ab 31. Dezember 1996 so betrieben werden, daß die NO_x-Emissionen 1.000 mg/m³ (Vn) nicht überschreiten. Im Fall von sulfidhaltigen Einschlüssen wie Pyrit oder Markasit im Rohmaterial verdoppelt sich der für SO₂ ausgewiesene Grenzwert von 200 mg/m³ (Vn) auf 400 mg/m³ (Vn). Die Pflicht des Altanlagenbetreibers zur kontinuierlichen Emissionsüberwachung beginnt mit 30. Jänner 1996. Die Durchführung aller anderen Bestimmungen der Verordnung ist durch den Altanlagenbetreiber bis spätestens 30. Jänner 1998 zu gewährleisten.

Die Emissionsdatenaufzeichnung hat durch automatisch registrierende Meßgeräte in Form von Halbstundenmittelwerten zu erfolgen. Der verordnete Emissionsgrenzwert gilt dann als überschritten, wenn innerhalb eines Kalenderjahres

- ◆ ein Tagesmittelwert den Emissionsgrenzwert überschreitet, bzw.
- ◆ mehr als 3% der Beurteilungswerte den Grenzwert um mehr als 20% überschreiten, bzw.
- ◆ ein Halbstundenmittelwert das Zweifache des Emissionsgrenzwertes überschreitet.

Als Bezugssauerstoffkonzentration sind 10,0 Vol.-% verordnungsgemäß vorgeschrieben.

7.2 Grenzwerte für luftverunreinigende Schadstoffe aus Anlagen zur Zementerzeugung in Frankreich

Nach dem Erlaß des französischen Umweltministers vom 3. Mai 1993, basierend auf dem Gesetz 76/663 zum Schutz der Umwelt vom 19. Juli 1976 und seiner Durchführungsverordnung 77/1133 vom 21. September 1977 sind nach erfolgter Stellungnahme des Conseil Supérieur vom 18. Dezember 1992 Anlagen zur Zementerzeugung auf französischem Staatsgebiet so zu betreiben, daß sowohl unter Einsatz konventioneller Energieträger als auch unter Verwendung von zur Entsorgung anstehender Sekundärbrennstoffe, die nachfolgend ausgewiesenen Grenzwerte bei störungsfreiem Normalbetrieb nicht überschritten werden. Die angeführten Grenzwerte sind als höchstzulässige auf das Normvolumen (273,15K, 101.325Pa) bezogene Massenkonzentrationen definiert. Im Fall von sulfidischen Einschlüssen im Rohmaterial sieht der Gesetzgeber eine Erhöhung der SO₂-spezifischen Grenzwerte von 500 mg/m³ (Vn) auf

- ◆ 1.200 mg/m³ (Vn) vor, falls der Schwefeldioxidausstoß 200 kg/h übersteigt,
- ◆ 1.800 mg/m³ (Vn) vor, vorausgesetzt der stündliche Schwefeldioxidausstoß bleibt unter 200 kg.

Der Anlagenbetreiber hat nach Artikel 9 für den Fall, daß

- ◆ die Staubfracht im Abgasstrom 5 kg/h übersteigt,
- ◆ der Massenstrom an SO₂ 50 kg/h übersteigt,
- ◆ der Massenstrom an NO_x 50 kg/h übersteigt,

eine kontinuierliche Emissionskonzentrationsüberwachung an Gesamtstaub, Schwefeldioxid und Stickstoffoxid (berechnet als NO₂) zu installieren. Die Datenaufzeichnung hat in Form von Stundenmittelwerten unter Angabe des Bezugssauerstoffgehaltes zu erfolgen. Im Fall von Schwefeldioxid kann unter Ausschluß von SO₂-Entwicklung aus Rohmaterialkomponenten anstelle einer kontinuierlichen Emissionsmessung eine Schadstoffbilanzierung in genauer Kenntnis der Brennstoffzusammensetzung durchgeführt werden. Der verordnete Grenzwert gilt dann als eingehalten, wenn

- ◆ innerhalb eines Kalenderjahres kein Monatsmittelwert den Emissionsgrenzwert überschreitet, bzw.
- ◆ 95% aller Stundenmittelwerte innerhalb eines Tages das 1,1fache des Grenzwertes nicht überschreiten.

Die bestehende Verordnung erlangt mit ihrer Verlautbarung, sowohl für neuzugenehmigende als auch für bereits genehmigte Anlagen zur Zementerzeugung Gesetzeskraft.

umweltrelevanter Schadstoff	Emissionsgrenzwert [mg / m ³ (Vn)]
Staubförmige Emissionen (Abgas aus dem Drehrohrofen)	50
Staubförmige Emissionen (Abgas aus dem Klinkerkühler)	100
Staubförmige Emissionen (Abgas aus den Roh- u. Zementmühlen)	50
Staubförmige Emissionen (Abgas aus allen verbleibenden Anlagen)	30
Cadmium, Thallium und Quecksilber (gesamt)	0,2
Arsen, Cobalt, Nickel, Selen und Tellur (gesamt)	1
Antimon, Chrom, Kupfer, Zinn, Mangan, Blei, Vanadium (gesamt)	5
Schwefeldioxid	500 (ggf. bis zu 1.800)
Stickstoffoxide (berechnet als NO ₂) (Anlagen mit Abgaswärmenutzung)	1.200
Stickstoffoxide (berechnet als NO ₂) (Anlagen des Halbnäß- bzw. Halbtrockenverfahrens)	1.500
Stickstoffoxide (berechnet als NO ₂) (Anlagen ohne Abgaswärmenutzung u. Anlagen des Naßverfahrens)	1.800

▲ *Tabelle 15: Emissionsgrenzwerte für luftverunreinigende Stoffe aus französischen Zementerzeugungsanlagen*

7.3 Grenzwerte für luftverunreinigende Schadstoffe aus Anlagen zur Zementerzeugung in der Schweiz

Die Vorschriften des Schweizerischen Umweltschutzgesetzes und seiner Luftreinhalteverordnung (LRV) [9] zielen darauf ab, Menschen, Tiere, Pflanzen, ihre Lebensgemeinschaften und Lebensräume vor schädlichen oder die Lebensqualität beeinträchtigenden Luftverunreinigungen zu schützen. Zum Erreichen dieses Vorsatzes bedient sich der Gesetzgeber eines zweistufigen Konzeptes, mit welchem die Schadstoffemissionen (-ausstoß) unmittelbar an der Quelle bekämpft werden. Dabei sind grundsätzlich neue und bestehende Anlagen nach gleichen Maßstäben zu behandeln. Für den Vollzug des Gesetzes sind die Kantone eigenverantwortlich.

Die erste Stufe der Bekämpfung unerwünschter Luftschadstoffe ist Ausdruck des Vorsorgegedankens. Alle Emissionen sind insoweit zu begrenzen, als dies technisch, produktionsspezifisch sowie betriebswirtschaftlich tragbar ist. Dabei gilt die bereits bestehende Umweltbelastung als unerheblich. Die Luftreinhalteverordnung sieht selbst eine Vielzahl solcher Maßnahmen vor und spiegelt damit für die wesentlichen Emissionsquellen - im Hinblick auf mögliche Schadstoffreduktionsverfahren - den Stand der Technik zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der Verordnung wider. So enthält sie rund 160 stoffbezogene Emissionsgrenzwerte, die grundsätzlich von allen Anlagen, die solche Stoffe freisetzen, einzuhalten sind. Abweichend davon werden für Feuerungsanlagen und etwa 40 namentlich aufgeführte industrielle und gewerbliche Anlagen - so auch für Betriebe der zementerzeugenden Industrie - abweichende, vorsorgliche Begrenzungen aufgestellt. Fehlt es an einer vorsorglichen Emissionsbegrenzung in der Luftreinhalteverordnung, sind die kantonalen Vollzugsorgane ermächtigt und verpflichtet, eigene Vorschriften festzulegen.

Die zweite Stufe dient der Verhinderung übermäßiger, also schädlicher oder lästiger Immissionen. Was konkret als schädlich oder lästig gilt, bestimmt der Bundesrat durch Verordnung gemäß Anhang 7 LRV. Infolge sind Emissionen unter Bedachtnahme der bestehenden Umweltbelastung über die Vorsorge hinausgehend so weit schärfer zu begrenzen, bis keine übermäßigen Immissionen mehr entstehen. Das Kriterium der wirtschaftlichen Tragbarkeit rückt hierbei in den Hintergrund. Für den Fall, daß übermäßige Immissionen aufgrund mehrerer Anlagen entstehen, regelt die schweizerische Luftreinhalteverordnung zudem ein spezielles Verfahren. Dabei ist für das außerordentlich belastete Gebiet ein spezieller Maßnahmenplan zu erstellen, der die Schadstoffquel-

len, ihren Beitrag zur Gesamtbelastung und die vorgesehenen Gegenmaßnahmen enthält. Diese Entscheidungshilfe erlaubt eine lasten- und damit rechtsgleiche Behandlung aller Schadstoffemittenten.

Nach Mitteilung des Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft des Eidgenössischen Departements des Inneren gelangen im Rahmen des oben vorgestellten Umweltschutzkonzeptes, mit der Luftreinhalte-Verordnung (LRV) 814.318.142.1 vom 16. Dezember 1985 in der geltenden Fassung vom 01. Januar 1993 und dem Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz [USG]) 814.01 vom 07. Oktober 1983, in der geltenden Fassung vom 01. Januar 1993 die folgenden Emissionsgrenzwerte für Anlagen der Zementindustrie zur Anwendung (Tab. 16).

▼ *Tabelle 16: Emissionsgrenzwerte von luftverunreinigenden Stoffen aus Schweizer Zementerzeugungsanlagen*

umweltrelevanter Schadstoff	Emissionsgrenzwert [mg / m ³ (Vn)]	umweltrelevanter Schadstoff	Emissionsgrenzwert [mg / m ³ (Vn)]
Staubförmige Emissionen	50	Chrom	5
NO _x Stickoxide (als Stickstoffdioxid)	800	Cobalt	1
Schwefeldioxid	500	Kupfer	5
Kohlenmonoxid	-	Mangan	5
Fluoride	5	Nickel	1
Chlor / Chlorverbindungen	5 / 30	Quecksilber	0,2
Antimon	5	Selen	1
Arsen	1	Tellur	1
Beryllium	0,1	Thallium	0,2
Blei	5	Vanadium	5
Cadmium	0,2	Zinn	5

Im Rahmen der Vorsorge gelten für Zementöfen, wie bereits erwähnt, spezielle Bestimmungen. Diese finden sich in Ziffer 11 von Anhang 2 der Luftreinhalteverordnung und betreffen die Emissionen von Stick- und Schwefeloxiden. Für alle anderen betrieblich erzeugten Schadstoffe gelten die allgemeinen, stoffspezifischen Emissionsgrenzwerte des Anhangs 1 LRV.

Anhang 2 Ziffer 111 LRV (Verhältnis zu Ziffer 81) entsprechend, ist zu kommentieren, daß Zementöfen in der Eidgenossenschaft auch andere als konventionelle Brennstoffe wie Altreifen, Klärschlämme, Altöle und Altholz einsetzen können, sofern dadurch keine höheren oder zusätzlichen Emissionen freigesetzt werden als beim Einsatz konventioneller Energieträger.

Im Rahmen des verschärften Vollzugs sind die kantonalen Behörden, wie dargelegt, berechtigt, weitergehende Maßnahmen anzuordnen. So kennt beispielsweise der Kanton Graubünden für die zementerzeugende Industrie um 30% - 50% strengere NO_x-Emissionsbegrenzungen. Diese sollen u. a. durch sekundäre Maßnahmen wie beispielsweise selektive, nicht katalytische Abluftreinigungstechniken erreicht werden.

Bei Anlagen, aus denen erhebliche Schadstoffemissionen austreten können, ist die fachkundige Behörde verpflichtet, kontinuierliche Messungen und Aufzeichnungen der Emission anzuordnen. Die Emissionsgrenzwerte gelten dann als eingehalten, wenn innerhalb eines Kalenderjahres

- ◆ keiner der Tagesmittelwerte den Emissionsgrenzwert überschreitet,
- ◆ 97% aller Stundenmittelwerte das 1,2fache des Grenzwertes nicht überschreiten, bzw.
- ◆ keiner der Stundenmittelwerte das Zweifache des Grenzwertes überschreitet.

Die Bezugssauerstoffkonzentration wird nicht ausdrücklich vorgeschrieben. Es findet sich jedoch der Passus, daß sich die als Emissionskonzentrationen angegebenen Grenzwerte auf jene Abgasmenge (im Normzustand) beziehen, die nicht stärker verdünnt sein darf, als dies technisch und betrieblich unvermeidlich ist (Anhang 1 Ziffer 23 LRV).

7.4 Grenzwerte für luftverunreinigende Schadstoffe aus Anlagen zur Zementerzeugung in Deutschland

Der entscheidende rechtliche Rahmen für alle Belange in Sachen Luftreinhaltung ist das Bundesimmissionsschutzgesetz in seiner Fassung vom 26. November 1986. Dieses Gesetz legt die erforderlichen Maßnahmen fest und ermächtigt die Bundesregierung, Detailfragen auf dem Verordnungsweg und durch Verwaltungsvorschriften einer Regelung zuzuführen. Die TA-Luft als umfangreiches technisches Kompendium ist Ausdruck dieser Ermächtigung und ermöglicht die einheitliche Anwendung des Bundesimmissionsschutzgesetzes. Die novellierte "Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundesimmissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) TA-Luft (1. BImSchVwV)" - so ihre genaue Bezeichnung - trat mit 4. April 1986 in Kraft

und erfährt seit diesem Zeitpunkt ständige Ergänzungen. Als Verwaltungsvorschrift ist die TA-Luft in erster Linie an die Adresse nachgeordneter Behörden gerichtet. Vor allem die Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden wenden die in ihr zusammengefaßten Bestimmungen und Grenzwerte an, sodaß die TA-Luft praktisch als Leitfaden für alle Beteiligten anzusehen ist. Gleichzeitig werden durch das umfassende Regelwerk jene technischen Möglichkeiten aufgezeigt, mit deren Hilfe die Einhaltung der Grenzwerte sichergestellt werden kann. Damit repräsentiert die Verwaltungsvorschrift zugleich den Stand der Technik zum Zeitpunkt ihrer Veröffentlichung. Als Anleitung für behördliche Institutionen hat die TA-Luft keine unmittelbare Auswirkung.

Der Anlagenbetreiber ist erst dann verpflichtet, die in der TA-Luft ausgewiesenen Grenzwerte einzuhalten, wenn ihm die zuständige Behörde die Grenzwerte und den Zeitpunkt ihres Inkrafttretens vorschreibt.

Die TA-Luft realisiert das Vorsorgeprinzip. Umweltgefahren wird vorgebeugt und einer weiträumigen Luftverschmutzung mit den Mitteln moderner Technik begegnet. Die Anforderungen zur Begrenzung der Schadstofffreisetzung sind auch dort einzuhalten, wo keine unmittelbaren Gefahren für die Umgebung zu erkennen sind. Genehmigungen, die gemäß den Festlegungen der TA-Luft erteilt wurden, können nicht durch strengere emissions- und immissionsschützende Anforderungen, die auf anderen Gesetzen beruhen, unterlaufen werden. Demzufolge haben sie bezüglich emissions- bzw. immissionsmindernden Maßnahmen rechtlichen Bestandsschutz. Die TA-Luft postuliert unter anderem für die Anlagen der deutschen Zement-erzeuger ein generelles Vermeidungs- und Minimierungsgebot, daß sich in den folgenden Schadstoffgrenzwerten ausdrückt.

Aus Gründen der einfacheren Überwachung werden laut TA-Luft die Massenstromkonzentrationen der luftverunreinigenden Stoffe im Genehmigungsverfahren begrenzt, sodaß die Anlagen in Hinblick auf geringe Massenkonzentrationen und geringe Massenströme betrieben werden müssen. Eine entsprechende Verfahrensoptimierung und die Anwendung emissionsarmer Einsatzstoffe ergibt sich daraus zwangsläufig. Die Emissionsgrenzwerte für die einzelnen in Tabelle 17 angeführten luftverunreinigenden Schadstoffe sind auf das Volumen des Abgases im Normzustand (273,15K, 101.325Pa) nach Abzug des Feuchtegehaltes zu beziehen. Die Bezugssauerstoffkonzentration zur Beurteilung der für deutsche Zementwerke geltenden Grenzwerte wird mit 10,0 Vol.-% festgesetzt. Die Emissionsgrenzwerte gelten als eingehalten, wenn

- ◆ sämtliche Tagesmittelwerte die festgelegte Massenkonzentration,
- ◆ 97% aller Halbstundenmittelwerte 6/5 der festgelegten Massenkonzentration, bzw.
- ◆ sämtliche Halbstundenmittelwerte das Zweifache der festgelegten Massenkonzentration

nicht überschreiten.

▼ **Tabelle 17:** Emissionsgrenzwerte von luftverunreinigenden Stoffen aus deutschen Zementherstellungsanlagen (nach TA-Luft)

umweltrelevanter Schadstoff	Emissionsgrenzwert [mg / m ³ (Vn)]	umweltrelevanter Schadstoff	Emissionsgrenzwert [mg / m ³ (Vn)]
Staubförmige Emissionen	50	Chrom	5
NO _x Stickoxide (als NO ₂) (Anlagen mit Rostvorwärmer)	1.500	Cobalt	1
NO _x Stickoxide (als NO ₂) (mit Zyklonvorwärmer u. Abgaswärmenutzung)	1.300	Cyanide (im reduzierenden Brand)	5
NO _x Stickoxide (als NO ₂) (mit Zyklonvorwärmer o. Abgaswärmenutzung)	1.800	Kupfer	5
NO _x Stickoxide (als NO ₂) (Dynamisierungsklausel für Alt- / Neuanlagen)	800 / 500	Mangan	5
SO _x Schwefeloxide (als SO ₂)	400	Nickel	1
Fluoride	5	Quecksilber	5
Chlor / Chlorverbindungen	5 / 30	Selen	1
Antimon	5	Tellur	1
Arsen	1	Thallium	5
Blei	5	Vanadium	0,2
Cadmium	0,2	Zinn	5

In der TA-Luft wird kontinuierlichen Messungen strikter Vorrang gegenüber Einzelmessungen eingeräumt. Demzufolge wird ein Antrag auf Einzelmessungen in Genehmigungsverfahren für jene Schadstoffe, die einer kontinuierlichen Messung zugänglich sind, abschlägig beschieden. Bereits Feststoffemissionen über 2 kg/h müssen z. B. kontinuierlich überwacht werden. Der überwiegende Teil der routinemäßigen Meßarbeiten bleibt dem Anlagenbetreiber überlassen. Ihm obliegt die Verpflichtung, die Messungen in eigener Verantwortung durchzuführen

und für eine regelmäßige Wartung und Funktionskontrolle der Meßinstrumente Sorge zu tragen. Der Betreiber ist verpflichtet, mit dem Hersteller der Meßgeräte einen Wartungsvertrag abzuschließen, sofern er nicht selbst über geschultes Personal und eine meßtechnische Werkstatt verfügt. Die sachverständige Behörde soll die vorschriftsmäßige Kalibrierung der Meßeinrichtungen überwachen und jährlich eine nichtangekündigte Überprüfung deren Funktionstüchtigkeit durchführen. Die Kalibrierung muß nach einer wesentlichen Änderung der Anlagenkonzeption oder der Einsatzstoffe, spätestens aber vor Ablauf von fünf Jahren wiederholt werden. Mit dem Inkrafttreten des Bundesimmissionsschutzgesetzes in seiner geltenden Fassung erlangt auch ein in der TA-Luft konkretisiertes Sanierungskonzept für Altanlagen Gesetzeskraft. Dieses sieht für Anlagen zur Zementerzeugung die im Zeitpunkt des Inkrafttretens des Bundesimmissionsschutzgesetzes vom 26. 11. 1986 bereits genehmigt waren vor, diese innerhalb von fünf Jahren an den Stand der Technik für Neuanlagen heranzuführen.

Für Zementöfen wurden vom Länderausschuß für Immissionsschutz in seiner 77. Sitzung (Mai 1991) die 1986 formulierten Dynamisierungsklauseln - gemäß dem erreichten Stand der Technik - mit dem Ziel einer bundeseinheitlichen Vorgehensweise in Genehmigungsverfahren wie folgt konkretisiert. Der Emissionsgrenzwert für Stickoxide aus Altanlagen zur Zementerzeugung wird mit 800 mg/m^3 (Vn), jener für Neuanlagen mit 500 mg/m^3 (Vn) festgelegt (O_2 -Bezug: 10,0 Vol.-%).

7.5 Grenzwerte für luftverunreinigende Schadstoffe aus Anlagen zur Zementerzeugung aus Sicht der Europäischen Union

Aufgrund der Änderungen der Gründungsverträge von Rom, die am 1. Juli 1987 in Kraft traten, wurden eine Reihe neuer umweltrechtlicher Artikel in den dritten Teil des EWG-Vertrages eingefügt, der sich auf die Politik der Gemeinschaft bezieht. Die neuformulierten Ziele und Elemente der Umweltpolitik der Union bestehen darin,

- ◆ die Umwelt zu erhalten, zu schützen und ihre Qualität zu verbessern,
- ◆ zum Schutz der menschlichen Gesundheit beizutragen und
- ◆ eine umsichtige und rationelle Verwendung von Ressourcen zu gewährleisten.

Die Umweltschutzmaßnahmen der Union sind in die anderen Bereiche der Unionspolitik zu integrieren, zu denen vor allem die Landwirtschaft, die Regionalentwicklung und die Energiewirtschaft zählen und müssen auf den folgenden drei Grundsätzen beruhen:

- ◆ Vorbeugen von Umweltbeeinträchtigungen,
- ◆ Bekämpfung von Umweltbeeinträchtigungen bereits an ihrem Ursprung,
- ◆ Verursacherprinzip.

Das Integrationsprinzip ist bei weitem das wichtigste Element. Der Umweltschutz ist der einzige Bereich der Unionspolitik, der eine derart umfassende Verpflichtung beinhaltet; die Union ist angehalten, Verfahren zur Anwendung und Durchführung dieses Prinzips zu erlassen. Das 1987 initiierte 4. Aktionsprogramm für den Umweltschutz ist zum Teil darauf angelegt, den neuen Verpflichtungen im Zusammenhang mit der Integration der Umweltdimension in die letztangeführten Bereiche der Unionspolitik, Substanz zu verleihen und betont bis heute die folgenden vier Tätigkeitsbereiche:

- ◆ die ordnungsgemäße Anwendung des geltenden Gemeinschaftsrechts,
- ◆ die Einführung und Anwendung von Rechtsvorschriften über alle Auswirkungen von umweltbelastenden Stoffen und Emissionsquellen,
- ◆ den besseren Zugang der Öffentlichkeit zu umweltrelevanten Informationen und eine Intensivierung der Informationsverbreitung,
- ◆ die Schaffung von zusätzlichen Arbeitsplätzen.

Die Verwirklichung dieses Aktionsprogrammes wird deutlich durch den Artikel 130s der einheitlichen Europäischen Akte behindert, der vom Rat der Europäischen Union Einstimmigkeit in Angelegenheiten den Umweltschutz betreffend verlangt. Allerdings haben sowohl die Kommission als auch der Europäische Gerichtshof klargestellt, daß das Umweltrecht der Union lediglich Mindestnormen festlegt und keinesfalls dazu benützt werden kann, die Mitgliedstaaten von weitreichenderen Regelungen abzuhalten bzw. ihre verstärkten Umweltschutzmaßnahmen aufzugeben.

Die heimische Zementindustrie wird mit dem Beitritt Österreichs zur Europäischen Union mit der Richtlinie des Rates 84/360/EWG vom 28. Juni 1984 zur Bekämpfung der Luftverunreinigungen aus Industrieanlagen in seiner geltenden Fassung 90/656/EWG vom 4. Dezember 1990 konfrontiert werden. Gegenstand dieser Rahmenrichtlinie ist die Aufstellung einer Reihe von Grundsätzen zur Durchführung von Maßnahmen zur Verhütung und Verringerung der Luftverunreinigung durch Industrieanlagen. Die Mitgliedsstaaten, so auch Österreich müssen

dafür sorgen, daß sowohl die Betriebsaufnahme wie auch jede wesentliche Änderung der im Anhang 1 der Richtlinie angeführten Industrieanlagentypen, die auch Anlagen zur Herstellung von Zement und Drehofenkalk (Anhang 1, 3.1) umfassen, einer vorherigen Genehmigung durch die zuständigen einzelstaatlichen oder regionalen Behörden bedürfen. Eine Genehmigung darf erst dann erteilt werden, wenn sich die zuständige Behörde vergewissert hat,

- ◆ daß alle geeigneten Maßnahmen gegen Luftverunreinigung, insbesondere durch die Emission der im Anhang 2 der Richtlinie angeführten Stoffe, veranlaßt wurden,
- ◆ daß keine der geltenden Emissionsgrenzwerte überschritten wird und
- ◆ daß alle geltenden Luftqualitätsgrenzwerte berücksichtigt werden.

Anhang 2 führt die wichtigsten Schadstoffe auf und umfaßt Schwefel- und Stickstoffverbindungen, Kohlenmonoxid, organische Stoffe, einschließlich Kohlenwasserstoffe, Schwermetalle, Staub, Asbest, Glas- bzw. Gesteinsfasern, Chlor- sowie Fluorverbindungen. Die Anträge auf Genehmigung und die Bescheide der zuständigen Behörden müssen der Öffentlichkeit unter Beachtung der nationalen Vorschriften bekanntgegeben werden. Die gleichen Informationen sind den übrigen interessierten Mitgliedstaaten im Rahmen der bilateralen Beziehungen zur Verfügung zu stellen.

Der Rat kann auf Vorschlag der Kommission *einstimmig* auf der Grundlage der besten verfügbaren Technologie Emissionsgrenzwerte festsetzen, die tunlichst keine unverhältnismäßig hohen Kosten verursachen dürfen, wobei der Rat Art, Menge und Schädlichkeit der Emissionen in seiner Bewertung zu berücksichtigen hat. Ferner kann er Meß- und Bewertungsverfahren festlegen. Bis zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist Asbest der einzige Stoff aus Anhang 2, für den entsprechende Vorschriften (Richtlinie 87/217/EWG) erlassen wurden. Die Mitgliedsstaaten können besonders belastete Gebiete oder besonders schutzwürdige Gebiete bestimmen, bzw. für die dort angesiedelte Industrie strengere Emissionsgrenzwerte und besondere Auflagen vorschreiben.

Die Mitgliedsstaaten sorgen für die Überwachung der Emissionen aus Industriebetrieben. Sie müssen die Entwicklung der besten, verfügbaren Technologien und der Umweltverhältnisse verfolgen und anhand ihrer Erkenntnisse Auflagen, für die im Rahmen der Richtlinien genehmigten Industriebetriebe beschließen, wobei die wirtschaftliche Lage der Betriebe zu berücksichtigen ist.

Die Mitgliedsstaaten müssen entsprechende Maßnahmen verfolgen, damit die bestehenden Anlagen im Sinne von Anhang 1, schrittweise an die beste verfügbare Technologie angepaßt werden, wobei die Besonderheiten der jeweiligen Anlage, ihre Restnutzungsdauer, die Art und Menge der emittierten Schadstoffe und die Kosten zu berücksichtigen sind. Die Mitgliedsländer können strengere Vorschriften erlassen, als sie in der Richtlinie vorgesehen sind. Mitgliedsstaaten müssen innerhalb von drei Jahren der Richtlinie entsprechen. Bestimmungen über die Anpassung der diskutierten Richtlinie an den technischen Fortschritt und die Veröffentlichung von regelmäßigen Berichten der Kommission über die Durchführung der Richtlinie wurden nicht erwogen.

Aufgrund der Richtlinie 84/360/EWG wurde bis heute mit 88/609/EWG (bzw. 90/656/EWG) eine einzige Folgerichtlinie vom Rat erlassen, die sich *ausschließlich* mit der Begrenzung von Schadstoffemissionen aus Großfeuerungsanlagen befaßt. Die dort ausgewiesenen Grenzwerte gelten für Feuerungsanlagen zur Energieerzeugung mit einer Feuerungswärmeleistung von mindestens 50 MW. Die Richtlinie versucht damit in der gesamten Europäischen Union eine 58%ige Verringerung der SO₂-Emissionen sowie eine geringfügig niedrigere Senkung der NO_x-Emissionen bis zum Jahr 2003 zu erzielen. Für alle anderen, im Anhang 1 der Richtlinie 84/360/EWG angeführten Kategorien von Industrieanlagen, namentlich die Kategorie *Industrie der nichtmetallischen Mineralstoffe* - die auch Anlagen zur Zementherstellung inkludiert - sind bis heute keine entsprechenden Emissionsgrenzwerte erlassen worden. [10]

7.6 Grenzwerte für luftverunreinigende Schadstoffe aus Anlagen zur Zementerzeugung in den Niederlanden und Dänemark

Nach Auskunft der Vereinigung der Niederländischen Zementindustrie in Hertogenbosch, sowie nach Konsultation des dänischen Umweltministeriums in Kopenhagen wurden weder von den gesetzgebenden Körperschaften Dänemarks noch von jenen der Niederlande einschlägige Gesetze bzw. Verordnungen erlassen, die eine ausschließliche Reduktion der Schadstoffe aus Anlagen der örtlichen Zementindustrie zur Folge hätten. (In beiden Staaten ist lediglich ein Zementwerk in Betrieb.) Es finden jedoch national unterschiedliche Gesetze zur allgemeinen Luftreinhaltung Anwendung. Die fachkundigen Behörden beider Länder sind angewiesen sich bei der Erteilung von Betriebsbewilligungen - u.a. zementerzeugende Anlagen betreffend - an den Erkenntnissen des benachbarten Auslandes (namentlich Deutschland) zu orientieren.

Nach dem dänischen Umweltschutzgesetz vom 06. Juni 1991 und seinen Folgeverordnungen gelten im Königreich Dänemark nach Verlautbarung für neue und unter Berücksichtigung diverser Übergangsbestimmungen

für bestehende Zementwerke, die in der Tabelle 13 zusammengefaßten Grenzwerte. Die angeführten Grenzwerte sind als höchstzulässige auf das Normvolumen (273,15K, 101.325Pa) bezogene Massenkonzentrationen definiert.

Der Anlagenbetreiber hat für den Fall, daß

- ◆ der Schwefeldioxidmassenstrom 200 kg/h übersteigt,
- ◆ der Stickstoffoxidmassenstrom 200 kg/h übersteigt,
- ◆ der Massenstrom an Bestandteilen der Schadstoffgruppe I (S (Be, Hg, Tl)) 2 kg/h übersteigt, bzw.
- ◆ der Massenstrom an Staub 200 kg/h übersteigt,

eine kontinuierliche Emissionskonzentrationsüberwachung für Schwefeldioxid, Stickstoffoxid und Staub zu installieren. Die Datenaufzeichnung hat in Form von Stundenmittelwerten zu erfolgen. Die verordneten Grenzwerte gelten für eine Bezugssauerstoffkonzentration von 10,0 Vol.-% und werden dann erfüllt, wenn

- ◆ jeder der aufgezeichneten Stundenmittelwerte kleiner oder gleich dem Grenzwert ist, bzw.
- ◆ innerhalb eines Kalenderjahres kein Monatsmittelwert den Emissionsgrenzwert überschreitet.

Überschreitet ein Stundenmittelwert das Dreifache des Emissionsgrenzwertes, hat der Anlagenbetreiber unverzüglich die zuständige Behörde über die Ursachen der Grenzwertüberschreitung und die eingeleiteten Gegenmaßnahmen zu informieren. [11,12,13]

8. Möglichkeiten der Emissionsminderung

Im folgenden sollen für jene gasförmigen Schadstoffe, für welche bei einzelnen Anlagen auf Grund der in Kapitel 6 durchgeführten Emissionsbeurteilung Potentiale für eine Emissionsminderung bestehen, diese kurz besprochen werden.

● Schwefeldioxid

Auf Grund der im Prozeß vorhandenen Erdalkali- und Alkaliverbindungen erfolgt eine starke Einbindung von SO_2 als Sulfat im Produkt. Wenn höhere SO_2 -Emissionen auftreten, so kann dies durch die Höhe des Sulfid- und Sulfatgehaltes des Brenngutes bedingt sein. Wenn das vorgesehene natürliche stöchiometrische Verhältnis für eine genügende SO_2 -Bindung nicht ausreicht, kann mit einer Abgasentschwefelung das gewünschte Ausmaß an SO_2 -Minderung erreicht werden. Eine solche sekundäre Maßnahme würde mit dem Vorteil verbunden sein, daß das Folgeprodukt der Entschwefelung innerhalb des Werkes als sekundärer Zumahlstoff oder Rohstoff wiederverwendet werden kann.

Bei Anlagen mit Vorcalzinator können erhöhte SO_2 -Emissionen auch durch lokal auftretende, CO- oder brennstoffbedingte reduzierende Bedingungen verursacht werden, die eine Oxidation zu Sulfat verhindern oder Sulfat reduzieren. In diesem Fall kann eine Optimierung des Vorcalzinators zu einer Verminderung der SO_2 -Emissionen führen.

● Stickoxide

Der in der Verbrennungstechnik bekannte, feuerungstechnisch bedingte inverse Zusammenhang zwischen Bildung und Vermeidung von Kohlenmonoxid und Stickoxiden (Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid) ist prinzipiell auch bei der Befuerung der Ofenanlagen der Zementindustrie gegeben. Dieser Zusammenhang besteht darin, daß die Verbrennungsbedingungen, je nach ihrer Einstellung, entweder zu hohen NO_x - und niedrigen CO-Werten oder umgekehrt zu niedrigen NO_x - und hohen CO-Werten führen.

Durch die für den Klinkerbrand notwendigen Ofenraumtemperaturen von rund 1800°C ist die starke Bildung von thermischem NO_x begünstigt. Die Bildung von Brennstoff- NO_x spielt daher bei der Primärfeuerung nur eine untergeordnete Rolle. Bei Dampfkesselanlagen kann die NO_x -Emission vermindert werden, z.B. durch katalytische Behandlung der Abgase und/oder durch feuerungstechnische Maßnahmen, durch welche die verminderte NO_x -Bildung mit vergleichsweise nur geringer Erhöhung der CO-Bildung verbunden ist. Katalytische Entstickung, seit vielen Jahren Stand der Kraftwerkstechnik, ist hinter Öfen der Zementindustrie derzeit nicht Stand der Technik. Feuerungstechnische Maßnahmen werden von Anlagen der Zementindustrie genutzt.

Bei Ofenanlagen mit Vorcalzinator ist durch den dort gegebenen Temperaturbereich unter 1000°C , die Bildung von Brennstoff- NO_x dominant, wenn der in der Zweitfeuerung eingesetzte Brennstoff einen Stickstoffgehalt aufweist. In diesem Fall können die Verwendung N-armer Brennstoffe, die Realisierung feuerungstechnischer Maßnahmen (wie beispielsweise intensives Durchmischen des Brennstoffes mit dem Drehrohrfengas) sowie der Einsatz einer gestuften Verbrennung, eine partielle Reduktion von NO_x -Emissionen bewirken.

Als für die NO_x -minderung aussichtsreiche Möglichkeiten sind neben dem Einsatz NO_x -armer Brenner zu nennen:

- ◆ selektive, nicht katalytische Reduktion mit Ammoniak (NH_3) oder NH_3 -haltiger Verbindungen (SNCR-Technik),
- ◆ feuerungstechnische Optimierung des Brennbetriebes,
- ◆ gestufte Verbrennung in der Zweitfeuerung.

Diese Möglichkeiten stehen derzeit in großtechnischer Erprobung und Optimierung, um nachteilige Effekte wie erhöhte CO- und NH_3 -Emissionen minimieren zu können. Die Ergebnisse aus diesen Versuchen - u.a. in deutschen Anlagen zur Zementherzeugung - werden in der zweiten Hälfte 1995 zur Verfügung stehen.

● Kohlenmonoxid

Der vorstehend geschilderte Zusammenhang zwischen NO_x - und CO-Emissionen und die relativ hohen NO_x -Emissionen würden eine geringe CO-Emission erwarten lassen. Daß dies meist nicht gegeben ist, muß auf mehrere Einflußfaktoren zurückgeführt werden. Zunächst ist festzustellen, daß die CO-Bildung nicht oder meist nicht als Ergebnis einer schlecht geführten Verbrennung des eingesetzten Brennstoffes resultiert, sondern wesentlich aus dem Dekarbonisierungsprozeß des Brenngutes sowie dem organischen Gehalt des Brenngutes und der dem Drehrohr vorgelagerten Vorwärmung entspringt. Ein weiterer Grund ist darin gelegen, daß die

hohen Temperaturen im Drehrohr das CO/CO₂-Gleichgewicht in Richtung CO begünstigen. Zeitlich und örtlich unterschiedliches Anbackungsverhalten des Brenngutes an der Drehrohrinnenwandung und dadurch unterschiedlich große in den Kühler eintretende Klinkerkonglomerate können schwankende Temperaturfelder im Klinkerkühler und damit unterschiedliche Verbrennungslufttemperaturen verursachen, die auf die Qualität des Ausbrandes Einfluß nehmen können.

Schließlich ist im Falle des Einsatzes von Altreifen als Ersatzbrennstoff auf den Umstand hinzuweisen, daß das Abbrandverhalten des stückigen, unzerkleinerten Altreifens lokal reduzierende Volumsbereiche und eine erhöhte Kohlenmonoxidbildung verursachen kann. Dieser Einfluß kann dadurch reduziert werden, daß die Altreifen in zerkleinerter, kleinstückiger Form dem Drehrohr aufgegeben werden und in diesem möglichst schnell ein gutes Durchmischen mit dem Brenngut erfahren.

Ähnlich wie für NO_x können auch für CO feuerungstechnische Maßnahmen eine kleinere Bildungsrate und damit geringere Emissionen bewirken. In beiden Fällen ist mit dem Einsatz solcher primärer Techniken und deren Optimierung viel Know-how und anlagenspezifische Adjustierung notwendig. Insgesamt besteht jedoch für diesen Bereich ein Defizit an Kenntnissen, Forschung, Entwicklung und technischer Erprobung.

● **Kohlendioxid**

Ein weiteres Absenken der pyrogen bedingten Kohlendioxidemission wäre prinzipiell möglich durch Einsatz von Erdgas mit seinem geringeren CO₂-Bildungsfaktor, eine Maßnahme, die z.B. in der Magnesitindustrie eine wesentliche Verminderung der pyrogenen CO₂-Emissionen gebracht hat. Eine solche Umstellung auf den Brennstoff Erdgas würde jedoch bedeuten, daß die österreichische Wirtschaft und Abfallwirtschaft auf die ökologisch und ökonomisch wichtige Funktion der Zementindustrie zur thermischen Behandlung von bestimmten Abfällen (siehe Abb. 13 und 14) weitgehend verzichten müßte. Dies ist auch deshalb nicht sinnvoll, weil dadurch nicht nur eine thermische Verwertung, sondern im besonderen auch eine stofflich-chemische Verwertung von Abfallinhaltsstoffen nicht möglich wäre.

Ein anderes Instrument wäre die Fortführung der Reduktion des spezifischen Energieverbrauches. In den Jahren seit 1960 hat die österreichische Zementindustrie den pro Tonne Klinker benötigten Energieaufwand um 36% absenken können. Die Verwendung von Sekundärrohstoffen hat - ganzheitlich gesehen - einen wichtigen Beitrag geleistet. Der Verlauf dieser Absenkung zeigt, daß sich ab 1990 diese Absenkungsrate zunehmend verringert hat und nun ein nahezu stationärer Wert erreicht wurde (Tab. 18). Einzelne Optimierungsschritte können noch restliche Potentiale ausschöpfen, eine signifikante weitere Verringerung des spezifischen Energieverbrauches im Rahmen der bestehenden Anlagen wird jedoch kaum möglich sein.

Im spezifischen Energieverbrauch pro Tonne Zement sind auch jene energiesparenden Einsätze von Sekundärrohstoffen enthalten, die für diesen spezifischen Verbrauchswert für die Zeit von 1988 bis 1993 eine Absenkung um 5% gebracht haben (Tab. 19).

Vergleichsjahr	spez. Energieaufwand [GJ / t _{Klinker}]
1960	5,392
1970	4,140
1980	3,638
1990	3,483
1991	3,463
1992	3,455
1993	3,455

▲ **Tabelle 18:** Spezifischer Energieaufwand in der Klinkerproduktion (exklusive elektrischer Energieeinsatz)

▼ **Tabelle 19:** Spezifischer Energieaufwand in der Zementproduktion für die Vergleichsjahre 1988, 1990, 1993 (exklusive elektrischer Energieeinsatz)

Vergleichsjahr	spez. Energieaufwand [GJ / t _{Zement}]
1988	2,7554
1990	2,7467
1993	2,6159

● **(Schwer-)Metallemissionen und Halogenverbindungen**

Bei der Zementherstellung können durch spezielle Rohmaterialkomponenten wie z. B. Eisenerz, durch Brennstoffe wie Petrolkoks und durch den vermehrten Einsatz zur Verwertung anstehender Sekundärrohstoffe bzw. Ersatzbrennstoffe potentiell umweltrelevante Spurenbestandteile wie Arsen, Blei, Cadmium, Cobalt, Thallium, Vanadium, Zink..., in den Produktionsprozeß eingebracht werden. [7, 14, 15]

Klinkermineralelemente wie Al, Si, Ca, Fe, sowie schwerflüchtige metallische Spurenelemente wie Cr, Cu, Zn, Pb, Ni, As, werden dabei größtenteils durch Aufnahme in die schmelzflüssige Phase des Zementklinkers immobilisiert und mit diesem aus dem Ofensystem ausgeht. Sie verlieren somit ihre umweltgefährdende Wirkung. Trotzdem ist einer eventuellen Anreicherung von im System verbleibenden metallischen Staubinhaltsstoffen durch Kreislaufprozesse, Aufmerksamkeit zu schenken.

Die in den Zementwerken eingesetzten Drehrohröfen verfügen meist über ein mehrstufiges Vorwärmesystem (Zyklonvorwärmer), das sowohl nach Kapazität als auch nach Einsatzhäufigkeit die bevorzugte Anlagenvariante darstellt. Hier sind kreislaufbedingte Schadstoffanreicherungen nicht auszuschließen, wobei der Anreicherungsgrad von der Flüchtigkeit der Stoffe und folglich von der Zusammensetzung des Rohmehls in den Wärmetauscherzonen abhängt. Dabei verdampfen flüchtige Elemente in den heißesten Zonen des Drehrohrrofens und werden als Bestandteil des Ofenabgases in die kühleren Bereiche des Wärmetauschers und schließlich in die nachgeschalteten Entstaubungseinrichtungen transportiert. Infolge kommt es aufgrund des bestehenden Temperaturgefälles zu einer Anlagerung der flüchtigen Bestandteile an die disperse Rohmehlphase. Mit dem Rücktransport des beladenen Rohmehls in die heißesten Wärmetauscher- bzw. Ofenbereiche und den damit verbundenen erneuten Verdampfen der flüchtigen Bestandteile schließt sich der Kreislauf und beginnt von neuem. Erfolgt die Anlagerung flüchtiger Bestandteile wie Alkalien und Halogene in erster Linie durch Kondensation in den weniger heißen Zonen des Drehrohrrofens und den heißesten unteren Zonen des Wärmetauschers, liegt eine *interne* Kreislaufbildung vor. Als *externe* Kreislaufbildung bezeichnet man hingegen die kombinierte Abscheidung flüchtiger Spurenelemente wie Thallium und Cadmium durch Kondensation und Adsorption an den Rohmehlpartikeln in den kälteren, oberen Zonen des Wärmetauschers und den nachgeschalteten Entstaubungseinrichtungen. So lagert sich an das Brenngut, das im Vergleich zu Thallium schwerflüchtige Blei hauptsächlich in der untersten, heißesten, das leichtflüchtige Thallium in der obersten, kältesten Zyklonstufe des Vorwärmesystems an.

Um Anreicherungen und unkontrollierte Emissionen zu vermeiden, sind alle Verbindungen, unabhängig vom Flüchtigkeitsgrad, mit gleicher Wirkung zu erfassen und in einem Filter abzuscheiden. Folglich sollte Bypass-Gas sowohl am Ofenaustritt, vor Eintritt in das Zyklonvorwärmesystem, als auch nach der kältesten Zone des Vorwärmers vor Eintritt in den Verdampfungskühler entnommen, in einer Mischkammer vereinigt und anschließend entstaubt werden. Die Abscheidung der mit metallischen Elementen kontaminierten Stäube aus den vereinigten Abgasströmen des Ofens und der Klinkerkühlung erfolgt zumeist gemeinsam in einem (oder zwei hintereinandergeschalteten) hochwirksamen Elektrofilter(n).

Dampfförmige Schwermetallemissionen aus Anlagen der zementherstellenden Industrie sind im nennenswerten Ausmaß nur beim extrem flüchtigen Spurenelement Quecksilber zu erwarten. Dies bestätigen vorliegende Abgasanalysen. Eine Möglichkeit, das Ofensystem im erheblichen Umfang von Quecksilber zu entlasten, zeichnet sich nach heutigem Wissensstand nicht ab.

- *Vorgelagerte Maßnahmen zur Emissionsminderung*

Die Analyse der vorliegenden Daten und Angaben über die installierten technischen Einrichtungen, ihre Betriebsweisen, Brennstoffe und Ersatzbrennstoffe sowie die resultierenden Emissionskonzentrationen und deren Spreizung über die erfaßten Anlagen zeigt, daß für einzelne Anlagen ein Emissionsminderungspotential auch in einer besseren Aufbereitung und Konditionierung des Einsatzgutes, einschließlich des Ersatzbrennstoffes liegt. Thermische Prozesse, i. e. Mahltrocknung, Vorwärmung, Vorcalzinator, Drehrohr, Klinkerkühler können optimiert und daraus direkt oder indirekt entstehende Emissionen reduziert werden, wenn die zugeführten Stoffe möglichst weitgehend homogenisiert und ohne starke zeitliche Schwankungen aufgegeben werden. Der Weg zu diesem Ziel stellt - wie bei allen mit natürlichen Roh- und Brennstoffen sowie chargenweiser Zugabe von Einsatzstoffen arbeitenden Prozessen - erhöhte Anforderungen an Analytik und vorgeschalteter verfahrenstechnischer Logistik. Eine verbreiterte Anwendung solcher Maßnahmen ist zu empfehlen.

9. Ersatzbrennstoffe

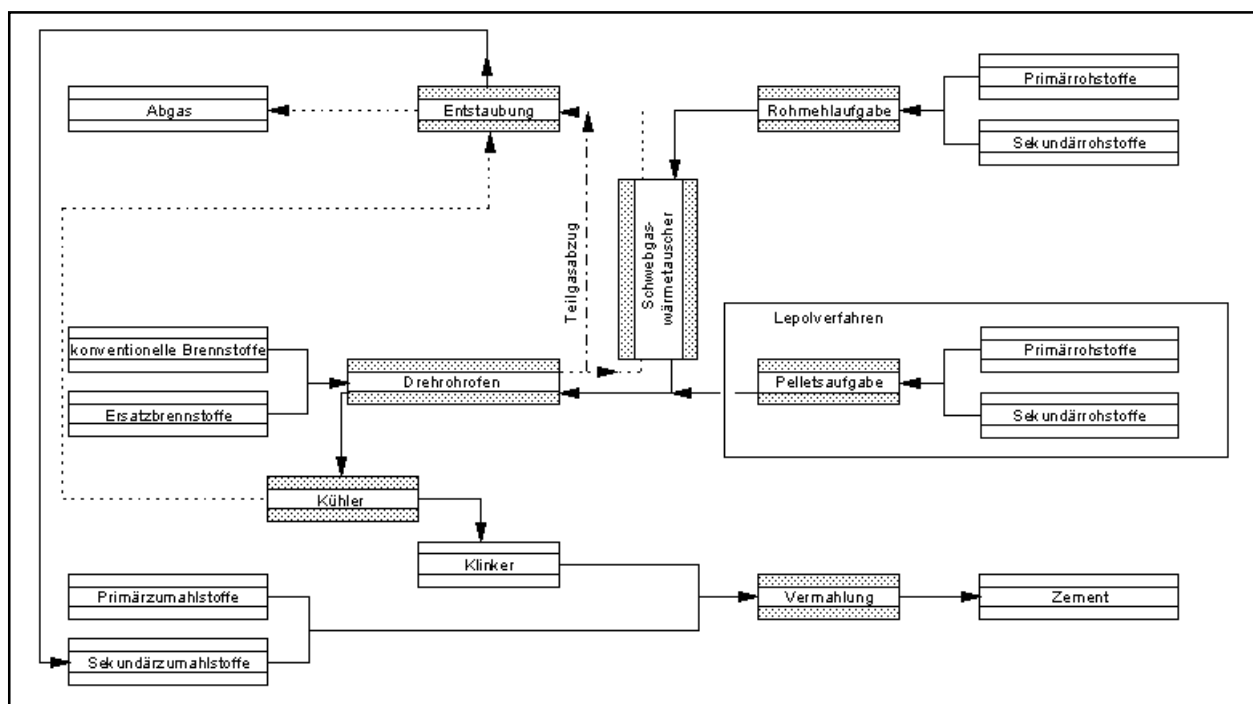
In den vergangenen Jahren hat die österreichische Zementindustrie in steigendem Umfang auf primäre Brennstoffe durch Einsatz von Ersatzbrennstoffen verzichtet. Als Ersatzbrennstoffe (EBS) sind Stoffe zu bezeichnen, deren ursprüngliche Funktion nicht in der Nutzung ihrer chemischen Energie zur Gewinnung von thermischer Energie bestand, sondern eine nach Beendigung der ursprünglichen Funktion durchgeführte Energieumwandlung eine thermische Nachnutzung darstellt, durch welche der Einsatz primärer und sekundärer Energieträger ersetzt oder vermindert werden kann. Die wichtigsten der in der Zementindustrie zum Einsatz kommenden Ersatzbrennstoffe sind in Abbildung 13 dargestellt.

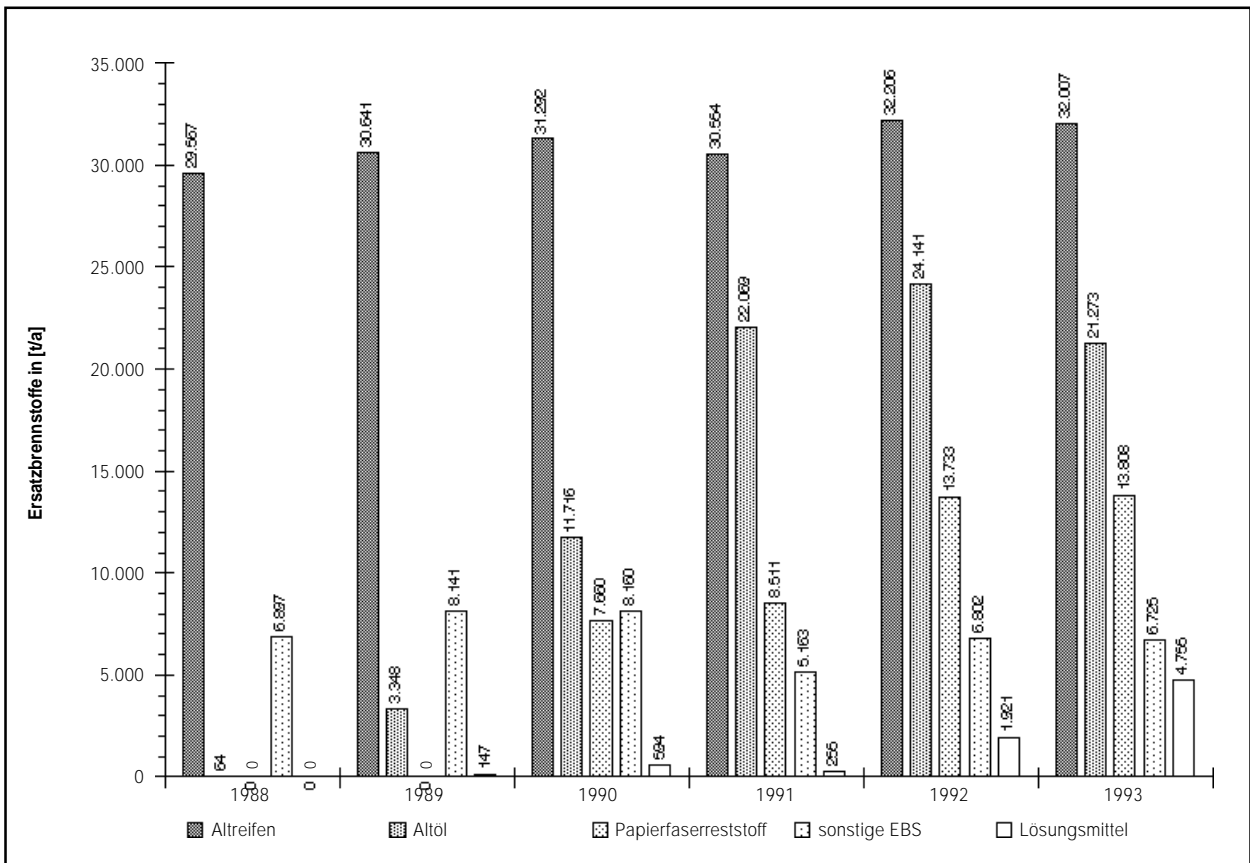
In den Jahren seit 1988 konnten die benutzten Mengen systematisch gesteigert werden, wodurch der Anteil der Ersatzbrennstoffe am gesamten Energieeinsatz von 6,0% auf 14,3% gesteigert werden konnte. In einzelnen Werken liegt dieser Anteil noch wesentlich höher.

Kohlenstoffhaltige Ersatzbrennstoffe liefern bei ihrer Verbrennung ebenso Kohlendioxid wie konventionelle Brennstoffe. Zu den Vorteilen von Ersatzbrennstoffen sind zu zählen der Ersatz nicht regenerierbarer fossiler Brennstoffe sowie das teilweise Vermeiden der Bereitstellungsenergien und der damit verbundenen Treibhausgasemissionen. Hinzu kommt, daß neben der Nutzung des Energieinhaltes auch nicht energetisch zu nutzende Inhaltsstoffe der Ersatzbrennstoffe eine chemische, somit stoffliche Verwertung im zu erzeugenden Produkt finden.

Voraussetzung für eine solche doppelte Nutzung ist nicht nur die geeignete technische Einrichtung für den thermischen, chemischen Prozeß, sondern eine Beaufschlagung und Befuerung mit Ersatzbrennstoffen, die in Kombination mit richtiger Betriebsführung der technischen Anlage das Einhalten von Emissionsstandards sicherstellt. [17]

▼ Abbildung 12: Stoffflußschema für zementherzeugende Anlagen





▲ Abbildung 13: Einsatz von Ersatzbrennstoffen in Anlagen der österreichischen Zementindustrie

10. Sekundärroh- und Sekundärzumahlstoffe

Eine Übersicht über die von der österreichischen Zementindustrie verwendeten sekundären Roh- und sekundären Zumahlstoffe sind der Tabelle 20 zu entnehmen.

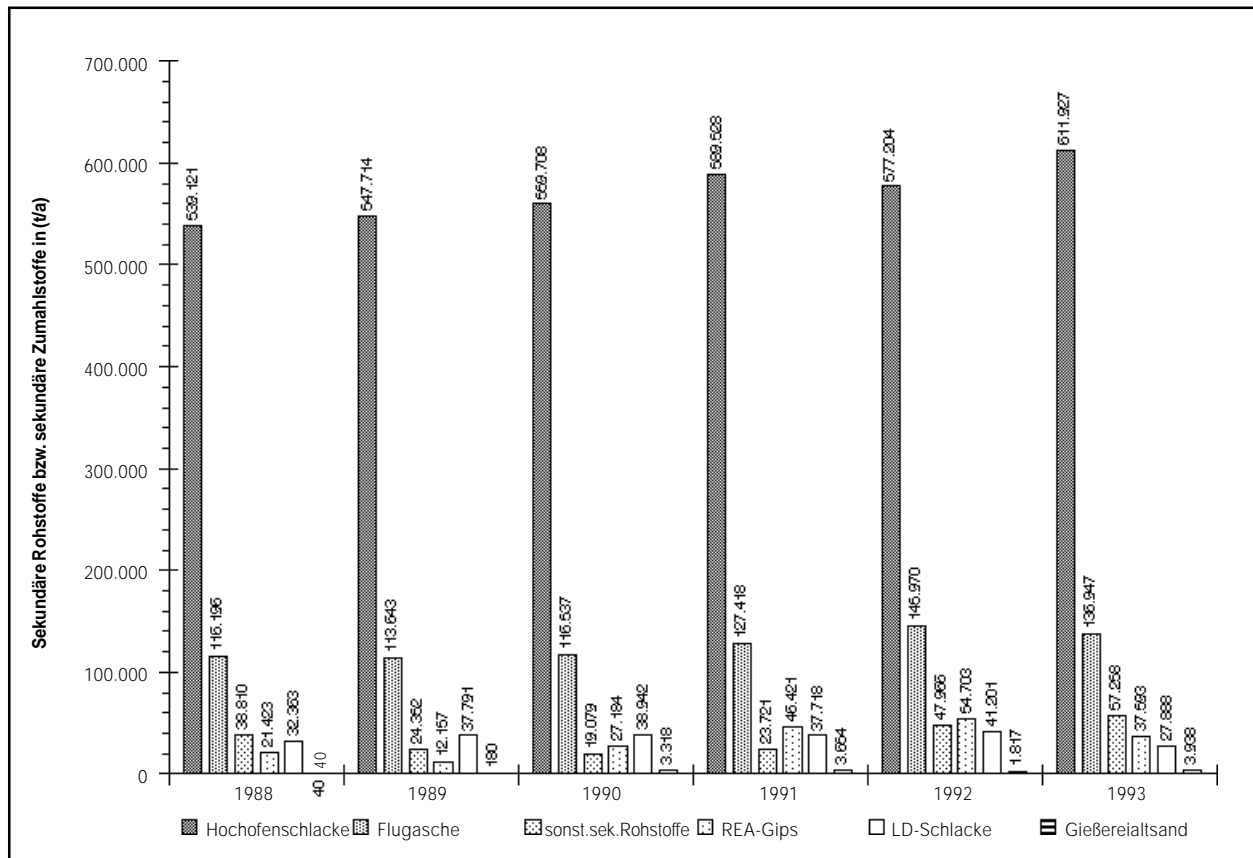
Sekundärrohstoffe und -zumahlstoffe sind Materialien, die bereits in anderen Produktionsbereichen ihre Funktion erfüllt haben oder bei anderen technischen Verfahren als Folgeprodukt anfallen und durch den Einsatz in der Zementproduktion stofflich verwertet werden. Ähnlich wie bei den Ersatzbrennstoffen werden dadurch Ressourcen und Deponievolumen geschont. Da diese Folgeprodukte bei anderen Prozessen zwangsläufig anfallen, sind nur die durch den Transport zum Zementwerk entstehenden Emissionen zu bilanzieren. Bei der Verwendung primärer Rohstoffe sind jedoch zusätzlich die durch Abbau und Aufbereitung entstehenden energiebedingten Emissionen und Treibhausgasfreisetzungen zu berücksichtigen.

Der Einsatz der sekundären Zumahlstoffe erfolgt in der österreichischen Zementindustrie aufgrund systematischer Forschung in besonders hohem Ausmaß und beispielgebend für andere Industriestaaten wie Deutschland und die Schweiz. In der Schweiz fallen aufgrund der industriellen Strukturen z.B. Hochofenschlacke, REA-Gips, Flugasche nicht oder nicht in nennenswerten Mengen an. In Deutschland fallen diese Folgeprodukte an, haben jedoch in der deutschen Zementindustrie noch nicht in vergleichbarem Ausmaß Anwendung gefunden. Eine Quantifizierung der in der österreichischen Zementindustrie zum Einsatz gelangenden Sekundärroh- bzw. -zumahlstoffe kann der nachfolgenden Abbildung 14 entnommen werden.

Sekundärrohstoffe	LD-Schlacke Gießereialtsand WS-Asche Waschberge Kiesabbrand Spezialschlacken
Sekundärzumahlstoffe	Hochofenschlacke Flugasche REA-Gips

▲ Tabelle 20: Übersicht über die Sekundärroh- und -zumahlstoffe in der österreichischen Zementindustrie

▼ Abbildung 14: Einsatzmengen sekundärer Rohstoffe und sekundärer Zumahlstoffe in Anlagen der österreichischen Zementindustrie



11. Zusammenfassung

Für die nationalen Emissionsbilanzen, wie sie Österreich nicht nur als Beitrag für die Arbeit internationaler Organisationen, z.B. ECE, OECD, EU, sondern auch für die nationale Umweltpolitik benötigt, erfaßt man für die im Rahmen der im zweijährigen Rhythmus herausgegebenen Energieberichte der Österreichischen Bundesregierung die Schadstoffe Schwefeldioxid, Stickstoffoxide, Staub, Kohlenmonoxid, Kohlenwasserstoffe und seit kurzem auch Kohlendioxid. Bei den für die Emittentengruppe Industrie angegebenen jährlichen Emissionsmassenströmen handelt es sich um pyrogene Emissionen aus der Verfeuerung von fossilen Energieträgern zur Gewinnung von thermischer Energie in Form von Dampf und/oder Elektrizität.

Nicht erfaßt werden die prozeßbedingten Emissionen der Industrie. Die Ermittlung dieser Emissionen kann meist nicht durch einfache Rechnung oder durch Anwenden repräsentativer Emissionsfaktoren erfolgen. Art und spezifische Mengen von prozeßbedingten Emissionen sind von zahlreichen Einflußfaktoren abhängig, die nicht nur von Branche zu Branche sehr verschieden sind, sondern auch innerhalb eines Industriezweiges stark variieren können.

Ohne Erfassung und Darstellung dieser prozeßbedingten Emissionen ist jedoch eine nur die pyrogenen Emissionen erfassende nationale Bilanz als Teilbilanz zu werten, die über die tatsächliche Emissionsbelastung keine Auskunft gibt.

Nach den Fachverbänden der chemischen Industrie und der Mineralölwirtschaft hat sich auch die österreichische Zementindustrie entschlossen, eine branchenspezifische Emissionsbilanz zu erarbeiten und damit auch ein Beispiel für andere Industriezweige zu geben.

Unter Berücksichtigung der für die Zementindustrie relevanten Schadstoffpotentiale wurden Emissionsdaten für 23 Schadstoffgruppen erhoben, darunter finden sich 12 Schwermetalle sowie Emissionsangaben über das Treibhausgas Kohlendioxid, unterteilt in pyrogenes CO₂ und prozeßbezogenes CO₂.

Mit der Einzeldarstellung der 12 wichtigsten Schwermetalle wurde erstmalig für Österreich eine so detaillierte Emissionsbilanz für die Gruppe der Schwermetalle erstellt.

Um die Qualität der Aussage von weniger systematischen Einflußgrößen unabhängiger zu machen und einen zeitlichen Verlauf darstellen zu können, wurden die Daten für einen Zeitraum von sechs Jahren, 1988 bis einschließlich 1993 erhoben.

Es wurden die 13 Produktionsanlagen der Zementindustrie in Österreich erfaßt.

Die Ermittlung der Daten erfolgte für jedes der erfaßten Werke in individueller Weise durch Besichtigung der Werksanlagen, Erfassung und Auswertung der werkseigenen Aufzeichnungen sowie der im Auftrag des jeweiligen Werkes durchgeführten Messungen, Analysen und Untersuchungen von unabhängigen Instituten und wissenschaftlichen Einrichtungen.

In jenen Positionen, in welchen werksspezifische Daten in unzureichendem Maß vorlagen, mußten Analogieberechnungen vorgenommen werden.

Die Gesamtdarstellung der Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie erfolgt durch Addition der Emissionskennzahlen aller 13 Betriebsstandorte, bei gleichzeitiger Wahrung der gewünschten Vertraulichkeit werksspezifischer Einzelwerte.

Aus der in Tabelle 5 zusammengestellten Übersicht über die pyrogenen Emissionen der Zementindustrie der Jahre 1988 bis 1993 können folgende Entwicklungen erkannt werden.

▼ **Tabelle 5:** Emissionen diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie (1988 - 1993)

Vergleichsjahr	1988	1989	1990	1991	1992	1993
Komponente	Emission [t / Jahr]	Emission [t / Jahr]	Emission [t / Jahr]	Emission [t / Jahr]	Emission [t / Jahr]	Emission [t / Jahr]
Staub	208,79	151,64	152,08	149,81	156,67	140,11
Stickstoffoxide (als NO ₂)	6.218,59	6.135,11	6.486,13	6.304,58	6.495,39	6.315,26
Schwefeldioxid (SO ₂)	1.168,47	1.231,24	1.101,07	1.061,86	1.033,14	929,55
chlorhaltige Verbindungen (als HCl)	17,55	17,80	17,00	17,92	19,45	19,79
fluorhaltige Verbindungen (als HF)	1,70	1,43	1,67	1,78	1,85	1,83
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	228,68	229,48	236,03	229,46	234,87	240,66
Kohlenmonoxid (CO)	11.604,23	11.445,05	10.851,05	11.631,69	11.482,13	10.761,79
pyrogenes Kohlendioxid (CO ₂)	1.029.416	1.028.793	1.054.661	1.037.776	1.107.181	1.038.294
(Schwer-)Metalle	1,24	1,21	1,31	1,51	1,37	1,39

Für Staub hat eine starke Reduktion der Emissionen stattgefunden, die sich, bezogen auf den Vergleich 1993 mit 1988, in einer Absenkung um rund 33% ausdrückt. Auch bei SO₂ konnte eine systematische Verminderung erreicht werden, die über den Vergleichszeitraum gerechnet rund 20% beträgt.

Bei den Komponenten Stickoxide und Kohlenmonoxid zeigen die einzelnen Jahre schwankende Werte, die über den Vergleichszeitraum gesehen eine nicht signifikante Zunahme in der Größenordnung von 1% ergeben. Gleiches gilt für die Emission von pyrogenem Kohlendioxid.

Die Emissionen an TOC-Verbindungen zeigen eine leichte Zunahme um rund 5%. Eine stärkere Zunahme ergibt sich bei Halogenverbindungen, bei welchen für Chlorverbindungen (als HCl) eine Zunahme um rund 13%, für Fluorverbindungen (als HF) eine solche um rund 7,5% resultiert. Aus orientierenden Analysen kann jedoch angenommen werden, daß die aufgrund der hohen Prozeßtemperaturen aus den Einsatzstoffen entstehenden gasförmigen Chlor- und Fluorverbindungen, als Säuren von basisch reagierenden Bestandteilen des Brenngutes neutralisiert und gebunden werden. Somit ist es wenig wahrscheinlich, daß HCl, HF oder andere gasförmige Halogenverbindungen emittiert werden. Es dürfte sich vielmehr um aus der Dampfphase kondensierte Feinststäube mit einem mittleren Partikeldurchmesser von kleiner 1 µm handeln, die aus Alkalisulfaten, Alkalichloriden, Calcium- oder Alkalifluoriden bestehen, die von den in gasanalytischen Untersuchungen eingesetzten Membranfiltern unvollständig zurückgehalten werden und infolge ihrer Löslichkeit in den verwendeten Absorptionsflüssigkeiten Anteile an gasförmigen Chlor- und Fluorverbindungen im Abgas vortäuschen.

Für die Summe der Schwermetalle liegt auf Grund der kalkulierten Jahreswerte eine absolute Erhöhung um rund 150 kg vor, die prozentuell eine Steigerung um 12% bedeutet. Dazu ist jedoch zu ergänzen, daß dies auch eine relativ starke Steigerung des Zinkanteiles einschließt. Hat der Zinkanteil 1988 38,5% betragen, so ist dieser Anteil 1993 auf rund 41,6% gestiegen.

Die vorstehend kommentierten Ergebnisse beziehen sich auf die Gesamtproduktion und sind daher auch abhängig von der jeweiligen Höhe der Jahresproduktion. Eine systematischere, emissionstechnisch sinnvollere Aussage läßt sich aus den auf eine Masseneinheit des Produktes bezogenen Emissionsfaktoren (g/t) ableiten. In Tabelle 6 sind daher die auf die Tonne Endprodukt (Zement) bezogenen Emissionsfaktoren zusammengestellt.

▼ **Tabelle 6:** Auf die Tonne Zement bezogene Emissionsfaktoren diverser Schadstoffe aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie für die Vergleichsjahre 1988 und 1993

Vergleichsjahr	1988	1993	
Komponente	Emissionsfaktor [g / t _{Zement}]	Emissionsfaktor [g / t _{Zement}]	Veränderung [%]
Staub	46,20	28,76	-37,75
Stickstoffoxide (als NO ₂)	1.376,00	1.296,48	- 5,78
Schwefeldioxid (SO ₂)	258,55	190,83	-26,19
chlorhältige Verbindungen (als HCl)	3,882	4,062	+ 4,64
fluorhältige Verbindungen (als HF)	0,376	0,376	± 0,00
org. Gesamtkohlenstoff (TOC)	50,600	49,406	- 2,36
Kohlenmonoxid (CO)	2.567,7	2.209,3	-13,96
pyrogenes Kohlendioxid (CO ₂)	227.780,5	213.154,1	- 6,42
(Schwer-)Metalle	0,275127	0,285020	+ 3,60
(Zink)	(0,106003)	(0,118589)	(+11,87)

Vergleicht man die Werte des Jahres 1993 mit jenen des Jahres 1988 so zeigen sich, mit Ausnahme von chlorhältigen Verbindungen und Summe der Schwermetalle bei allen Komponenten verringerte Werte. Die Prozente der verringerten spezifischen Emissionen reichen von 2,4% bei TOC über 5,8% bei NO_x, 6,4% bei pyrogenem CO₂ und 14% bei CO bis 26,2% bei SO₂ und 37,8% bei Staub. Bei einem unveränderten Wert für Fluorverbindungen (als HF) zeigen Chlorverbindungen (als HCl) eine Zunahme um 4,6%. Bei der Summe der Schwermetalle zeigt sich eine Erhöhung um rund 3,6%, worin für Zink mit einer Steigerung um 12% ein Anteil von fast 42% am Gesamtfaktor der Schwermetalle enthalten ist.

Zusammenfassend folgt daraus, daß durch logistische, verfahrenstechnische und stoffbezogene Maßnahmen spezifische Emissionsvermindierungen in unterschiedlichem Ausmaß für fast alle erfaßten Emissionskomponenten erzielt wurden, die sich jedoch nicht auf chlorhältige Verbindungen und die Summe der Schwermetalle erstrecken konnten.

In den vergangenen Jahren hat die österreichische Zementindustrie in steigendem Umfang auf primäre Brennstoffe durch Einsatz von Ersatzbrennstoffen verzichtet.

Kohlenstoffhaltige Ersatzbrennstoffe liefern bei ihrer Verbrennung ebenso Kohlendioxid wie konventionelle Brennstoffe. Zu den Vorteilen von Ersatzbrennstoffen sind zu zählen der Ersatz nicht regenerierbarer fossiler Brennstoffe sowie das teilweise Vermeiden der Bereitstellungsenergien und der damit verbundenen Treibhausgasemissionen. Hinzu kommt, daß neben der Nutzung des Energieinhaltes auch nicht energetisch zu nutzende Inhaltsstoffe der Ersatzbrennstoffe eine chemische, somit stoffliche Verwertung im zu erzeugenden Produkt finden.

Voraussetzung für eine solche doppelte Nutzung ist nicht nur die geeignete technische Einrichtung für den thermischen, chemischen Prozeß, sondern eine Beaufschlagung und Befuerung mit Ersatzbrennstoffen, die in Kombination mit richtiger Betriebsführung der technischen Anlage das Einhalten von Emissionsstandards sicherstellt.

Sekundärrohstoffe und -zumahlstoffe sind Materialien, die bereits in anderen Produktionsbereichen ihre Funktion erfüllt haben oder bei anderen technischen Verfahren als Folgeprodukt anfallen und durch den Einsatz in der Zementproduktion stofflich verwertet werden.

Da diese Folgeprodukte bei anderen Prozessen zwangsläufig anfallen, sind nur die durch den Transport zum Zementwerk entstehenden Emissionen zu bilanzieren.

Der Einsatz der sekundären Zumahlstoffe erfolgt in der österreichischen Zementindustrie aufgrund systematischer Forschung in besonders hohem Ausmaß und beispielgebend für andere Industriestaaten wie Deutschland und die Schweiz. In der Schweiz fallen aufgrund der industriellen Strukturen z.B. Hochofenschlacke, REA-Gips, Flugasche nicht oder nicht in nennenswerten Mengen an. In Deutschland fallen diese Folgeprodukte an, haben jedoch in der deutschen Zementindustrie noch nicht in vergleichbarem Ausmaß Anwendung gefunden.

Der spezifische Beitrag der Emissionen der Zementindustrie zu den Gesamtemissionen der österreichischen Industrie sowie zu den Emissionen aller vier Emittentengruppen, i.e. Kraft- und Wärmewerke, Verkehr, Kleinverbraucher, Industrie, wird in der folgenden Tabelle 7 dargestellt.

Bei der Beurteilung des Vergleiches mit den Emissionen der Gesamtindustrie ist unter anderem auch zu berücksichtigen, daß in den Vergleichsjahren 1988, 1990 und 1992 die Produktion in der Zementindustrie deutlich gestiegen ist, was jedoch nicht in allen Industriesparten der Fall war.

Der in Tabelle 10 dargestellte Anteil der Zementindustrie an den pyrogenen und industrieprozeßbezogenen Gesamtemissionen in Österreich zeigt folgendes Bild.

▼ **Tabelle 7:** Anteil der Zementindustrie an den Emissionen der gesamten Industrie in Österreich für die Vergleichsjahre 1988, 1990, und 1992

Vergleichsjahr	1988			1990			1992		
	Gesamte Industrie [t]	Zement-industrie [t]	Zement-industrie [%]	Gesamte Industrie [t]	Zement-industrie [t]	Zement-industrie [%]	Gesamte Industrie [t]	Zement-industrie [t]	Zement-industrie [%]
Schwefeldioxid (SO ₂)	66.000	1.169	1,77	49.500	1.101	2,22	35.400	1.033	2,92
Stickoxide (als NO ₂)	43.000	6.219	14,46	49.200	6.486	13,18	40.400	6.495	16,08
Staub	15.000	209	1,39	13.600	152	1,12	-	157	-
Kohlenmonoxid (CO)	240.000	11.604	4,84	268.000	10.851	4,05	220.000	11.482	5,22
TOC	40.000	229	0,57	18.300	236	1,29	31.700	235	0,74
Kohlendioxid (CO ₂)	14.700.000	2.991.000	20,35	13.200.000	3.088.000	23,40	13.800.000	3.212.000	23,28

▼ **Tabelle 10:** Anteil der Emissionen zementerzeugender Anlagen an den österreichischen Gesamtemissionen für die Vergleichsjahre 1988, 1990 und 1992

Vergleichsjahr	1988			1990			1992		
	Österreich [t]	Zement-industrie [t]	Zement-industrie [%]	Österreich [t]	Zement-industrie [t]	Zement-industrie [%]	Österreich [t]	Zement-industrie [t]	Zement-industrie [%]
Schwefeldioxid (SO ₂)	122.200	1.169	0,96	92.500	1.101	1,19	75.900	1.033	1,36
Stickoxide (als NO ₂)	225.700	6.219	2,76	225.400	6.486	2,88	200.800	6.495	3,23
Staub	39.000	209	0,54	38.200	152	0,40	-	157	-
Kohlenmonoxid (CO)	1.577.000	11.604	0,74	1.682.400	10.851	0,65	1.413.600	11.482	0,81
TOC	431.500	229	0,05	415.100	236	0,06	402.600	235	0,06
Kohlendioxid (CO ₂)	55.971.000	2.991.000	5,34	61.523.000	3.088.000	5,02	59.325.000	3.212.000	5,41

Symbolik: * für CO₂: Vergleich der pyrogenen und prozeßbezogenen Emission der Zementindustrie mit der österreichweiten pyrogenen und prozeßbedingten CO₂-Gesamtemission; für die anderen Schadstoffe: Vergleich ausschließlich der pyrogenen Emissionen aus den Anlagen der österreichischen Zementindustrie mit den pyrogenen und prozeßspezifischen österreichweiten Gesamtemissionen

- **Stickoxide**

Beim Emissionsanteil der Zementindustrie an der Gesamtindustrie fällt im Bereich der Schadstoffe der relativ starke Anteil der NO_x-Emissionen mit durchschnittlich rund 15% auf. Der NO_x-Rückgang im Bereich Gesamtindustrie ist sowohl auf den verstärkten Einsatz von Brennstoffstickstoff-freiem Erdgas als auch auf den Einsatz von feuerungstechnischen Maßnahmen zurückzuführen.

- **Kohlendioxid**

Von der gesamten CO₂-Emission aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie entfällt nur rund ein Drittel auf pyrogenes CO₂, der Hauptanteil von zwei Drittel entsteht prozeßbedingt durch die Dekarbonatisierung des eingesetzten Kalksteins. Aus der Entwicklung der spezifischen CO₂-Gesamt- sowie der spezifischen pyrogenen CO₂-Emission ist ersichtlich, daß seit 1990 dieser jeweilige Wert - mit Ausnahme von 1992 - um rund 4% bzw. 5% reduziert werden konnte. Dennoch stieg der Anteil der gesamten CO₂-Emission im Vergleichszeitraum von rund 20% auf 23% der Gesamtindustrie an.

- **Schwefeldioxid**

Der Anteil an der gesamtindustriellen SO₂-Emission ist von knapp 1,8% auf unter 3% der Gesamtindustrie gestiegen. Dies ist auf einen verstärkten Einsatz von schwefelarmen und schwefelfreien Brennstoffen im industriellen Bereich zurückzuführen. Auf Gesamtösterreich bezogen liegt der Beitrag im Bereich von 1%.

- **Kohlenmonoxid**

Trotz der teilweise hohen CO-Konzentrationen in Abgasen aus zementerzeugenden Anlagen liegt ihr Beitrag zur gesamtindustriellen CO-Emission im Bereich von 5,2%, auf ganz Österreich bezogen deutlich unter 1%.

- **Staubförmige Emission**

Bei Staub ist aufgrund der fehlenden Angaben über staubförmige Emissionen aus österreichischen Industrieanlagen und in weiterer Folge aufgrund der fehlenden Angaben über staubförmige Emissionen der Gesamtindustrie die Datenlage unvollständig. Für den früheren Bezugszeitraum (1988 - 1990) ergeben sich im Bereich der Industrie Beiträge von rund 1,4%, auf rund 1,1%, für ganz Österreich von 0,5% auf 0,4% abnehmend.

- **Organische Verbindungen**

Für organische Verbindungen ist der Anteil der Zementindustrie an der Emission der Gesamtindustrie - sieht man von 1990 ab - weit unter 1% liegend, für Gesamtösterreich in der Größenordnung von hundertstel Prozent.

- **Schwermetalle**

Für die im wesentlichen durch die chemische Zusammensetzung der eingesetzten Stoffe verursachten Schwermetallemissionen sind, wie aus nebenstehender Tabelle 12 zu entnehmen ist, erwähnenswerte Anteile für Zink, Chrom, Cadmium und Quecksilber zu nennen, wobei luft-hygienisch die beiden letztgenannten von Bedeutung sind. Aus gesamtösterreichischer Sicht liefert bei Quecksilber die Industrie mit 2,05 t vor den Kleinfeuerungen mit 1,18 t den stärksten Beitrag. Bei Cadmium liegen der Verkehr mit 2,83 t und Kleinfeuerungen mit 1,57 t an der Spitze.

Vergleichsjahr	1992		
	Österreich Gesamt [t]	Zement- industrie [t]	Zement- industrie [%]
Blei (Pb)	216,9	0,147	0,07
Zink (Zn)	99,4	0,545	0,55
Nickel (Ni)	30,4	0,012	0,04
Kupfer (Cu)	21,7	-	-
Chrom (Cr)	5,6	0,024	0,43
Selen (Se)	5,3	< 0,001	< 0,02
Cadmium (Cd)	5,1	0,027	0,53
Arsen (As)	4,6	0,011	0,24
Quecksilber (Hg)	4,3	0,063	1,47

- **Dioxin- und Furanverbindungen**

Prinzipiell ist der im Drehrohr ablaufende Hochtemperaturprozeß sehr gut geeignet, kritische organische Verbindungen einer thermischen Destruktion zu unterziehen. Dennoch könnte durch eine nachfolgende de novo-Synthese eine Neubildung solcher Verbindungen stattfinden, und - wenn keine sekundäre Emissionsminderung vorhanden ist - eine Emission solcher Verbindungen erfolgen. Erfahrungsgemäß sind diese Werte in der Zementindustrie sehr gering.

Kontrollmessungen, die in vier der dreizehn österreichischen Zementwerke im Rahmen von Einsatzversuchen mit Ersatzbrennstoffen durchgeführt wurden, haben dies bestätigt und TCDD-Äquivalentkonzentrationen ergeben, die in der Größenordnung von einer Zehnerpotenz und mehr unter dem Emissionsgrenzwert für Müll- und Altölverbrennungsanlagen von 0,1 ng/m³ (Vn) liegen.

▲ **Tabelle 12:** Anteil der Zementindustrie an den österreichweiten Gesamtschwermetallemissionen (1992)

- *Halogenverbindungen*

Für Halogenverbindungen stehen Vergleichsbilanzen nicht zur Verfügung.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Anlagen der österreichischen Zementindustrie in ihrer großen Mehrheit den in anderen westlichen Industriestaaten bestehenden Emissionsvorschriften entsprechen können und dies auch für die in Österreich erlassene Verordnung gilt. Für jene Einzelfälle, in welchen ein bestimmter in den kommenden Jahren zu erreichender Emissionsgrenzwert noch nicht eingehalten wird, stehen primäre und sekundäre Maßnahmen zur Emissionsminderung zur Verfügung, mit welchen die notwendige Absenkung erzielt werden kann.

Im Zeitraum der vergangenen sechs Jahre (1988 - 1993) traten für die Jahresemissionen der gesamten Zementindustrie für die einzelnen Schadstoffe produktionsbedingt Schwankungen auf. An Hand der mengenspezifischen Emissionsfaktoren zeigt sich jedoch, daß mit Ausnahme von Chlorverbindungen und der mengenmäßig unbedeutenden (Schwer-) Metalle bei allen übrigen Schadstoffen Reduktionen im Bereich zwischen 2% und 38% erreicht wurden.

Im Zusammenhang mit der Funktion, die die Zementindustrie für die österreichische Abfallwirtschaft erfüllt, ist in der Diskussion um eine allfällige Erweiterung der Ersatzbrennstoffarten die Frage nach damit verbundenen neuen Emissionsgrenzwerten gestellt worden. Eine solche Erweiterung könnte getrennt gesammelte, werkstofflich nicht zu verwertende Altkunststoffe aus den Kategorien der Um- und der Verkaufsverpackungen erfassen.

Die derzeit in Novellierung stehende Verpackungsverordnung wird, aller Voraussicht nach, den Begriff der thermischen Verwertung solcher Abfälle neu definieren und die für den möglichen Einsatz eines solchen Ersatzbrennstoffes zu berücksichtigenden Bedingungen festlegen.

12. Literaturverzeichnis

- [1] "100 Jahre Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie", Zement + Beton Handels- und Werbeges.m.b.H. Wien (1994) 109 S.
- [2] "Energiebericht 1993 der Österreichischen Bundesregierung", Bundesministerium für wirtschaftliche Angelegenheiten, Wien (1993) 196 S.
- [3] "Energie / CO₂-Positionspapier der österreichischen Industrie", Industriellenvereinigung, Wien (1994)
- [4] "Umwelt in Österreich - Daten und Trends 1992", Österreichisches Statistisches Zentralamt in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt, Wien (1992)
- [5] Winiwarter, W.; Schneider, M.: "Abschätzung der Schwermetallemissionen in Österreich", Österreichisches Umweltbundesamt, Forschungszentrum Seibersdorf, Wien (1995) 61 S.
- [6] "Umwelt in Österreich - Daten und Trends 1994", Österreichisches Statistisches Zentralamt in Zusammenarbeit mit dem Umweltbundesamt, Wien (1994)
- [7] Sprung, S.: "Emissionsprognosen beim Einsatz von Abfallbrennstoffen", Zement - Kalk - Gips 37 (10), (1984) S. 519 - 522
- [8] "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)
- [9] "Luftreinhalte-Verordnung (LRV)", des Schweizerischen Bundesrates (SR 814.318.142.1), gestützt auf die Artikel 12, 13, 16 und 39 des Bundesgesetzes vom 7. Oktober 1983 (SR 814.01) über den Umweltschutz (Stand: 1993) 85 S.
- [10] "Gemeinschaftsrecht im Bereich des Umweltschutzes Band 2 - Luft", Amt für Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaft, Luxemburg (1993) 345 S.
- [11] "Environmental Protection Act" Ministry of the Environment, Denmark, Danish Environmental Protection Agency, København (1992) 28 S.
- [12] "Industrial Air Pollution Control Guidelines" Ministry of the Environment, Denmark, Danish Environmental Protection Agency, København (1992) 128 S.
- [13] "Statutory Order from the Ministry of the Environment No. 794 of December 9, 1991, on Approval of Listed Activities", Ministry of the Environment, Denmark, Danish Environmental Protection Agency, København (1993) 17 S.
- [14] Sprung, S.: "Technologische Probleme beim Brennen des Zementklinkers - Ursachen und Lösungen", Schriftenreihe der Zementindustrie 43, Beton Verlag GmbH, Düsseldorf (1992)
- [15] Sprung, S.: "Spurenelemente - Anreicherung und Minderungsmaßnahmen", Zement - Kalk - Gips 41 (5) (1988) S. 251 - 257
- [16] "Regelung über die Abfallentsorgung in Zementwerken - Teilbericht 1: Brennstoffe", Dr. Graf AG im Auftrag des Schweizerischen Bundesamtes für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern (1994) 42 S.