

DIN ISO 19694-3



Diese Norm ist Bestandteil des VDI/DIN-Handbuches Reinhaltung der Luft, Band 2.

ICS 13.020.40; 13.040.40

Einsprüche bis 2021-06-09

Entwurf

**Emissionen aus stationären Quellen –
Bestimmung von Treibhausgasen (THG) aus energieintensiven
Industrien –
Teil 3: Zementindustrie (ISO/DIS 19694-3:2021);
Text Deutsch und Englisch**

Stationary source emissions –

Determination of greenhouse gas emissions in energy-intensive industries –

Part 3: Cement industry (ISO/DIS 19694-3:2021);

Text in German and English

Émissions de sources fixes –

Détermination des émissions des gaz à effet de serre dans les industries à forte intensité
énergétique –

Partie 3: Industrie du ciment (ISO/DIS 19694-3:2021);

Texte en allemand et anglais

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2021-04-09 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-
Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de,
sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an krdl@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im
Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-
Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss,
40002 Düsseldorf, Postfach 10 11 39 oder VDI-Platz 1, 40468 Düsseldorf.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 176 Seiten

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) - Normenausschuss

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Nationaler Anhang NA (informativ) Literaturhinweise	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich.....	12
2 Normative Verweisungen	12
3 Begriffe	13
4 Symbole und Abkürzungen.....	17
5 Bestimmung von Treibhausgasen	18
5.1 Allgemeines	18
5.2 Wichtigste Treibhausgase aus der Zementherstellung.....	18
5.3 Bestimmung durch Emissionsmessungen im Abgas.....	18
5.4 Bestimmung anhand einer Massenbilanz.....	19
5.5 Brutto- und Nettoemissionen.....	19
5.5.1 Allgemeines	19
5.5.2 Bruttoemissionen	21
5.5.3 Sonstige Reduktionen von indirekten Treibhausgasemissionen	23
6 Grenzen des Treibhausgasinventars.....	25
6.1 Allgemeines	25
6.2 Berichtsgrenzen.....	25
6.3 Organisationsbezogene Grenzen	27
6.3.1 Allgemeines	27
6.3.2 Welche Werke abgedeckt werden sollten	27
6.3.3 Kriterien für die operative Kontrolle und Eigentümerschaft	28
6.3.4 Interner Transfer von Klinker, Zement und MIC	29
7 Direkte Treibhausgasemissionen und deren Bestimmung	30
7.1 Allgemeines	30
7.2 CO ₂ aus der Rohmaterialkalzinierung	33
7.2.1 Allgemeines	33
7.2.2 Input-Methoden A1 und A2.....	36
7.2.3 Output-Methoden B1 und B2.....	41
7.3 Berichterstattung der CO ₂ -Emissionen aus der Rohmaterialkalzinierung beruhend auf dem Klinkeroutput: Zusammenfassung der Empfehlungen von IPCC und CSI und des Standardwerts für den Klinkeremissionsfaktor	45
7.4 Bestimmung des Kalzinierungsgrades von Filterstaub.....	46
7.5 Direkte Bestimmung des CO ₂ -Emissionsfaktors für Filterstaub aus der Analyse des CO ₂ -Gehalts	46
7.6 Zementspezifische Aspekte für Brennstoffe.....	47
7.6.1 Konventionelle fossile Brennstoffe.....	47
7.6.2 Alternative Brennstoffe.....	48
7.7 Treibhausgase aus Ofenbrennstoffen	49
7.8 Treibhausgase aus Nicht-Ofenbrennstoffen	49
7.9 Treibhausgase aus der Verbrennung von Abwasser	50

7.10	Nicht-CO₂-Treibhausgasemissionen aus der Zementindustrie	51
8	Indirekte Treibhausgasemissionen und deren Bestimmung	51
8.1	Allgemeines	51
8.2	CO₂ aus der externen Erzeugung elektrischer Energie	52
8.3	CO₂ aus zugekauftem Klinker	52
9	Basislinien, Übernahmen und Veräußerungen.....	53
10	Berichterstattung.....	54
10.1	Allgemeines	54
10.2	Umweltberichterstattung von Unternehmen	54
10.3	Berichtszeiträume.....	55
10.4	Leistungskennzahlen	56
10.4.1	Allgemeines	56
10.4.2	Nenner	56
11	Unsicherheit von Treibhausgasinventaren	64
11.1	Einführung in die Unsicherheitsbewertung	64
11.1.1	Grundsätzliche Überlegungen	64
11.1.2	Wesentlichkeitsschwellen	67
11.2	Unsicherheit der Tätigkeitsdaten	67
11.2.1	Messgeräte zur Bestimmung der Brennstoff- und Materialmengen	67
11.2.2	Aggregierte Unsicherheiten bei Massenbilanzen.....	68
11.3	Unsicherheiten der Brennstoff- und Materialparameter	68
11.3.1	Laboranalysen zur Bestimmung der Brennstoff- und Materialparameter	68
11.3.2	Unsicherheiten des gesamten Wärmeverbrauchs und der CO₂-Emissionen von Brennstoffen.....	68
11.4	Unsicherheiten der kontinuierlichen Abgasmessungen	69
11.5	Beurteilung der Gesamtunsicherheit eines Treibhausgasinventars	69
11.6	Anwendung von Standardwerten anstelle von Analysenergebnissen	69
Anhang A (informativ)	Ergebnisse aus Feldversuchen (analytische Interferenzen)	71
A.1	Laboranalysen und Auswahl geeigneter Verfahren	71
A.2	Kalzinierungsgrad von Bypass-Staub und Bestimmung des CO₂-Emissionsfaktors.....	72
A.3	Korrekte Referenz der Parameter in Bezug auf Feuchte	73
A.4	Zusammenfassung der Ergebnisse der Stoffstromemissionen im Abgas (einschließlich Nicht-CO₂-Treibhausgase).....	73
A.5	Relevanz der Nicht-CO₂-Treibhausgase	74
Anhang B (informativ)	Emissionsfaktoren	75
B.1	Standardemissionsfaktoren.....	75
B.2	Herleitung der Berechnungsgleichung für den Emissionsfaktor von Filterstaub.....	75
Anhang C (informativ)	Unsicherheit von Tätigkeitsdaten	78
C.1	Messgeräte zur Bestimmung der Brennstoff- und Materialmengen	78
C.2	Aggregierte Unsicherheiten bei Massenbilanzen.....	79
C.3	Aggregierte Unsicherheiten bei kombinierten Parametern	83
Anhang D (informativ)	Überblick der für ein Zementwerk geltenden Begriffe.....	84
Anhang E (informativ)	Hinweise zur Anwendung dieser Norm (Verifizierungsverfahren).....	86
Literaturhinweise.....		88

Nationales Vorwort

ISO 19694-3 wurde von Arbeitsgruppe ISO/TC 146/SC 1/WG 30 „Greenhouse gases in energy-intensive industries – Specific sectors“, des Technischen Komitees ISO/TC 146, „Air quality“, Subcommittee (SC 1), „Stationary source emissions“, erarbeitet. Obmannschaft und Sekretariat der WG 30 liegen bei Deutschland. An der Erstellung dieser Norm waren der Fachbereich I „Umweltschutztechnik“ der VDI/DIN Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss maßgeblich beteiligt.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 134-01-90 AA der VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des Norm-Entwurfs beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfs gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in den Literaturhinweisen zitierten internationalen Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 20988 siehe DIN EN ISO 20988

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 20988, *Luftbeschaffenheit — Leitlinien zur Schätzung der Messunsicherheit*

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 146, *Air quality*, Unterkomitee SC 1, *Stationary source emissions* erarbeitet.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 19694 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Diese Internationale Norm für die Zementindustrie beruht auf dem „CO₂ and Energy Accounting and Reporting Standard for the Cement Industry“ des WBCSD/CSI und des WRI [1].

Überblick über den Zementherstellungsprozess

Die Zementherstellung umfasst 3 wesentliche Prozessschritte (siehe Bild 1):

- a) Aufbereitung von Rohmaterial und Brennstoffen;
- b) Herstellung von Klinker, einem Zwischenprodukt, durch Hochtemperaturverarbeitung der Rohmaterialien;
- c) Mahlen und Mischen des Klinkers mit anderen Produkten („mineralische Komponenten“) zur Herstellung von Zement.

Im Produktionsprozess gibt es zwei wesentliche Quellen für direkte CO₂-Emissionen: die Kalzinierung der Rohmaterialien im Klinkerbrennprozess und das Verbrennen von Brennstoffen im Ofen. Diese beiden Quellen sind im Folgenden ausführlicher beschrieben. Weitere CO₂-Quellen umfassen direkte Treibhausgasemissionen aus Nicht-Ofenbrennstoffen (Brennstoffen, die nicht in den Drehrohröfen verwendet werden, sondern z. B. zum Trocknen von Zementbestandteilen, zur Raumheizung, zum Transport auf dem Gelände und für die eigene Stromerzeugung) sowie indirekte Treibhausgasemissionen, z. B. aus der externen Stromerzeugung und dem Transport außerhalb des Geländes. Die im Kyoto-Protokoll genannten sonstigen Nicht-CO₂-Treibhausgase,¹ außer Kohlenstoffmonoxid (CO), Methan (CH₄) und Distickstoffmonoxid (N₂O), sind in diesem Zusammenhang nicht relevant, da die direkten Treibhausgasemissionen dieser Gase vernachlässigbar sind.

1 Methan (CH₄), Distickstoffmonoxid (N₂O), Schwefelhexafluorid (SF₆), teilhalogenierte Fluorkohlenwasserstoffe (H-FKW) und perfluorierte Kohlenwasserstoffe (FKW)

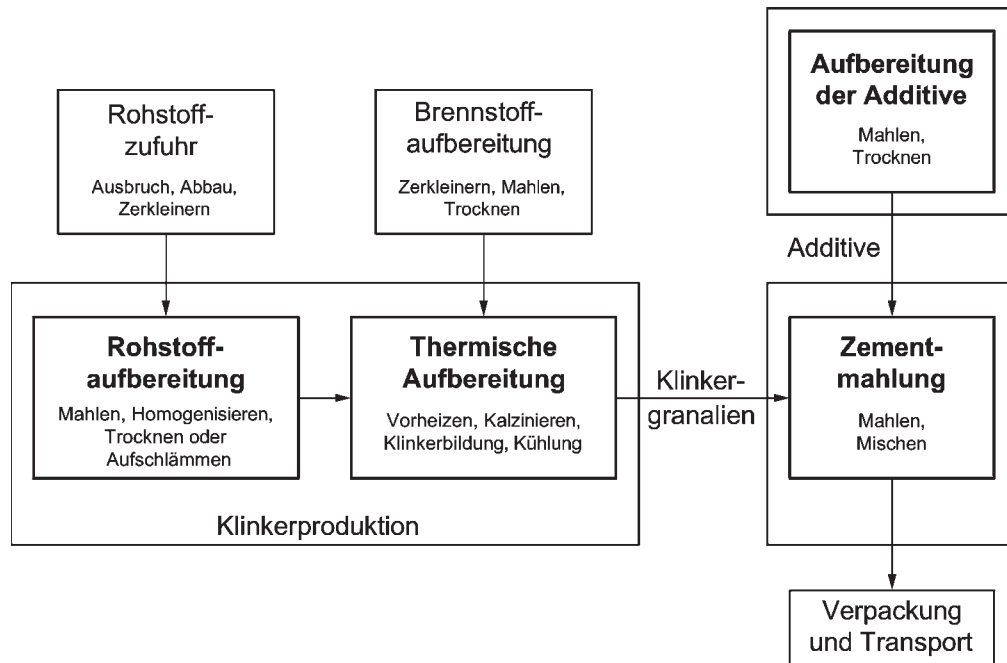


Bild 1 — Prozessschritte bei der Zementherstellung
(Quelle: Ellis 2000, basierend auf Ruth et al. 2000)

Tabelle 1 — Überblick über die Einsatzorte von Materialien

Rohmehl	Einsatzort
Rohmaterialien aus natürlichen Ressourcen	Rohmühle
Alternative Rohmaterialien	Rohmühle
Rohmaterialströme für die Klinkerherstellung	Einsatzort
Rohmehl	Ofenaufgabe
Brennstoffasche	Brenner oder Vorwärmer oder Brennstofftrockner
Zusätzliche Rohmaterialien, die nicht Teil des Ofenmehls sind	Ofeneinlauf
Brennstoffströme für die Klinker- und Zementherstellung	Einsatzort
Fossile Brennstoffe	Brenner oder Vorwärmer oder Brennstofftrockner oder Rohmaterialtrockner
Alternative Brennstoffe	Brenner oder Vorwärmer oder Brennstofftrockner oder Rohmaterialtrockner
Alternative fossile Brennstoffe	Brenner oder Vorwärmer oder Brennstofftrockner oder Rohmaterialtrockner
Mischbrennstoffe	Brenner oder Vorwärmer oder Brennstofftrockner oder Rohmaterialtrockner
Biomassebrennstoffe	Brenner oder Vorwärmer oder Brennstofftrockner oder Rohmaterialtrockner
Zementofenstaub	Austragsort
Rückgeführter Staub	Vorwärmer
Filterstaub	Abscheider/Filter
Bypass-Staub	Bypassfilter
Produkte aus Zementbestandteilen	Austragsort
Klinker	Ofen (Kühler)
Zement	Zementmühle
Hüttensand (Hochofenschlacke)	Zementmühle oder Mahlstation
Flugasche	Zementmühle oder Mahlstation
Gips	Zementmühle oder Mahlstation
Kühlerstaub	Kühler, wird normalerweise dem Klinkerstrom zum Klinkersilo beigefügt
Zementofenstaub	Vorwärmer, Abscheider, Filter oder Bypassfilter
Kalkstein	Zementmühle oder Mahlstation

Gebrannter Schiefer	Zementmühle oder Mahlstation
Puzzolan	Zementmühle oder Mahlstation
Silicastaub	Zementmühle oder Mahlstation

CO₂ aus der Kalzinierung von Rohmaterialien

Im Klinkerherstellungsprozess wird CO₂ durch den chemischen Zerfall von Calcium-, Magnesium- und weiteren Carbonaten (z. B. aus Kalkstein) zu Kalk freigesetzt:



Dieser Vorgang wird als „Kalzinierung“ oder „Entsäuerung“ bezeichnet. Er führt zu direkten CO₂-Emissionen durch den Drehofenkamin. Bei Berücksichtigung der CO₂-Emissionen aus der Kalzinierung können zwei Komponenten unterschieden werden:

- CO₂ aus den für die eigentliche Klinkerherstellung verwendeten Rohmaterialien; diese Rohmaterialien kalzinieren im Klinkerherstellungsprozess vollständig;
- CO₂ aus Rohmaterialien, die das Ofensystem als teilkalzinierter Zementofenstaub (en: calcined cement kiln dust, CKD) oder als normalerweise vollständig kalzinierter Bypass-Staub verlassen.

CO₂ aus der eigentlichen Klinkerherstellung verhält sich proportional zum Kalkgehalt des Klinkers,² der wiederum im zeitlichen Verlauf oder von Zementwerk zu Zementwerk nur wenig schwankt. Daher ist der CO₂-Emissionsfaktor je Tonne Klinker recht stabil, wobei in dieser Norm ein Standardwert von 525 kg CO₂ je Tonne Klinker angesetzt wird (IPCC-Standardwert: 510 kg CO₂/t Klinker, CSI-Standardwert: 525 kg CO₂/t Klinker [19]).

Die Menge an aus dem Ofensystem ausgeschleusten Ofenstaub variiert je nach Ofentyp und Zementqualitätsnormen erheblich und reicht von praktisch 0 bis über 100 Kilogramm je Tonne Klinker. Wahrscheinlich sind in einigen Ländern oder Werken die damit verbundenen Emissionen von Bedeutung.

CO₂-Emissionen aus der Kalzinierung von Rohmaterialien können nach zwei im Prinzip gleichwertigen Methoden berechnet werden: Entweder auf der Grundlage der Menge und chemischen Zusammensetzung der Produkte (Klinker zuzüglich des aus dem Ofensystem ausgeschleusten Staubs, Output-Methoden B1 und B2) oder auf der Grundlage der Menge und Zusammensetzung der in den Ofen eingebrachten Rohmaterialien (Input-Methoden A1 und A2). Zu den Einzelheiten siehe 7.2.1 und 7.2.2.

2 Ein zweiter, jedoch bedeutend kleinerer Faktor ist der CaO- und MgO-Gehalt der verwendeten Rohmaterialien und Zusätze.

CO₂ aus organischem Kohlenstoff in Rohmaterialien

Die zur Klinkerherstellung verwendeten Rohmaterialien enthalten üblicherweise einen geringen Anteil an organischem Kohlenstoff, der als gesamter organischer Kohlenstoff (TOC, en: total organic carbon) angegeben werden kann. Organischer Kohlenstoff im Rohmehl wird im Klinkerbrennprozess in CO₂ umgewandelt. Der Beitrag dieser Komponente zu den CO₂-Gesamtemissionen eines Zementwerks ist üblicherweise sehr gering (etwa 1 % oder weniger). Der organische Kohlenstoffgehalt der Rohmaterialien kann jedoch je nach Ort und je nach Art der verwendeten Materialien erheblich schwanken. Zum Beispiel können die resultierenden Emissionen relevant sein, wenn die Organisation des Zementunternehmens (in dieser Norm verwendet) große Mengen an bestimmten Arten von Flugasche oder Schiefer als Rohmaterialien im Ofen einsetzt.

CO₂ aus Brennstoffen für den Ofenbetrieb

In der Zementindustrie werden traditionell verschiedene fossile Brennstoffe zum Betrieb der Zementöfen eingesetzt, darunter Kohle, Petrolkoks, Heizöl und Erdgas. Brennstoffe, die aus Abfallstoffen gewonnen werden, sind ein wichtiger Ersatz für konventionelle fossile Brennstoffe geworden. Diese alternativen Brennstoffe (en: alternative fuel, AF) umfassen Fraktionen, die von fossilen Brennstoffen stammen, z. B. Altöl und Altkunststoffe, sowie auf Biomasse basierende Fraktionen, z. B. Abfallholz und entwässerter Schlamm aus der Abwasserbehandlung. Darüber hinaus werden zunehmend Brennstoffe eingesetzt, die sowohl fossilen als auch biogenen Kohlenstoff enthalten (Mischbrennstoffe), z. B. (vorbehandelte) kommunale und (vorbehandelte) industrielle Abfälle (die Kunststoffe, Textilien, Papier usw. enthalten) oder Altreifen (die Naturkautschuk und synthetischen Kautschuk enthalten).

Sowohl die traditionellen als auch die alternativen Brennstoffe führen zu direkten CO₂-Emissionen durch den Drehofenkamin. Biomasse und flüssige Biobrennstoffe gelten jedoch als „klimaneutral“ entsprechend den IPCC-Definitionen. Die Verwendung alternativer Brennstoffe (aus Biomasse oder fossilen Ursprungs) kann darüber hinaus an anderer Stelle zu erheblichen Emissionsreduktionen führen, zum Beispiel in Abfallverbrennungsanlagen oder auf Deponien.

Mineralische Komponente (en: mineral components, MIC) sind natürliche und künstliche Materialien mit latenten hydraulischen Eigenschaften. Beispiele für MIC sind natürlich vorkommendes Puzzolan, Hüttensand und Flugasche. Außerdem gilt Gips im Rahmen dieser Norm als mineralische Komponente. MIC werden dem Klinker zugegeben, um das Zementgemisch herzustellen. In einigen Fällen werden reine MIC vom Unternehmen, das den Fertigbeton herstellt, oder vom Bauunternehmen direkt dem Beton zugesetzt. Die Verwendung mineralischer Komponenten führt zu einer äquivalenten Reduktion der mit der Klinkerherstellung verbundenen direkten CO₂-Emissionen aus der Kalzinierung und aus der Verbrennung von Brennstoffen. Künstliche MIC sind Abfälle aus anderen Produktionsprozessen wie der Stahlproduktion und der kohlebasierten Stromerzeugung. Die damit verbundenen Treibhausgasemissionen werden vom entsprechenden Sektor überwacht und berichtet. Der Einsatz dieser mineralischen Komponenten als Klinker- oder Zementersatz zieht am Produktionsstandort keine zusätzlichen Treibhausgasemissionen nach sich. Daher dürfen diese indirekten Treibhausgasemissionen nicht im Inventar der Zementherstellung aufgeführt werden.

Die grundlegenden in dieser Norm angewendeten Massenbilanzmethoden sind mit den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) [4] und mit dem überarbeiteten Greenhouse Gas Protocol des WRI/WBCSD [9] vereinbar. Es werden die in diesen Dokumenten vorgeschlagenen Standardemissionsfaktoren angewendet, es sei denn, in der Zwischenzeit sind aktuellere industriespezifische Daten verfügbar geworden.

In den IPCC-Guidelines von 2006 [4] wurde eine Ebene-3-Methode für die Berichterstattung von CO₂-Emissionen aus der Zementherstellung eingeführt, die auf den eingesetzten Rohmaterialien basiert (Band III, Abschnitt 2.2.1.1, Gleichung 2.3). In vielen Zementwerken ist dieser Ansatz jedoch aufgrund der großen Anzahl der eingesetzten Rohmaterialien und der Notwendigkeit, deren chemische Zusammensetzung ständig zu überwachen, unpraktisch. Normalerweise werden die unterschiedlichen Rohmaterialien vor und während des Mahlens in der Rohmühle homogenisiert. Daher empfehlen WRI/WBCSD alternative Methoden

für die input-basierte Berichterstattung von CO₂-Emissionen für die Kalzinierung von Rohmaterialien in Zementwerken. Diese beruhen auf der Bestimmung der im Ofensystem verbrauchten Menge an Rohmehl. In vielen Zementwerken wird der homogenisierte Massenstrom des Rohmehls routinemäßig überwacht, was die chemische Analyse im Rahmen der Prozess- und Produktqualitätslenkung einschließt. Die Input-Methoden, die auf dem verbrauchten Rohmehl basieren, werden bereits in Zementwerken in verschiedenen Ländern erfolgreich angewendet und scheinen praxistauglicher zu sein als Ebene 3 der IPCC-Guidelines von 2006 [4]. Sie wurden in das „Cement CO₂ and Energy Protocol“, Version 3, (einfache Input-Methode A1 und detaillierte Input-Methode A2, 7.2.1) aufgenommen. Dieses Dokument enthält einen Leitfaden zum Vergleich der treibhausgasbezogenen Leistung eines anderen Unternehmens oder Werks innerhalb eines Sektors, der sich von der Methodik des IPCC National Inventory Guideline unterscheidet.

1 Anwendungsbereich

Die vorliegende Internationale Norm legt eine harmonisierte Methodik zur Berechnung der Treibhausgasemissionen aus der Zementindustrie fest, und zwar im Hinblick auf die Berichterstattung dieser Emissionen für verschiedene Zwecke und auf unterschiedlichen Bezugsebenen, wie zum Beispiel auf Anlagenebene, Unternehmensebene (nach Land oder nach Region) oder sogar auf Konzernebene. Sie behandelt alle im Folgenden genannten direkten und indirekten Quellen von Treibhausgasen:

- direkte Treibhausgasemissionen (ISO 14064-1, 5.2.4 a) aus Quellen, die im Besitz der Organisation sind oder die von dieser kontrolliert werden, z. B. Emissionen aus folgenden Quellen:
 - Prozess: Kalzinierung von Carbonaten und Verbrennung des in Rohmaterialien enthaltenen organischen Kohlenstoffs;
 - Verbrennung der Ofenbrennstoffe (fossile Ofenbrennstoffe, alternative fossile Brennstoffe, Mischbrennstoffe mit biogenem Kohlenstoffanteil, Biomasse und flüssige Biobrennstoffe) im Zusammenhang mit der Klinkerherstellung und/oder dem Trocknen von Rohmaterialien und Brennstoffen;
 - Verbrennung von Nicht-Ofenbrennstoffen (fossile Brennstoffe, alternative fossile Brennstoffe, Mischbrennstoffe mit biogenem Kohlenstoffanteil, Biomasse und flüssige Biobrennstoffe) im Zusammenhang mit Betriebseinrichtungen und auf dem Gelände eingesetzten Fahrzeugen, dem Heizen/Kühlen von Räumen, dem Trocknen von MIC (z. B. Schlacke oder Puzzolan);
 - Verbrennung von Brennstoffen für die Stromerzeugung vor Ort;
 - Verbrennung von in Abwasser enthaltenem Kohlenstoff;
- indirekte Treibhausgasemissionen (ISO 14064-1, 5.2.4 b) aus der Erzeugung zugekaufter elektrischer Energie, die in den Betriebseinrichtungen verbraucht wird, welche sich im Besitz der Organisation befinden oder von dieser kontrolliert werden;
- sonstige indirekte Treibhausgasemissionen (ISO 14064-1, 5.2.4 c bis f) aus zugekauftem Klinker. Alle übrigen Emissionen entsprechend ISO 14064-1, 5.2.4 c bis f, aus der Zementindustrie sind von dieser Norm ausgeschlossen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 19694-1:20xx, *Stationary source emissions — Determination of greenhouse gas (GHG) emissions in energy-intensive industries — Part 1: General aspects*

ISO 12039:2001, *Stationary source emissions — Determination of carbon monoxide, carbon dioxide and oxygen — Performance characteristics and calibration of automated measuring systems*

ISO 13833:2013, *Stationary source emissions — Determination of the ratio of biomass (biogenic) and fossil-derived carbon dioxide — Radiocarbon sampling and determination*

ISO 14064-1:2018, *Greenhouse gases — Part 1: Specification with guidance at the organization level for quantification and reporting of greenhouse gas emissions and remarks*

ISO 14385-1:2014, *Stationary source emissions — Greenhouse gases — Part 1: Calibration of automated measuring systems*

ISO 14385-2:2014, *Stationary source emissions — Greenhouse gases — Part 2: Ongoing quality control of automated measuring systems*

ISO 16911-1:2013, *Stationary source emissions — Manual and automatic determination of velocity and volume flow rate in ducts — Part 1: Manual reference method*

ISO 16911-2:2013, *Stationary source emissions — Manual and automatic determination of velocity and volume flow rate in ducts — Part 2: Automated measuring systems*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 19694-1 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

3.1

zusätzliches Rohmaterial

ADRM

(en: additional raw material)

zusätzliche Rohmaterialien sind nicht Teil des *Ofenmehls* (3.24) und werden dem Kalzinator oder *Ofeneinlauf* (3.25) direkt zugeführt

3.2

alternativer Brennstoff

Brennstoff, der aus Abfallstoffen gewonnen wird und weiter in biogene, *fossile* (3.19) und gemischte alternative Brennstoffe unterteilt werden kann

3.3

automatische Messeinrichtung

AMS

(en: automated measuring system)

Messeinrichtung, die zwecks kontinuierlicher Emissionsüberwachung ständig an der Anlage installiert ist

Anmerkung 1 zum Begriff: Eine AMS ist ein Verfahren, das auf ein Referenzverfahren zurückführbar ist.

Anmerkung 2 zum Begriff: Neben dem Messgerät enthält eine AMS Einrichtungen zur Probeentnahme (z. B. Messsonden, Messgasleitungen, Filter, Durchflussmessgeräte, Regler, Zufuhrpumpen, Gebläse) und zur Probenaufbereitung (z. B. Staubfilter, Wasserdampf-Entnahmegeräte, Konverter, Verdünnern). Diese Definition umfasst auch Prüf- und Einstellgeräte, die für regelmäßige Funktionsprüfungen verwendet werden.

Anmerkung 3 zum Begriff: In ISO 14064-1:2018 werden AMS als „Continuous Emissions Monitoring Systems“ (CEMS) bezeichnet.

3.4

alternativer fossiler Brennstoff

fossiler Brennstoff, der aus Abfallstoffen ohne biogenen Anteil gewonnen wird und nicht vom IPCC aufgelistet ist

3.5

alternatives Rohmaterial

ARM

(en: alternative raw material)

alternative Rohmaterialien sind Rohmaterialien für die Herstellung von *Klinker* (3.13), die aus künstlichen Quellen gewonnen werden

3.6

flüssige Biobrennstoffe

flüssige Brennstoffe, die aus Biomasse hergestellt werden und für den Einsatz zu energetischen Zwecken außer für den Transport, einschließlich Elektrizität sowie Wärme und Kälte, bestimmt sind

3.7

Bypass-Staub

BPD

(en: bypass dust)

ausgeschiedener Staub aus der Entstaubungseinheit des Bypass-Systems in Öfen mit Zyklonvorwärmer, Kalzinator und Rostvorwärmern, der normalerweise aus vollständig oder zumindest in hohem Maße kalziniertem *Ofenmehl* (3.24) besteht

3.8

Zement

Baustoff, hergestellt durch das Vermahlen von *Klinker* (3.13) mit verschiedenen *mineralischen Komponenten* (3.27) wie Gips, Kalkstein, Hüttensand, Kohlenflugasche und natürlichem vulkanischem Material; umfasst Sonderzemente, wie die auf Calciumaluminaten basierenden Zemente

3.9

Zement(-Äq.)

berechnete Menge der Zementproduktion, die aus der in einem integrierten Zementwerk produzierten Menge *Klinker* (3.13) unter Anwendung des werksspezifischen *Klinker/Zement-Faktors* ermittelt wird

3.10

Zementbestandteil

Hauptbestandteile und Nebenbestandteile von *Zement* (3.8) sowie Calciumsulfat und Zusätze in Zement

3.11

Zementofenstaub

CKD

(en: cement kiln dust)

jeglicher ausgeschiedener Staub aus den Entstaubungseinheiten von trockenen und nassen Ofensystemen, bestehend aus teilkalziniertem *Ofenmehl* (3.24), welches *Bypass-Staub* (3.7) und sonstige Staubströme aus der Herstellung von *Klinker* (3.13) umfasst

3.12

Produkte aus Zementbestandteilen

gesamter für die Herstellung von *Zement* (3.8) oder den direkten Verkauf produzierter *Klinker* (3.13), zuzüglich *mineralischer Komponenten* (3.27), die verbraucht oder für den Verkauf verarbeitet werden, mit Ausnahme von vorab verarbeiteten mineralischen Komponenten, die aus einem anderen Zementwerk importiert werden

3.13

Klinker

Zwischenprodukt bei der Herstellung von *Zement* (3.8) und Hauptbestandteil des Zements; Klinker entsteht aus der Kalzinierung von Kalk im Ofen und anschließenden durch das Brennen hervorgerufenen Reaktionen (siehe EN 197-1)

3.14

Klinkerwerk

Werk, in dem *Klinker* (3.13) hergestellt wird, wo jedoch kein Vermahlen zu Zement erfolgt

3.15

Betonzusatzstoff

feinkörniges anorganisches Material mit puzzolanischen oder latenten hydraulischen Eigenschaften oder nahezu inert, das in Beton zur Verbesserung bestimmter Eigenschaften oder zum Erreichen besonderer Eigenschaften eingesetzt wird

3.16

fossile direkte Emissionen

gesamte direkte Treibhausgasemissionen (3.36) innerhalb der Berichtsgrenzen, ohne Treibhausgasemissionen aus Biomassebrennstoffen oder dem biogenen Kohlenstoffgehalt von Mischbrennstoffen

3.17

rückgeführter Staub

bei der Herstellung von *Klinker* (3.13) entstehender Staub, der letztlich in die Rohmühle oder in das *Ofensystem* (3.23) zurückgeleitet wird; *Bypass-Staub* (3.7) ist nicht eingeschlossen

Anmerkung 1 zum Begriff: Bild 6 zeigt ein Beispiel für die im Klinkerherstellungsprozess relevanten Massenströme.

3.18

aus dem Ofensystem ausgeschleuster Filterstaub

Zementofenstaub (CKD, 3.11) ohne *Bypass-Staub* (3.7), der aus dem *Ofensystem* (3.23) ausgeschleust wird

3.19

fossiler Brennstoff

sämtliche vom IPCC aufgelisteten fossilen Brennstoffe

3.20

Mahlwerk

Werk zur Herstellung von *Zement* (3.8), in dem Zementbestandteile vermahlen werden, in dem jedoch keine Herstellung von *Klinker* (3.13) erfolgt

3.21

Bruttoemission

fossile direkte Treibhausgasemissionen (3.16) ohne Treibhausgasemissionen aus der Stromerzeugung vor Ort

3.22

integriertes Zementwerk

Werk, in dem *Klinker* (3.13) hergestellt und teilweise oder vollständig zu *Zement* (3.8) vermahlen wird

3.23

Ofensystem

rohrförmige Erwärmungsvorrichtung, die bei der Herstellung von *Klinker* (3.13) eingesetzt wird, einschließlich Vorwärmer und/oder Vorkalzinator

3.24

Ofenmehl

Rohmaterialien (3.31), oft zu *Rohmehl* (3.33) verarbeitet (einschließlich rückgeführtem Staub), die dem Vorwärmer oder dem *Ofensystem* (3.23) direkt aufgegeben werden

3.25

Ofenbrennstoff

Brennstoff, der dem *Ofensystem* (3.23) zugeführt wird, zuzüglich der Brennstoffe, die zum Trocknen oder Aufbereiten der *Rohmaterialien* (3.31) für die Herstellung von *Klinker* (3.13) und zur Aufbereitung der Ofenbrennstoffe aufgegeben werden

3.26

Ofeneinlauf

Ofenkopf bzw. Eintritt zum rohrförmigen Erwärmungssystem für Materialien

3.27

mineralische Komponenten

Zementbestandteile (3.10) außer *Klinker* (3.13) sowie *Betonzusatzstoffe* (3.15), die verarbeitet wurden, um ihre Eigenschaften zu verändern

3.28

THG-Nettoemission

Bruttoemissionen (3.21) ohne fossile Treibhausgasemissionen aus alternativen Brennstoffen und über Benchmarks vergleichbare Emissionen aus externer Wärme- und Energieübertragung

3.29

Nicht-Ofenbrennstoff

Brennstoffe, die nicht in der Definition von *Ofenbrennstoffen* (3.25) enthalten sind

3.30

Petrolkoks

kohlenstoffbasierter fester Brennstoff, der in Erdölraffinerien gewonnen wird

3.31

Rohmaterial

Materialien, die zur Aufbereitung von *Rohmehl* (3.33) für die Herstellung von *Klinker* (3.13) verwendet werden

3.32

Rohmaterialaufbereitung

Prozesse zur Umwandlung der *Rohmaterialien* (3.31) in *Rohmehl* (3.33)

3.33

Rohmehl

besteht aus den gemahlenen *Rohmaterialien* (3.31) für die Herstellung von *Klinker* (3.13)

3.34

verbrauchtes Rohmehl

Teil des *Rohmehls* (3.33), der für die Herstellung von *Klinker* (3.13) und die Bildung von kalziniertem *Bypass-Staub* (3.7) verbraucht wird

3.35

rückgeführter Staub

sämtliche Staubströme, die als *Ofenmehl* (3.24) wiederverwendet werden

Anmerkung 1 zum Begriff: Bild 6 zeigt ein Beispiel für die im Klinkerherstellungsprozess relevanten Massenströme.

3.36

gesamte direkte Treibhausgasemission

alle direkten Emissionen von Treibhausgasen innerhalb der Berichtsgrenzen, einschließlich Treibhausgasemissionen aus der Aufbereitung von *Rohmaterial* (3.31), *fossilen Brennstoffen* (3.19), Biomasse und biogenem Kohlenstoffgehalt von Mischbrennstoffen sowie CO₂ aus Abwasserverbrennung

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen.

ADRM	additonal raw material		zusätzliches Rohmaterial
AF	alternative fuel		alternativer Brennstoff
AFR	alternative fuel and alternative raw material		alternativer Brennstoff und alternatives Rohmaterial
ARM	alternative raw material		alternatives Rohmaterial
AMS	automated measuring system		automatische Messeinrichtung
BPD	bypass dust		Bypass-Staub
cem eq.	cement (eq.)		Zement(-Äq.)
cem prod.	cement constituents-based product		Produkte aus Zementbestandteilen
CKD	cement kiln dust		Zementofenstaub
cli	clinker		Klinker
CSI	Cement sustainability initiative of the WBCSD		Cement-Sustainability-Initiative des WBCSD
EF	emission factor		Emissionsfaktor
FD	filter dust		Filterstaub
GCV	gross calorific value (synonym for higher heat value, HHV)	H _o	Brennwert (Synonym für oberer Heizwert, HHV)
GHG	greenhouse gas	THG	Treibhausgas
GWP	global warming potential		Treibhauspotential
HHV	higher heat value (synonym for gross calorific value, GCV)	H _o	oberer Heizwert (Synonym für Brennwert, GCV)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change		Intergovernmental Panel on Climate Change
KF	kiln feed		Ofenaufgabe
KPI	key performace indicator		Leistungskennzahl

LHV	lower heat value (synonym for net calorific value, NCV)	H _u	unterer Heizwert (Synonym für Heizwert, NCV)
LOI	loss on ignition	GV	Glühverlust
MIC	mineral component		mineralische Komponente
m_N^3	normal cubic meters (at 1 013 hPa and 0 °C)		Normkubikmeter (bei 1 013 hPa und 0 °C)
NCV	net calorific value (en: lower heat value, LHV)	H _u	Heizwert (Synonym für unterer Heizwert)
OPC	Ordinary Portland Cement		gewöhnlicher Portlandzement
RM			Rohmehl
TC	total carbon (the sum of TOC and TIC)		Gesamtkohlenstoff (Summe aus TOC und TIC)
TIC	total inorganic carbon		gesamter anorganischer Kohlenstoff
TOC	total organic carbon		gesamter organischer Kohlenstoff
UNFCCC	United Nations Framework Convention on Climate Change		Rahmenübereinkommen der Vereinten Nationen über Klimaänderungen
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development		World Business Council for Sustainable Development
WRI	World Resources Institute		World Resources Institute

5 Bestimmung von Treibhausgasen

5.1 Allgemeines

Der Umfang der Treibhausgasemissionen darf mit Hilfe der Massenbilanzmethode (siehe 5.4) oder durch (kontinuierliche) Emissionsmessungen im Abgas (siehe 5.3) ermittelt werden.

5.2 Wichtigste Treibhausgase aus der Zementherstellung

Für die Massenbilanz werden die Emissionen auf Kohlenstoff bezogen unter der Annahme, dass der gesamte Kohlenstoff in CO₂ umgewandelt wird, wobei alle übrigen Treibhausgaskomponenten ausgenommen sind, da sie als vernachlässigbar angesehen werden.

5.3 Bestimmung durch Emissionsmessungen im Abgas

Die Treibhausgasemissionen eines Werks dürfen auch durch Messung ermittelt werden. Die Emissionen aus einer Emissionsquelle werden aus den kontinuierlichen Messungen der Konzentration des relevanten Treibhausgases im Abgas und des Abgasvolumenstroms bestimmt. **Die Messungen sollten Bestimmungen von CH₄ und N₂O umfassen, da diese als die einzigen wichtigen Nicht-CO₂-Treibhausgasemissionen gelten.** Die für Emissionsmessungen im Abgas anzuwendenden Messnormen sind in den Normativen Verweisungen aufgeführt. Für weitere Informationen siehe ISO 16964-1.

5.4 Bestimmung anhand einer Massenbilanz

Die Treibhausgasemissionen eines Werks dürfen mit Hilfe einer Massenbilanz bestimmt werden. Emissionen aus Stoffströmen werden über Einsatz- oder Produktionsdaten, deren Werte aus Messsystemen bezogen werden, und aus zusätzlichen Parametern aus Laboranalysen, einschließlich des Heizwertes, Kohlenstoffgehalts und Biomassegehalts, berechnet. Standardfaktoren dürfen ebenfalls angewendet werden; für Hinweise zu Emissionsfaktoren siehe Anhang B.

5.5 Brutto- und Nettoemissionen

5.5.1 Allgemeines

Um die Treibhausgasemissionen von Werken/Anlagen unterschiedlicher Sektoren der energieintensiven Industrien miteinander vergleichen zu können, ist es wichtig, dass die Systemgrenzen für die Überwachung und Berichterstattung dieser Emissionen auf Werksebene identisch sind, auch wenn sie sich im Detail für jeden Sektor unterscheiden. In diesem Zusammenhang werden die Treibhausgasemissionen aus reiner Biomasse und aus dem biogenen Kohlenstoffgehalt von Mischbrennstoffen als klimaneutral angesehen und daher als direkte Treibhausgasemissionen mit dem Wert 0 behandelt.

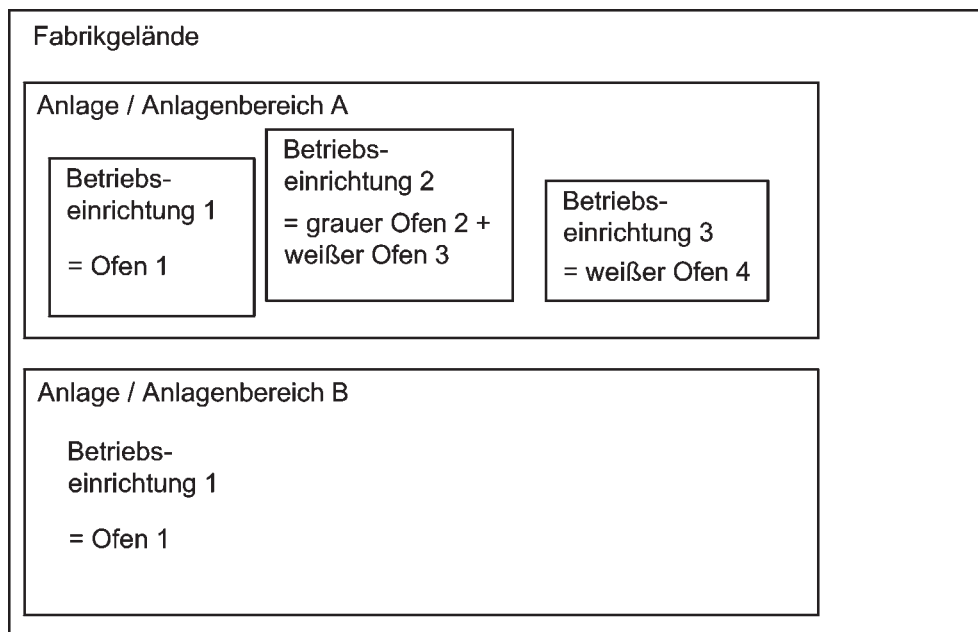


Bild 2 — Standort/Einrichtung/Werk/Anlage

Bei einem Werk ergeben sich daraus die sogenannten „fossilen direkten Treibhausgasemissionen“, deren Wert mit entsprechenden Mengen von Standorten in anderen Sektoren verglichen werden kann. Dabei handelt es sich um eine absolute Menge an von einem Werk, einem Standort oder einer Organisation berichteten Treibhausgasen, siehe Bild 2 und Definitionen.

Diese Menge der „fossilen direkten Treibhausgasemissionen“ kann jedoch nicht zum Leistungsvergleich von Anlagen innerhalb der Zementindustrie herangezogen werden. Ein Standort, der seine eigene elektrische Energie (Strom) erzeugt, wird mehr fossile direkte Treibhausgasemissionen produzieren als ein nahezu identischer Standort, der seine elektrische Energie aus dem externen Netz bezieht, da Emissionen aus der externen Stromerzeugung als indirekte Treibhausgasemissionen aus importierter Energie angegeben werden. Aus Gründen der Vergleichbarkeit müssen die Emissionen aus der Stromerzeugung vor Ort aus den fossilen direkten Treibhausgasemissionen ausgeschlossen werden, wodurch sich die sogenannten „Bruttoemissionen“ ergeben.

Die Bruttoemissionen ermöglichen einen Vergleich der Treibhausgasemissionen auf Werks-, Standort- oder Organisationsebene.

Tabelle 2 — Definitionen direkter Emissionen

Direkte Emissionen		Abzüglich		Emissionsgruppe
Gesamte direkte Treibhausgasemissionen				
Gesamte direkte Treibhausgasemissionen	–	Emissionen aus (reiner) Biomasse und aus dem biogenen Kohlenstoffgehalt von Mischbrennstoffen	=	fossile direkte Treibhausgasemissionen
Fossile direkte Treibhausgasemissionen	–	Emissionen aus der Stromerzeugung vor Ort	=	Bruttoemissionen

Die Bruttoemissionen ermöglichen einen Vergleich direkter Treibhausgasemissionen auf Werksebene innerhalb der Zementindustrie. Einen fairen Vergleich der Leistung von Werken und Anlagen im Hinblick auf deren Auswirkung auf die globale Klimaveränderung ermöglichen sie nicht, siehe Tabelle 2 und Tabelle 3.

Diese Norm schafft einen Anreiz dafür, Einsparungen bei den indirekten Treibhausgasemissionen durch Verwendung alternativer Brennstoffe und Rohmaterialien (AFR) vorteilhaft zu nutzen, indem Bruttoemissionen (mit alternativen fossilen Brennstoffen) und Nettoemissionen (ohne alternative fossile Brennstoffe) berichtet werden.

Konventionelle fossile Brennstoffe und Minerale dürfen bei der Zementherstellung durch bestimmte Abfallstoffe ersetzt werden. Die rückgewonnenen Abfälle werden als alternative Brennstoffe und Rohmaterialien (AFR) bezeichnet. Direkte CO₂-Emissionen aus konventionellen Brennstoffen werden reduziert, aber es treten direkte CO₂-Emissionen aus Abfällen auf (thermische Verwertung). Die direkten CO₂-Emissionen aus der Abfallverbrennung können je nach Emissionsfaktor der beteiligten Brennstoffe höher oder niedriger sein als die reduzierten Emissionen. Außerdem können Abfälle fossilen Ursprungs sein oder auf Biomasse zurückgehen.

Neben diesen direkten Auswirkungen führt der Einsatz von AFR zu Einsparungen bei den indirekten Treibhausgasemissionen auf Deponien und in Verbrennungsanlagen, wo diese Abfälle andernfalls entsorgt würden. Diese Einsparungen können die direkten CO₂-Emissionen aus der Abfallverbrennung in den Zementwerken teilweise oder vollständig ausgleichen oder mehr als ausgleichen, je nach den Gegebenheiten vor Ort (Art des Abfalls, Referenzentsorgungsweg).

Bruttoemissionen sind die gesamten direkten Treibhausgasemissionen (ohne Stromerzeugung vor Ort) von einem Zementwerk oder einer Organisation, einschließlich der Treibhausgase aus fossilen Abfällen (aber ohne CO₂ aus Biomasseabfällen, die als Memo-Item behandelt werden). Die Vorteile aus den indirekten THG-Einsparungen durch die Verwendung von AFR spiegeln sich in der in Abfallentsorgungsbetrieben erreichten Treibhausgasemissionssenkung wider. Die tatsächliche Verringerung lässt sich in der Regel nur schwer genau bestimmen; daher können die anrechenbaren Einsparungen nicht auf „präzisen“ THG-Folgenabschätzungen basieren, sondern müssen bis zu einem gewissen Grad durch Vereinbarung festgelegt werden.

Tabelle 3 — Brutto- und Nettoemissionen

Direkte Treibhausgasemissionen		Abzüglich		Emissionsgruppe
Bruttoemissionen	–	Emissionen aus alternativen fossilen Brennstoffen und dem nichtbiogenen Kohlenstoffgehalt von Mischbrennstoffen		
	–	über Benchmarks vergleichbare Emissionen für die externe Wärmeübertragung		
			=	Nettoemissionen

Nettoemissionen sind die Bruttoemissionen abzüglich der Vorteile durch indirekte Treibhausgaseinsparungen. Soweit praktisch umsetzbar, sollten berichtete Vorteile durch AFR lokale Gegebenheiten berücksichtigen (z. B. nationale Vereinbarungen, Lebenszyklusanalysen lokaler AFR-Nutzungen usw.). Bei der Berichterstattung gegenüber Dritten sollten Nachweise für die Einsparungen vorgelegt und gegebenenfalls verifiziert werden. In dieser Norm wird standardmäßig davon ausgegangen, dass die indirekten Einsparungen den direkten Treibhausgasemissionen aus der Verwendung fossiler AFR entsprechen.

Dieser Ansatz stellt zwar eine Vereinfachung im Hinblick auf die AFR-Nutzung dar, mittelfristig ist es jedoch der mit dem geringsten Aufwand verbundene und praktischste Ansatz, bei dem durch die Offenlegung der Brutto- und Nettoemissionen Transparenz erreicht wird.

5.5.2 Bruttoemissionen

5.5.2.1 Allgemeines

Tabelle 4 — Emissionsquellen, die unter „gesamte direkte Treibhausgasemissionen“ fallen

THG aus Rohmaterialien + THG aus konventionellen fossilen Brennstoffen + THG aus alternativen fossilen Brennstoffen (fossile Abfälle) + THG aus fossilem Kohlenstoff gemischter (alternativer) Brennstoffe, die THG aus Ofenbrennstoffen und Nicht-Ofenbrennstoffen umfassen, einschließlich THG aus der Stromerzeugung vor Ort + THG aus Biomasse und biogenem Kohlenstoff von Mischbrennstoffen + THG aus der Verbrennung von Abwasser
= gesamte direkte Treibhausgasemissionen

Memo-Item

— indirekte THG (aus Zukauf von Energie und Klinker)

Tabelle 5 — Emissionsquellen, die unter „fossile direkte Treibhausgasemissionen“ zu berichten sind

THG aus Rohmaterialien
+ THG aus konventionellen fossilen Brennstoffen
+ THG aus alternativen fossilen Brennstoffen (fossile Abfälle)
+ THG aus fossilem Kohlenstoff von Mischbrennstoffen, die THG aus Ofenbrennstoffen und Nicht-Ofenbrennstoffen umfassen, einschließlich THG aus der Stromerzeugung vor Ort
+ THG aus der Verbrennung von Abwasser
= fossile direkte Treibhausgasemissionen

Memo-Items
— THG aus Biomassebrennstoffen
— THG aus biogenem Kohlenstoff von Mischbrennstoffen
— indirekte THG (aus Zukauf von Strom und Klinker)

Tabelle 6 — Emissionsquellen, die unter „Bruttoemissionen“ zu berichten sind

THG aus Rohmaterialien
+ THG aus konventionellen fossilen Brennstoffen
+ THG aus alternativen fossilen Brennstoffen (fossile Abfälle)
+ THG aus fossilem Kohlenstoff von Mischbrennstoffen, die THG aus Ofenbrennstoffen und Nicht-Ofenbrennstoffen umfassen (ohne THG aus der Stromerzeugung vor Ort)
+ THG aus der Verbrennung von Abwasser
= Bruttoemissionen

Memo-Items
— THG aus Biomassebrennstoffen
— THG aus biogenem Kohlenstoff gemischter (alternativer) Brennstoffe
— THG aus fossilem Kohlenstoff von Mischbrennstoffen zur Stromerzeugung vor Ort
— indirekte THG (aus Zukauf von Energie und Klinker)

5.5.2.2 Verrechnung der CO₂-Emissionen aus dem Biomassegehalt von Brennstoffen

Die CO₂-Emissionen aus dem biogenen Kohlenstoffgehalt von Mischbrennstoffen werden nicht als Teil der Bruttoemissionen erfasst. Biomasse-CO₂ aus diesen Brennstoffen wird zur Ermittlung des gesamten Biomasse-CO₂ zum CO₂ aus reiner Biomasse addiert und als Memo-Item berichtet. Bei der Berechnung der fossilen direkten CO₂-Emissionen wird es subtrahiert.

5.5.2.3 Nettoemissionen und indirekte THG-Einsparungen im Zusammenhang mit der Nutzung von Abfällen als alternative Brennstoffe

In der Zementindustrie werden große Mengen an Abfallstoffen als Brennstoff und/oder Rohmaterial wiederverwendet. Diese wiederverwendeten Abfälle werden auch als alternative Brennstoffe und Rohmaterialien (AFR) bezeichnet. Durch den Einsatz von AFR reduzieren Zementunternehmen ihren Verbrauch an konventionellen fossilen Brennstoffen und tragen gleichzeitig dazu bei, die herkömmliche Entsorgung der Abfälle auf Deponien oder durch Verbrennung zu vermeiden.

Eine erhöhte Nutzung von AFR kann sich auf die direkten Treibhausgasemissionen einer Zementorganisation auswirken, da die Emissionsfaktoren für AFR von denen für die ersetzten Brennstoffe abweichen können. Darüber hinaus kann der in den AFR enthaltene Kohlenstoff fossilen Ursprungs sein und/oder aus Biomasse stammen. Wie zuvor erwähnt, führt der Einsatz von AFR durch die Zementindustrie typischerweise zur Reduktion von Treibhausgasemissionen in Deponien und Verbrennungsanlagen, wo diese Abfälle andernfalls entsorgt würden. Die Kombination aus der Auswirkung auf die direkten Treibhausgasemissionen, der Reduktion von indirekten Treibhausgasemissionen und der Ressourceneffizienz machen die Substitution konventioneller fossiler Brennstoffe durch alternative Brennstoffe (AF, en: alternative fuels) zu einer wirkungsvollen Maßnahme zur Reduktion der globalen Treibhausgasemissionen (siehe z. B. [21], [22], [23] und [24]).

Der in 5.5.2 dargestellte Bilanzierungsansatz stellt die Vollständigkeit, Genauigkeit und Transparenz bei der Berichterstattung sicher.

- Direkte Treibhausgasemissionen, die aus der Verbrennung fossiler AF resultieren, müssen nach 7.6 immer in die Bruttoemissionen einer Organisation aufgenommen werden.

Mit dem folgenden Konzept bietet diese Norm auch einen Rahmen für die Berichterstattung der Reduktionen von indirekten Treibhausgasemissionen, die durch die Verwendung alternativer Brennstoffe erzielt wurden:

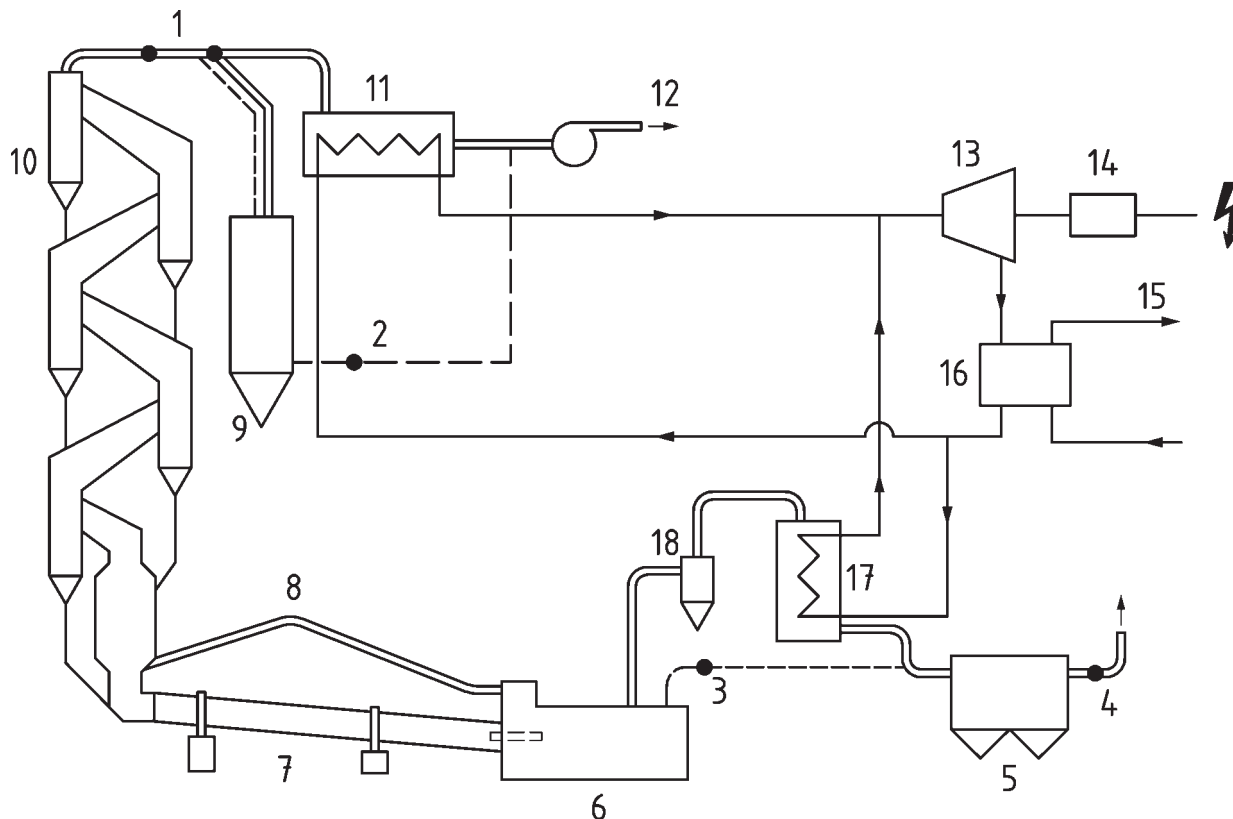
- Reduktionen von indirekten Treibhausgasemissionen auf Deponien und in Verbrennungsanlagen werden erfasst, indem die fossilen Treibhausgasemissionen alternativer Brennstoffe von den Bruttoemissionen subtrahiert werden.

Zu den Anforderungen an die Berichterstattung im Hinblick auf die Nettoemissionen siehe 10.2.

5.5.3 Sonstige Reduktionen von indirekten Treibhausgasemissionen

Nutzung von Abwärme

Einige Zementwerke exportieren Abwärme an externe Verbraucher als Ersatz für konventionelle Energiequellen. Analog zu den indirekten Auswirkungen im Zusammenhang mit der Nutzung alternativer Brennstoffe darf eine Zementorganisation die Reduktionen von indirekten Treibhausgasemissionen, die sich aus diesen Abwärmeexporten ergeben, berücksichtigen.



Legende

- | | |
|----------------------------|------------------------------|
| 1 Rohgas aus Vorwärmer | 2 Bypass des Vorwärmekessels |
| 3 Bypass des Kühlerkessels | 4 Kühlerabluft |
| 5 KühlerentlüftungsfILTER | 6 Klinkerkühler |
| 7 DrehrohrfOfen | 8 Tertiärluftleitung |
| 9 Konditionierturm | 10 Vorwärmerturm |
| 11 Vorwärmekessel | 12 zur Rohmahlung |
| 13 Turbine | 14 Generator |
| 15 Kühlturm | 16 Kondensator |
| 17 Kühlerkessel | 18 Entstauber |

Bild 3 — Schematische Darstellung der Anwendung von Abwärmerückgewinnung und Stromerzeugung bei der Zementherstellung

Ähnliche Vorteile dürfen auch für andere Formen der Abwärmenutzung angewendet werden [7]. Diese Norm bietet also die Möglichkeit, die Abwärmenutzung innerhalb des Werks (z. B. zur Rohmaterial- oder Schlacketrocknung oder Stromerzeugung) freiwillig zu berichten, um einen fairen Vergleich zwischen Werken, die Wärme exportieren und Werken, die die Wärme intern nutzen, zu ermöglichen. Dazu ist eine zusätzliche Berechnung erforderlich, in der die ausschließlich für die Klinker- oder Zementherstellung verwendete Abwärmeenergie berücksichtigt wird, und der Gesamtenergiefluss in GJ/Jahr kann berichtet werden. Die Berichterstattung erfolgt freiwillig.

Darüber hinaus wird bei der Erzeugung von elektrischer Energie aus der Abwärme des Ofensystems (Bild 3) jeder zusätzliche im Ofensystem verwendete Brennstoff als Ofenbrennstoff erfasst, daher zählen die Emissionen als direkte Treibhausgasemissionen des Ofensystems. Um ausführlichere Informationen bereitzustellen, unterscheidet diese Norm zwischen der Abwärmerückgewinnung (WHR, en: waste heat recovery) und der separaten Stromerzeugung vor Ort. In jedem Fall sollten Unternehmen bei der freiwilligen Berichterstattung überlegen, ob ihre Tätigkeiten tatsächlich zu einer globalen Reduktion der Treibhausgasemissionen beitragen oder lediglich eine Verschiebung der Emissionen zwischen unterschiedlichen Unternehmen bedeuten.

6 Grenzen des Treibhausgasinventars

6.1 Allgemeines

Die Festlegung geeigneter Grenzen ist eine der Schlüsselaufgaben bei der Erstellung von Emissionsinventaren.

6.2 Berichtsgrenzen

Berichtsgrenzen beziehen sich auf die Arten von Quellen, die durch ein Inventar abgedeckt sind. Eine wesentliche Unterscheidung ist die Unterteilung in direkte und indirekte Treibhausgasemissionen:

- a) **Direkte Treibhausgasemissionen** (ISO 14064-1, 5.2.4 a) sind Emissionen aus Quellen, die sich im Besitz der berichtenden Organisation befinden oder von dieser kontrolliert werden. Zum Beispiel sind Emissionen aus der Brennstoffverbrennung in einem Zementofen direkte Emissionen der Organisation, die den Ofen besitzt (oder kontrolliert). Dies umfasst die direkten Emissionen aus zusätzlichem Brennstoffverbrauch, zum Beispiel für die Rohmaterial- oder Brennstofftrocknung oder für die Stromerzeugung vor Ort.
- b) **Indirekte Treibhausgasemissionen** (ISO 14064-1, 5.2.4 c bis f) sind Emissionen, die sich infolge der Tätigkeiten der berichtenden Organisation ergeben, jedoch nur an Quellen auftreten, die sich im Besitz einer anderen Organisation befinden bzw. von dieser kontrolliert werden. Relevant für diese Norm sind energiebedingte indirekte Emissionen (ISO 14064-1, 5.2.4 b) und Treibhausgasemissionen aus importiertem Klinker (Teil von ISO 14064-1 5.2.4 d).

Abschnitt 7 dieser Norm enthält ausführliche Leitlinien zu den unterschiedlichen Quellen direkter Emissionen, die in Zementwerken auftreten. Indirekte Treibhausgasemissionen sind in Abschnitt 8 behandelt.

Unternehmen müssen die in Tabelle 7 angegebenen Berichtsgrenzen für die Bestimmung von Treibhausgasemissionen aus Zementwerken anwenden. Jede Abweichung von diesen Grenzen muss berichtet und erläutert werden.

Tabelle 7 — Berichtsgrenzen

Prozessschritt	THG-Emissions-kategorie, Verweisung auf ISO 14064-1, 5.2.4	Abdeckung durch die Norm
Rohmaterialabbau	a d	ja: für Steinbrüche im Besitz der Organisation bzw. Steinbrüche, die von der Organisation kontrolliert oder verwaltet werden nein: für Steinbrüche nicht im Besitz der Organisation
Rohmaterialtransport	a c	ja: für LKW im Besitz der Organisation nein: für LKW nicht im Besitz der Organisation
Rohmaterialtrocknung	a	ja
Mahlen der Rohmaterialien	a	ja
Brennstoffaufbereitung im Werk	a	ja
Brennstoffaufbereitung außerhalb des Werks	a d	ja: für Werke im Besitz der Organisation nein: für Werke nicht im Besitz der Organisation
Brennstoffe für Ofen	a	ja
Nicht-Ofenbrennstoffe (Rohmaterialien, Brennstoff)	a	ja
Mobiler Transport von Brennstoffen	a c	1, ja: für LKW im Besitz der Organisation 3, nein: für LKW nicht im Besitz der Organisation
CKD = Bypass- und/oder Filterstaub	a	ja
Kalzinierung	a	ja
Importierter Klinker	d	ja, Einbeziehung für Prozess-KPI der Zementherstellung notwendig
Importierter Zement	d	ja, Einbeziehung für Prozess-KPI der Zementherstellung notwendig
Importiere vorab verarbeitete MIC	d	ja, Einbeziehung für Prozess-KPI der Zementherstellung notwendig
Trocknen von Zementbestandteilen	a	ja
Zementvermahlung	b	ja
Verpackung und Versand	b	ja
Mobiler Transport zwecks Versand	a c	ja: für LKW im Besitz der Organisation nein: für LKW nicht im Besitz der Organisation

Prozessschritt	THG-Emissions-kategorie, Verweisung auf ISO 14064-1, 5.2.4	Abdeckung durch die Norm
Verbrauch elektrischer Energie für gesamten Produktionsprozess	b	ja
Stromerzeugung vor Ort	a	ja
Abwärmerückgewinnung	a	ja
Raumheizung/-kühlung	a	nein
Mobiler Transport im Werk	a c	1, ja: für mobiles Equipment im Besitz der Organisation 3, nein: für mobiles Equipment nicht im Besitz der Organisation
Lagerbestandsänderungen	a, b, c und d	ja, für Berechnung/KPI

6.3 Organisationsbezogene Grenzen

6.3.1 Allgemeines

Organisationsbezogene Grenzen definieren, welche Teile einer Organisation, zum Beispiel im Mehrheitsbesitz befindliche Betriebe, Gemeinschaftsunternehmen und Tochtergesellschaften, durch ein Inventar abgedeckt sind und wie die Emissionen dieser Einheiten konsolidiert werden. Diese Norm enthält Leitlinien für die organisationsbezogenen Grenzen.

6.3.2 Welche Werke abgedeckt werden sollten

Treibhausgasemissionen entstehen nicht nur infolge des Ofenbetriebs, sondern auch aus vor- und nachgelagerten Prozessen, vor allem aus Steinbrucharbeiten und (indirekt) aus der Zementmahlung. Diese Einrichtungen können weit voneinander entfernt sein. Außerdem werden Steinbrüche, Öfen, und Mahlstationen mitunter von separaten Rechtsträgern betrieben. Wie sollte dieser Umstand in dem Inventar eines Rechtsträgers erfasst werden?

Die Berichterstattung nach dieser Norm muss die wesentlichen direkten und indirekten Treibhausgasemissionen im Zusammenhang mit der Zementherstellung entsprechend den Abschnitten 7, 8 und 10 dieser Norm abdecken. Diese Emissionen umfassen auch solche, die mit dem Verbrauch von Brennstoffen und elektrischer Energie in vor- und nachgelagerten Arbeitsabläufen zusammenhängenden Emissionen. Vor allem müssen Zementunternehmen folgende Tätigkeitsarten in ihre Berichterstattung aufnehmen, und zwar je nachdem, in welchem Umfang sie die entsprechenden Werke nach 6.3.3 kontrollieren oder besitzen:

- a) Klinkerherstellung, einschließlich Rohmaterialabbau und -aufbereitung;
- b) Aufbereitung oder Verarbeitung von Brennstoffen oder alternativen Rohmaterialien (wie Flugasche oder Hüttensand) in eigenen Werken;

- c) Mahlen von Klinker, Zusätzen und Betonzusatzstoffen wie Schlacke, sowohl in integrierten Zementwerken als auch in eigenständigen Mahlstationen;
- d) zusätzlicher Brennstoffverbrauch für die eigene Stromerzeugung.

Für einzelne Einrichtungen können gegebenenfalls eigenständige Inventare erstellt werden, zum Beispiel, wenn sie geographisch voneinander getrennt sind oder von unterschiedlichen Betreibern betrieben werden. Die Auswirkungen einer derartigen Trennung gleichen sich aus, wenn die Emissionen auf Organisations- oder Konzernebene konsolidiert werden (siehe auch 6.3.4 zu organisationsinternen Klinkertransfers).

6.3.3 Kriterien für die operative Kontrolle und Eigentümerschaft

Zur Konsolidierung der Treibhausgasemissionen sind in der Zementindustrie für Unternehmen mit mehr als einem Werk 3 Methoden möglich:

- **Anteilsrecht:** Bei diesem Ansatz konsolidiert eine Organisation ihre Treibhausgasemissionen entsprechend den (anteiligen) Rechten, die es an jedem Geschäft hält, d. h. nach Eigentümerschaft. Ausnahmsweise nicht konsolidiert werden Emissionen bei sogenannten Anlageinvestitionen, bei denen eine Organisation nur einen kleinen Teil des Gesamtanteils eines Geschäfts innehat und weder einen signifikanten Einfluss noch finanzielle Kontrolle ausübt. Weitere mögliche Ausnahmen beziehen sich auf die wirtschaftliche Substanz einer Beziehung (Einzelheiten siehe überarbeitetes WRI/WBCSD-Protokoll [9]);
- **finanzielle Kontrolle:** Finanzielle Kontrolle ist definiert als die Fähigkeit einer Organisation, die finanzielle und betriebliche Ausrichtung eines Geschäfts so zu lenken, dass es aus dessen Tätigkeiten wirtschaftlichen Nutzen zieht. Zum Beispiel liegt eine finanzielle Kontrolle dann vor, wenn die Organisation ein Anrecht auf die Mehrheit der Gewinne aus dem Geschäft hat oder wenn sie die Mehrheit der mit dem Eigentum an den Vermögenswerten des Geschäfts verbundenen Risiken und Chancen hält. Bei diesem Ansatz konsolidieren Unternehmen 100 % der Emissionen dieser Geschäfte, über die sie die finanzielle Kontrolle ausüben. Als Ausnahme ist eine Konsolidierung nach Anteilsrechten bei Gemeinschaftsunternehmen erforderlich, bei denen die Partner die gemeinsame finanzielle Kontrolle ausüben;
- **operative Kontrolle:** Operative Kontrolle ist definiert als die volle Berechtigung einer Organisation, ihre Betriebsregeln für ein Geschäft einzuführen und umzusetzen. Dieses Kriterium ist üblicherweise erfüllt, wenn eine Organisation der Betreiber einer Einrichtung ist, d. h. wenn sie die Betriebsgenehmigung besitzt. Bei diesem Ansatz konsolidieren Unternehmen 100 % der Emissionen dieser Geschäfte, über die sie die operative Kontrolle ausüben. Als Ausnahme ist eine Konsolidierung nach Anteilsrechten bei Gemeinschaftsunternehmen erforderlich, bei denen die Partner die gemeinsame operative Kontrolle ausüben.

Unternehmen sollten im Bericht explizit angeben, welche Methodik sie anwenden.

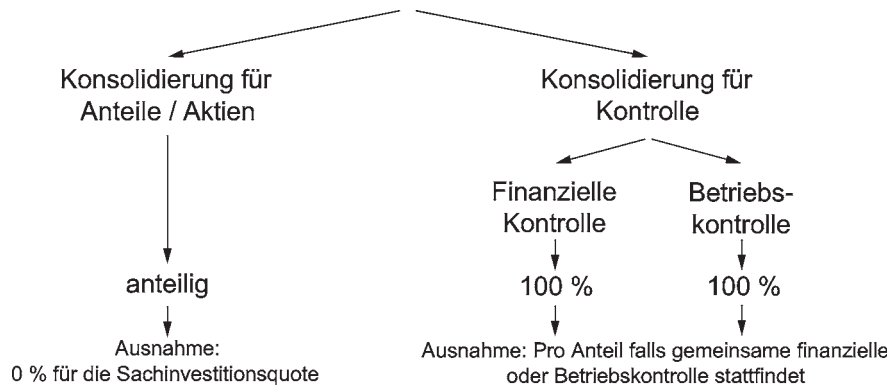


Bild 4 — Möglichkeiten der Konsolidierung von Emissionen

Angesichts der Merkmale der Zementindustrie müssen Zementunternehmen die Konsolidierung in erster Linie nach dem Kriterium der operativen Kontrolle vornehmen und, falls diese nicht eindeutig einem einzelnen Rechtsträger zugeordnet ist, nach dem Kriterium der Eigentümerschaft.

6.3.4 Interner Transfer von Klinker, Zement und MIC

Viele Zementunternehmen transferieren große Mengen an Klinker, Zement und mineralischen Komponenten (MIC) wie Schlacke oder Flugasche unternehmensintern zwischen unterschiedlichen Werken und Mahlwerken. Diese transferierten Materialien werden zu anderen Produkten weiterverarbeitet, wie zum Beispiel zu klinkerarmen Zementen, und wirken sich somit auf den Klinker/Zement-Faktor der Werke aus, in die sie geliefert werden. In diesen Fällen besteht die Gefahr der Doppelzählung. Unternehmen müssen sicherstellen, dass ihre Methoden zur Berechnung und Berichterstattung den im Folgenden beschriebenen Methoden für die Werks- und Organisationsebene entsprechen.

Auf Werksebene muss der interne Klinkertransfer berichtet werden (Transfer innerhalb derselben Organisation plus für empfangenen Klinker und minus für verschickten Klinker). Klinker, der als Bestandteil von Zement intern transferiert wird, muss nur dann berichtet werden, wenn das Werk Zement von einem anderen Werk innerhalb derselben Organisation erhält und diesen zu einer anderen Zementsorte weiterverarbeitet, die dann für dieses Werk berichtet wird. Die Klinkermenge sollte basierend auf z. B. dem Klinker/Zement-Faktor des transferierten Zements berechnet werden. Klinker als Zementbestandteil, der von anderen Unternehmen zugekauft wurde (externer Klinkertransfer) und zum Mischen verwendet wird, sollte als „zugekaufter Klinker“ berichtet werden. Für den insgesamt verbrauchten Klinker ergibt sich dann:

Gesamter Klinkerverbrauch

$$\begin{aligned} &= \text{Klinkerproduktion} + \text{zugekaufter Klinker} - \text{verkaufter Klinker} \\ &+ \text{Anfang des Klinkerlagerbestands} - \text{Ende des Klinkerlagerbestands} \\ &+ \text{interner Klinkerimport} - \text{interner Klinkerexport} \\ &+ \text{Klinker aus Zementimport} \end{aligned}$$

dabei ist

$$\text{Klinker aus Zementimport} = \text{Zement (t)} \times \text{Klinker-Verhältnis (\%)} / 100$$

Auf Organisationsebene werden interne Klinkertransfers zu Überprüfungszwecken addiert. Der Wert sollte für die Organisationsebene null ergeben. Klinker aus internen Zementtransfers werden als Summe aller Werke berichtet. Für den insgesamt verbrauchten Klinker ergibt sich dann:

Gesamter Klinkerverbrauch (Organisationsebene)

$$\begin{aligned} &= \text{produzierter Klinker}_{\text{Werk A} + \dots \text{Werk n}} \\ &+ \sum \text{zugekaufter Klinker}_{\text{Werk A} \dots \text{Werk n}} \\ &- \sum \text{verkaufter Klinker}_{\text{Werk A} \dots \text{Werk n}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &+ \Sigma \text{Anfang des Klinkerlagerbestands}_{\text{Werk A} \dots \text{Werk n}} \\ &- \Sigma \text{Ende des Klinkerlagerbestands}_{\text{Werk A} \dots \text{Werk n}} \\ &+ \Sigma \text{interner Klinkerimport}_{\text{Werk A} \dots \text{Werk n}} \\ &- \Sigma \text{interner Klinkerexport}_{\text{Werk A} \dots \text{Werk n}} \\ &+ \Sigma \text{Klinker aus Zementimport}_{\text{Werk A} \dots \text{Werk n}} \\ &- \Sigma \text{Klinker aus internem Zementtransfer}_{\text{Werk A} \dots \text{Werk n}} \\ &= \Sigma \text{Klinkerverbrauch}_{\text{Werk A} \dots \text{Werk n}} \\ &- \text{Klinker aus internem Zementtransfer}_{\text{Werk A} \dots \text{Werk n}} \end{aligned}$$

Grundsätzlich kann die Systematik für internen Klinkertransfer auch auf intern transferierte MIC angewendet werden. Die Menge exportierter MIC sollte immer einen positiven Wert ergeben, was bedeutet, dass das Werk verkauft/exportiert. Für die Berichterstattung ist es nicht relevant, ob verkaufte/exportierte MIC in Zement oder Beton verwendet werden. Die Menge der verbrauchten vorab verarbeiteten MIC sollten bei der Menge der Produkte aus Zementbestandteilen nicht beachtet werden, wenn sie von einem anderen Werk bezogen wurden (unabhängig von der Zugehörigkeit zur gleichen oder zu einer anderen Organisation).

Auf Organisationsebene werden die insgesamt erfolgten MIC-Transfers als Summe aller Werke zusammengefasst.

Nach der vorliegenden Norm werden also die internen Transfers von Klinker, Zement und mineralischen Komponenten erfasst. Die Erfassung interner Transfers ist für die Analyse der THG-Leistungskennzahlen auf Werksebene erforderlich.

7 Direkte Treibhausgasemissionen und deren Bestimmung

7.1 Allgemeines

Direkte Treibhausgasemissionen sind Emissionen aus Quellen des jeweiligen Werks. In Zementwerken können direkte Treibhausgasemissionen aus den folgenden Quellen entstehen:

- a) Kalzinierung von Carbonaten und Verbrennung des in Rohmaterialien enthaltenen organischen Kohlenstoffs;
- b) Verbrennung von Ofenbrennstoffen im Zusammenhang mit der Klinkerherstellung:
 - 1) Verbrennung von konventionellen fossilen Brennstoffen;
 - 2) Verbrennung von alternativen fossilen Ofenbrennstoffen und Mischbrennstoffen mit biogenem Kohlenstoffgehalt;
 - 3) Verbrennung von Biomasse und flüssigen Biobrennstoffen (einschließlich Biomasseabfällen);
- c) Verbrennung von Nicht-Ofenbrennstoffen:
 - 1) Verbrennung konventioneller fossiler Brennstoffe;
 - 2) Verbrennung alternativer fossiler Ofenbrennstoffe und Mischbrennstoffe mit biogenem Kohlenstoffgehalt;
 - 3) Verbrennung von Biomasse und flüssigen Biobrennstoffen (einschließlich Biomasseabfällen);
- d) Verbrennung von Brennstoffen für die Stromerzeugung vor Ort;
- e) Verbrennung von im Abwasser enthaltenem Kohlenstoff.

Tabelle 8 — CO₂ aus Rohmaterialien: Methoden auf Basis des Rohmaterialinputs (A1 und A2)

Emissionskomponenten	Parameter	Einheit	Empfohlene Quellen der Parameter
CO₂ aus Rohmaterialien: Methoden auf Basis des Rohmaterialinputs (A1 und A2)			
Kalzinierung der für die Klinkerherstellung verbrauchten Rohmaterialien	verbraucht Rohmehl	t	Berechnung oder Messung auf Werksebene
	Ofenmehl	t	Berechnung oder Messung auf Werksebene
	freigesetztes CO ₂ aus gesamtem Kohlenstoff in Rohmehl oder Glühverlust (GV)	Massenanteil	Berechnung oder Messung auf Werksebene
Korrekturen für rückgeführten Staub		Massenanteil	Berechnung oder Messung auf Werksebene
Kalzinierung von Staub	aus Ofensystem ausgeschleuster Staub ohne Bypass-Staub	t	Messung auf Werksebene
	Staub-CO ₂ -Gehalt freigesetzt aus Gesamtkohlenstoff oder Glühverlust (GV)	Massenanteil	Messung auf Werksebene
Außerdem für die detaillierte Input-Methode A2			
Teilkalzinierung des Bypass-Staubes	aus dem Ofensystem ausgeschleuster Bypass-Staub	t	Messung auf Werksebene
	CO ₂ freigesetzt aus Gesamtkohlenstoff in Bypass-Staub	Massenanteil	Messung auf Werksebene
zusätzliche Rohmaterialien, die nicht im Ofenmehl enthalten sind	zusätzliche Rohmaterialien	t	Messung auf Werksebene
	CO ₂ freigesetzt aus Gesamtkohlenstoff in zusätzlichen Rohmaterialien	Massenanteil	Messung auf Werksebene

Tabelle 9 — Parameter und empfohlene Datenquellen zur Berechnung der direkten CO₂-Emissionen sowie Standardwerte für CO₂-Emissionsfaktoren für Brennstoffe

Emissions-komponenten	Parameter	Einheiten	Empfohlene Quelle der Parameter
CO₂ aus Rohmaterialien: auf dem produzierten Klinker beruhende Methoden (B1 und B2)			
Kalzinierung der für die Klinkerherstellung verwendeten Rohmaterialien	produzierter Klinker	t ^a	Messung auf Werksebene
	Emissionsfaktor für Klinker	kg CO ₂ /t cli ^b	Standard = 525; oder Berechnung nach der detaillierten Output-Methode (B2)
Kalzinierung von Staub	aus Ofensystem ausgeschleuster Staub	t	Messung auf Werksebene
	Emissionsfaktor für Klinker	kg CO ₂ /t cli	Standard = 525; oder Berechnung nach der detaillierten Output-Methode (B2)
	Kalzinierungsgrad des Staubs	Kalzinierter Anteil	Messung auf Werksebene
Organischer Kohlenstoff in Rohmaterialien	produzierter Klinker	t cli	Messung auf Werksebene
	Verhältnis Rohmehl/Klinker	t/t cli	Standard = 1,55; darf an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden
	TOC ^c -Gehalt Rohmehl	Massenanteil	Standard = 0,2 %; darf an die lokalen Gegebenheiten angepasst werden
Außerdem für die detaillierte Output-Methode (B2)			
Kalzinierung der für die Klinkerherstellung verwendeten Rohmaterialien	CaO + MgO in Klinker	Massenanteil	Messung auf Werksebene
Korrektur des Emissionsfaktors für Klinker	CaO + MgO aus nicht carbonatischen Quellen in Rohmaterialien	Massenanteil	Messung auf Werksebene
	verbrauchtes Rohmaterial	t	Messung auf Werksebene
	Ca- und Mg-Silicatquellen in Rohmaterialien (z. B. als Teil von Tonmineralen)	Massenanteil	Messung auf Werksebene (z. B. mit QXRD mit Rietveldverfeinerung)
	verbrauchtes Rohmaterial	t	Messung auf Werksebene
CO₂ aus der Verbrennung von Ofenbrennstoffen und Nicht-Ofenbrennstoffen			
Konventionelle fossile Brennstoffe	Brennstoffverbrauch	t	Messung auf Werksebene
	unterer Heizwert	GJ/t Brennstoff	Messung auf Werksebene

Emissionskomponenten	Parameter	Einheiten	Empfohlene Quelle der Parameter
	Emissionsfaktor	t CO ₂ /GJ Brennstoff	IPCC-/CSI-/nationale Standardwerte oder Messung auf Werksebene
Alternative fossile Brennstoffe (fossile AF ^e) und Mischbrennstoffe	Brennstoffverbrauch	t	Messung auf Werksebene
	unterer Heizwert	GJ/t Brennstoff	Messung auf Werksebene
	Emissionsfaktor	t CO ₂ /GJ Brennstoff	IPCC-/CSI-/nationale Standardwerte oder Messung auf Werksebene
	biogener Kohlenstoffgehalt	Massenanteil	IPCC-/CSI-/nationale Standardwerte oder Messung auf Werksebene
Biomasse und flüssige Biobrennstoffe (Biomasse AF)	Brennstoffverbrauch	t	Messung auf Werksebene
	unterer Heizwert	GJ/t Brennstoff	Messung auf Werksebene
	Emissionsfaktor	t CO ₂ /GJ Brennstoff	IPCC-/CSI-/nationale Standardwerte oder Messung auf Werksebene
Abwasserverbrennung	–	–	CO ₂ -Quantifizierung nicht erforderlich
^a t = metrische Tonne ^b cli = Klinker ^c TOC = gesamter organischer Kohlenstoff ^d QXRD = quantitative Röntgendiffraktometrie (en: quantitative X-ray diffractometry) ^e AF = alternative Brennstoffe			

Im folgenden Verlauf dieses Abschnitts sind die Emissionsfaktoren, Gleichungen und Vorgehensweisen zur Berichterstattung für diese Quellen beschrieben.

In Tabelle 8 und Tabelle 9 sind die beteiligten Parameter und die empfohlenen Datenquellen zusammengefasst. Im Allgemeinen sind Unternehmen angehalten, die erforderlichen Parameter auf Werksebene zu messen. Sind werks- oder organisationsspezifische Daten nicht verfügbar, sollten die empfohlenen internationalen Standardfaktoren angewendet werden. Andere Standardfaktoren (z. B. nationale) dürfen internationalen Standardfaktoren vorgezogen werden, wenn sie als verlässlich und besser geeignet erachtet werden. Die folgenden Abschnitte enthalten Hinweise dazu, nach welchen Kriterien aus den unterschiedlichen Methoden zur Berichterstattung von CO₂-Emissionen aus der Kalzinierung von Rohmaterialien eine Methode auszuwählen ist.

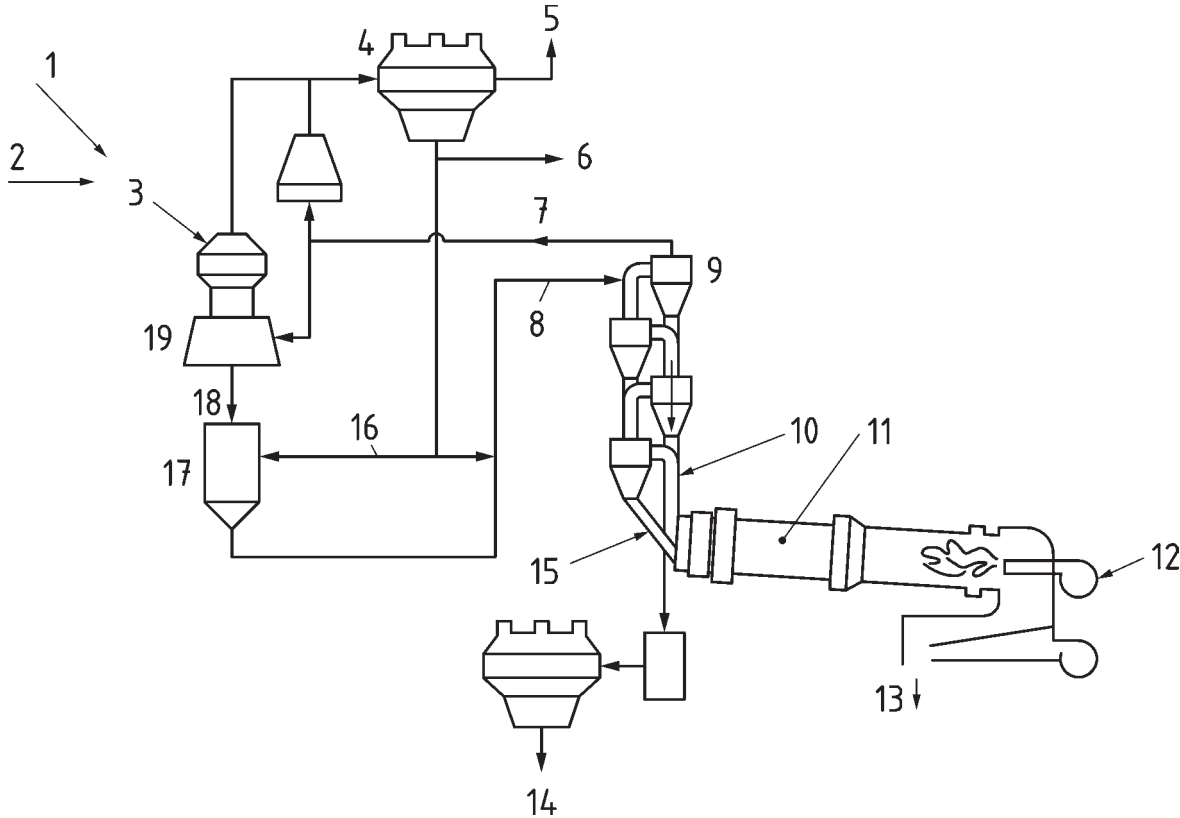
7.2 CO₂ aus der Rohmaterialkalzinierung

7.2.1 Allgemeines

Kalzinierung ist die Freisetzung von CO₂ aus Carbonaten während des Klinkerbrennprozesses. CO₂ aus der Kalzinierung ist direkt mit der Klinkerherstellung verknüpft. Zusätzlich können die Kalzinierung von Filterstaub (FD, en: filter dust) und Bypass-Staub (BPD, en: bypass dust) eine relevante CO₂-Quelle

darstellen, wenn diese Stäube aus dem Ofensystem ausgeschleust werden, um direkt verkauft zu werden, um als Zusatz zu Zement oder sonstigen Produkten zu dienen, oder um als Abfall entsorgt zu werden.

Das folgende Bild 5 zeigt ein Beispiel für die im Klinkerherstellungsprozess relevanten Massenströme, die häufig in Werken mit einem Zyklonvorwärmer auftreten.



Legende

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1 Kalkstein CaO_3 , MgCO_3 | 11 Drehrohrföfen |
| 2 Ton, Schiefer, sonstiges CaO , MgO , CaSi | 12 Brennstoffflasche |
| 3 Rohmaterial | 13 Klinker (cli) |
| 4 Staubfilter | 14 Bypass-Staub (BPD) |
| 5 CO_2 | 15 zusätzliche Rohmaterialien (AdRM) |
| 6 aus Ofensystem ausgeschleuster Filterstaub (FD) | 16 rückgeführter Staub |
| 7 rückgeführter Staub | 17 Silo |
| 8 Ofenmehl (KF) | 18 Rohmehl (RM) |
| 9 Vorwärmer | 19 Rohmühle |
| 10 Asche aus Kalzinatorbrennstoffen | |

Bild 5 — Beispiel für die Massenströme im Klinkerherstellungsprozess in einem Werk zur Herstellung von Klinker mit Zyklonvorwärmer und Drehrohrföfen mit Filterstaub und rückgeführtem Staub

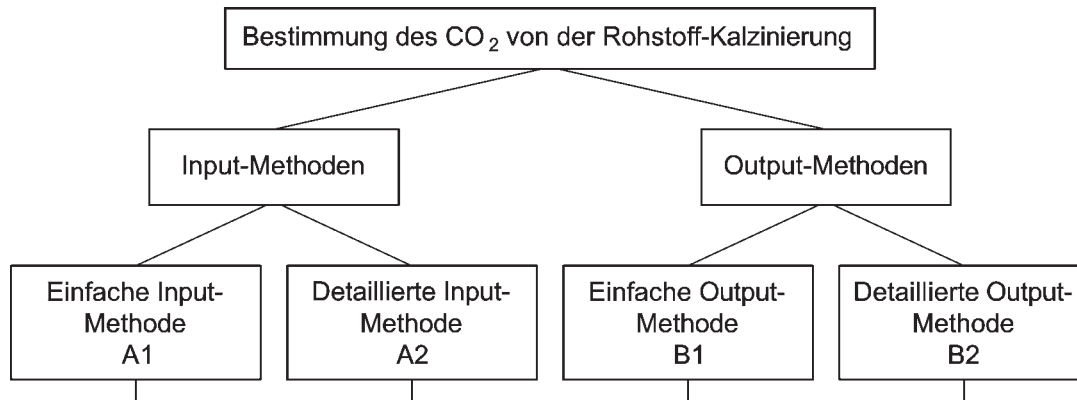
Auf Werksebene darf das CO_2 aus der Kalzinierung grundsätzlich auf zwei Arten berechnet werden: auf der Grundlage der Menge und des Carbonatgehalts des verbrauchten Rohmehls (Input-Methode) oder auf der Grundlage des Volumens und der Zusammensetzung des produzierten Klinkers (Output-Methoden) zuzüglich des aus dem Ofensystem ausgeschleusten Staubs. In Europa wird häufig die klinkerbasierte Methode angewendet. Sowohl die auf dem Input als auch die auf dem Output basierende Methoden sind in den 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories (Ausstoß Ebene 1 und Ebene 2, Einsatz

Ebene 3³) [4] enthalten. Beide Methoden sind gleichwertig. Diese Norm beschreibt beide Methoden. Unternehmen dürfen zwischen der auf dem Rohmehl beruhenden Input-Methode und der auf Klinker beruhenden Output-Methode wählen. Die Wahl sollte nach Verfügbarkeit geeigneter Daten und Messungen der Massenströme erfolgen. Darüber hinaus ist nach dieser Norm bei beiden Methoden jeweils die Wahl zwischen einer einfachen und einer detaillierten Methode möglich. Die Wahl zwischen der einfachen und der detaillierten Methode hängt sowohl von der vorgesehenen Verwendung der Berichterstattung als auch von der Verfügbarkeit der Daten ab. Wenn die für die detaillierteren Methoden erforderlichen Daten mit ausreichender Genauigkeit und im Rahmen des praktisch Möglichen verfügbar gemacht werden können, sind die detaillierteren Berichterstattungsmethoden vorzuziehen.

In dieser Norm beziehen sich die Massenströme und Parameter des Rohmehls, des Ofenmehls, des CKD (Filter- und Bypass-Staub) und des Klinkers auf den trockenen Zustand (Feuchtegehalt < 1 %). Normalerweise ist die Restfeuchte dieser Materialien vernachlässigbar, wenn Messungen in dem Zustand erfolgen, in dem das Material oder der Brennstoff dem Prozess zugeführt wird.

Die CO₂-Emissionen aus der Kalzinierung von relativ geringen Mengen an Carbonaten in Brennstoffaschen, die dem Ofensystem zugeführt werden, müssen für die Berichterstattung der CO₂-Emissionen aus Brennstoffen vollständig erfasst werden. Normalerweise wird dies sichergestellt durch Bestimmung der Brennstoff-CO₂-Emissionsfaktoren basierend auf dem Gesamtkohlenstoffgehalt (TC) der Brennstoffe, der sowohl den gesamten organischen Kohlenstoff (TOC) als auch den gesamten anorganischen Kohlenstoff (TIC) umfasst. Materialien mit einem hohen Gehalt an TOC und TIC (z. B. kommunaler Klärschlamm) dürfen als Brennstoff und/oder Rohmaterial betrachtet werden. In jedem Fall müssen die gesamten CO₂-Emissionen, die aus deren Nutzung entstehen, erfasst werden. In Bild 6 — Überblick über die Methoden zur Bestimmung der CO₂-Emissionen aus der Rohmaterialkalzinierung, sind die empfohlene Methodik und die Methoden zur Bestimmung der wesentlichen CO₂-Quellen aus der Rohmaterialkalzinierung zusammengefasst.

3 Siehe IPCC 2006, Bd. III, 2.2.1.1



Hauptparameter und Analyseverfahren	verbrauchtes Rohmehl GV (Masseverlust beim Glühen)	verbrauchtes Rohmehl CO ₂ freigesetzt aus TC (z. B. durch IR-Analyse der Gase)	produzierter Klinker Standardwert	produzierter Klinker CaO-, MgO-Analyse (z. B. durch RFA)
CO ₂ aus organischem Kohlenstoff (TOC)	teilweise enthalten, separate Analyse bei Rohmaterialien mit hohem TOC-Gehalt	enthalten als Teil des CO ₂ freigesetzt aus TC, keine getrennte Erfassung notwendig	Standardwert	TOC-Analyse (sofern relevant) oder Standardwert
CO ₂ aus Bypass-Staub	enthalten, vollständige Kalzinierung angenommen, keine Analyse	verbliebenes CO ₂ freigesetzt aus TC	Standardwert für Klinker vollständige Kalzinierung angenommen	CaO-, MgO-Analyse oder Standardwert für Klinker
CO ₂ aus Filterstaub	GV	CO ₂ freigesetzt aus TC	Standardwert oder Analyse	Analyse oder Standardwert
Dem Kalzinator oder Ofeneinlauf zugeführte zusätzliche Rohmaterialien	nicht abgedeckt	CO ₂ freigesetzt aus TC getrennte Erfassung	enthalten, keine getrennte Erfassung erforderlich	enthalten, keine getrennte Erfassung erforderlich

Bild 6 — Überblick über die Methoden zur Bestimmung der CO₂-Emissionen aus der Rohmaterialkalzinierung

7.2.2 Input-Methoden A1 und A2

Die Input-Methoden beruhen auf der Bestimmung der Menge des für die Klinkerherstellung verbrauchten Rohmehls aus der Ofenmehlaufgabe unter Berücksichtigung eines Korrekturfaktors für rückgeführten Staub. Beide Methoden (einfache Input-Methode A1 und detaillierte Input-Methode A2) erfassen:

- CO₂-Emissionen aus der Rohmaterialkalzinierung zur Klinkerherstellung;
- CO₂-Emissionen aus der Kalzinierung von Zementofenstaub (CKD = Filter- und/oder Bypass-Staub), der aus dem Ofensystem ausgeschleust wird;
- CO₂-Emissionen aus dem organischen Kohlenstoffgehalt (TOC) der Rohmaterialien.

(1) Verbrauchtes Rohmehl: Die Menge des für die Klinkerherstellung verbrauchten Rohmehls im Ofen, einschließlich des kalzinierten Bypass-Staubs, der aus dem Ofensystem ausgeschleust wird, wird aus der auf Werksebene berechneten oder gemessenen **Ofenmehlmenge** ermittelt. Das Wägen der Ofenmehlmenge ist dabei die wichtigste Messgröße, welche die endgültige Genauigkeit der Berichterstattung nach der Input-Methode größtenteils bestimmt.

Die Menge des Ofenmehls wird korrigiert durch Subtrahieren der z. B. aus dem Vorwärmer rückgeführten Staubmenge, wobei diese Staubmenge entweder zum Ofenmehl oder im Rohmehlsilo rezirkuliert wird oder als Filterstaub aus dem Ofensystem ausgeschleust wird. Das Prinzip der Massenströme ist in Bild 6 veranschaulicht. Die Korrektur der Ofenmehlmenge um die Staubrückführung verhindert eine Doppelzählung des rezirkulierten Staubs. Mit den Input-Methoden wird somit die Menge an Rohmehl berechnet, die für die Klinkerherstellung und gegebenenfalls für aus dem Ofensystem ausgeschleusten Bypass-Staub verbraucht wird.

Der **Anteil des rückgeführten Staubs** bezogen auf das Ofenmehl muss auf Werksebene bestimmt werden. Dazu können unterschiedliche Methoden angewendet werden. Zwei übliche Methoden sind entweder die direkte Messung (Wägen) der Menge des rückgeführten Staubs oder die Bestimmung des Anteils des rückgeführten Staubs aus einer Massenbilanz für den Ofen. In einer derartigen Bilanz werden die Inputmengen von Ofenmehl und Brennstoffaschen dem produzierten Klinker, dem Glühverlust des Rohmehls und dem ausgeschleusten Staub (z. B. als Bypass-Staub) gegenübergestellt, um die Menge des innerhalb eines bestimmten Zeitraums in den Staubzyklus zurückgeführten Staubs zu erhalten.

In jedem Fall müssen die zur Bestimmung des Anteils des rückgeführten Staubs angewendeten Methoden ausreichend genau sein. Werden Messungen aus bestimmten Zeiträumen des Ofenbetriebs verwendet, müssen diese für den Ofenbetrieb während des Zeitraums, für den der Emissionsbericht erstellt wird, repräsentativ sein. Normalerweise sind dazu wiederholte Messungen erforderlich, um potentielle Änderungen des Anteils des rückgeführten Staubs im Laufe der Zeit und/oder Änderungen durch unterschiedliche Ofenbetriebsweisen zu berücksichtigen.

Die **Menge der CO₂-Emissionen** aus der Kalzinierung des verbrauchten Rohmehls wird in der detaillierten Input-Methode A2 durch Multiplikation mit dem Massenanteil des CO₂ freigesetzt aus TC des nicht kalzinierten Rohmehls (RM) oder in der einfachen Input-Methode A1 durch Multiplikation mit dessen Glühverlust (GV) berechnet. Der entsprechende Parameter des Rohmehls muss regelmäßig auf Werksebene gemessen werden.

Anstelle des Rohmehlparameters darf der jeweilige in Ofenmehlproben analysierte Parameter verwendet werden, solange die Differenz nicht signifikant ist und eine regelmäßige Analyse des Rohmehls nicht durchgeführt werden kann. Die Differenz bleibt gering, wenn der vom Vorwärmersystem rückgeführte Staub einen sehr niedrigen Kalzinierungsgrad aufweist (wie oft bei Ofensystemen mit Trockenprozess und Zyklonvorwärmern der Fall) oder wenn zum Ofenmehl nur sehr geringe Mengen an Staub aus dem Vorwärmer rezirkuliert werden.

- Für diesen Parameterersatz bei der einfachen Input-Methode A1 darf die Differenz zwischen dem Ofenmehl- und dem Rohmehlparameter 1 % nicht überschreiten, und der Kalzinierungsgrad d des aus dem Vorwärmer rückgeführten Staubs darf 5 % nicht überschreiten.
- Für die Parametersubstitution bei der detaillierten Input-Methode A2 muss die Differenz zwischen beiden Parametern analysiert und nachgewiesen werden, dass die berichteten CO₂-Emissionen vollständig sind und keine systematische Abweichung zwischen der Anwendung der aus den Rohmehl- oder Ofenmehlproben ermittelten Parameter in Bezug auf die Genauigkeits- und Anwendungsgrenzen auftritt.

Zusätzlich zu anorganischen Carbonaten enthalten die Rohmaterialien für die Klinkerherstellung normalerweise einen geringen Anteil an **organischem Kohlenstoff**, der beim Brennen des Rohmehls in CO₂ umgewandelt wird. Bei den Parametern für die Berichterstattung der CO₂-Emissionen nach den Input-

Methoden müssen die CO₂-Emissionen aus dem Gesamtgehalt an organischem Kohlenstoff (TOC) berücksichtigt werden:

Bei der **detaillierten Input-Methode A2** sollte die **Messung des CO₂ aus dem Gesamtkohlenstoff** die CO₂-Emissionen aus dem Rohmehl und aus zusätzlichen Rohmaterialien vollständig bestimmen. Das bedeutet, in der Messung sollte das aus dem anorganischen Kohlenstoffgehalt (TIC) und dem organischen Kohlenstoffgehalt (TOC) der entsprechenden Materialien freigesetzte CO₂ enthalten sein. Für diese Messungen darf zum Beispiel der Gesamtkohlenstoffgehalt (TC) analysiert werden oder eine CO₂-IR-Analyse der aus der erwärmten und vollständig oxidierten Probe freigesetzten Gase erfolgen.

Bei der **einfachen Input-Methode A1** ist durch den Massenanteil des **Glühverlusts (GV)** das gesamte CO₂ aus der Kalzinierung der Carbonate erfasst. Die CO₂-Emissionen aus dem organischen Kohlenstoffgehalt (TOC) sind normalerweise relativ gering. Sie sind ebenfalls durch den Glühverlust abgedeckt, allerdings nur teilweise. Der Massenunterschied zwischen dem TOC und den CO₂-Emissionen aus dem TOC wird andererseits häufig durch geringe Mengen an Restfeuchte in den Rohmehlproben, die beim Erwärmen als Wasserdampf (H₂O) freigesetzt wird, überkompensiert. Dieser Massenverlust ist ebenfalls durch den Glühverlust erfasst. Somit ermöglicht die Emissionsberichterstattung auf der Grundlage des Glühverlusts in der einfachen Input-Methode eine relativ genaue Schätzung der gesamten CO₂-Emissionen aus der Kalzinierung und dem Brennen des verbrauchten Rohmehls. Wenn Rohmaterialien mit hohem Gehalt an organischem Kohlenstoff eingesetzt werden, dann muss anstelle der GV-Messungen der CO₂-Gehalt einschließlich der CO₂-Emissionen aus dem gesamten organischen Kohlenstoffgehalt (TOC) wie in der detaillierten Input-Methode A2 angewendet werden. Das könnte zum Beispiel dann notwendig sein, wenn in einem Werk erhebliche Mengen an Schiefer oder Flugasche mit hohem TOC als Rohmaterialien für das Ofenmehl eingesetzt werden. In bestimmten Fällen kann es sinnvoll sein, den TOC dieser Materialien gesondert als „virtuelle“ Brennstoffkomponente zu behandeln. Das bedeutet, dass bei dem Material (rechnerisch) eine Rohmaterialkomponente (die den mineralischen Teil/die Carbonate abdeckt) und ein „Brennstoffanteil“ (basierend auf dem TOC) unterschieden werden.

(2) Aus dem Ofensystem ausgeschleuster Filterstaub bezieht sich auf den gesamten Staub, der nicht als Teil des Ofenmehls rezirkuliert wird. Zum Beispiel könnte dieser Staub direkt verkauft, Zement oder sonstigen Produkten zugegeben oder als Abfall entsorgt werden. Die Definition von aus dem Ofensystem ausgeschleustem Filterstaub schließt Bypass-Staub aus, der in der detaillierten Input-Methode A2 gesondert behandelt wird (siehe Gleichung (1) und Gleichung (2)). Die Menge des aus dem Ofensystem ausgeschleusten Filterstaubs wird als Teil des rückgeführten Staubs von dem gemessenen Ofenmehl entsprechend dem Konzept für die Bestimmung des verbrauchten Rohmehls subtrahiert. Daher müssen Emissionen aus der Kalzinierung von aus dem Ofensystem ausgeschleustem Filterstaub gesondert berücksichtigt werden. Im Trockenprozess liegt Filterstaub oft nicht kalziniert vor. Teilkalziniertes Filterstaub wird jedoch oft in Werken mit Halbtrocken-, Halbnass- und Nassprozessen extrahiert. Die CO₂-Emissionen aus dessen Kalzinierung müssen erfasst werden. Die CO₂-Emissionen aus der Rohmehlkalkzinierung, bei der Bypass-Staub entsteht, sind bereits als kalzinierungsbedingtes CO₂ aus dem verbrauchten Rohmehl berücksichtigt.

CO₂ aus Filterstaub, der aus dem Ofensystem ausgeschleust wird, muss auf der Grundlage der relevanten Staubmengen und entweder des carbonatischen CO₂-Gehalts oder des Glühverlusts des auf Werksebene gemessenen Filterstaubs berechnet werden. Aus dem carbonatischen CO₂-Gehalt oder Glühverlust des Filterstaubs und des nicht kalzinierten Rohmehls (RM) wird der CO₂-Emissionsfaktor EF_{FD} nach folgenden Gleichungen berechnet:

$$EF_{FD} = \frac{fCO_{2RM} \times d}{1 - fCO_{2RM} \times d} \quad (1)$$

$$d = 1 - \frac{fCO_{2FD} \times (1 - fCO_{2RM})}{(1 - fCO_{2FD}) \times fCO_{2RM}} \quad (2)$$

Dabei ist

EF_{FD}	der Emissionsfaktor für teilkalzinierter Filterstaub, in t CO ₂ /t FD;
$fCO_{2\ RM}$	der Massenanteil des carbonatischen CO ₂ im Rohmehl, dimensionslos;
d	der Kalzinierungsgrad von Filterstaub (freigesetztes CO ₂ , angegeben als Anteil des gesamten carbonatischen CO ₂ im Rohmehl);
$fCO_{2\ FD}$	der Massenanteil des carbonatischen CO ₂ im Filterstaub, dimensionslos.

Bei der einfachen Input-Methode A1 werden die Variablen $fCO_{2\ RM}$ und $fCO_{2\ FD}$ durch GV_{RM} bzw. GV_{FD} , also die Massenanteile des Glühverlusts, ersetzt. Der Kalzinierungsgrad d des Filterstaubs muss vorzugsweise auf werksspezifischen Daten beruhen. Liegen derartige Daten nicht vor, ist für Drehrohröfen mit Trockenverfahren der Standardwert 0 anzuwenden, da Filterstaub üblicherweise nicht bzw. nur in vernachlässigbarer Menge in diesem Prozess kalziniert wird. In anderen Prozessen (halbtrocken, halbnass oder nass) kann der Kalzinierungsgrad signifikant sein. Liegen keine Daten vor, ist für diese Ofentypen der Standardwert 1 anzuwenden. Dabei handelt es sich um einen konservativen Wert, d. h. in den meisten Fällen werden die filterstaubbedingten Emissionen überschätzt. Gleichung (1) für die Input-Methode beruht auf der Rohmehlanalyse, während der EF_{FD} entsprechend der Output-Methode auf dem CO₂-Emissionsfaktor für Klinker beruht (siehe Gleichung (11)). Beide Berechnungsmethoden sollten zum selben Ergebnis führen.

Liegen keine werksspezifischen Daten zu den Staubmengen vor, muss der IPCC-Standardwert für CO₂ aus ausgeschleustem Staub angewendet werden (2 % des klinkerbedingten CO₂). Dabei sollte jedoch beachtet werden, dass dieser Standardwert in Fällen, in denen relevante Mengen an Staub aus dem Ofensystem ausgeschleust werden, eindeutig zu gering ist. Daher sind werks- oder organisationsspezifische Daten eindeutig vorzuziehen.

(3) Teilkalzinierung von Bypass-Staub (detaillierte Input-Methode A2): Normalerweise ist Bypass-Staub (BPD), der aus dem Ofensystem extrahiert wird, vollständig kalziniert. Das wird bei der einfachen Input-Methode A1 vorausgesetzt. Bei bestimmten Werkstypen ist der Bypass-Staub jedoch nur teilweise kalziniert. Je nach Menge der BPD-Ausschleusung und dem jeweiligen Kalzinierungsgrad kann das für die Genauigkeit der Berichterstattung der Emissionen aus der Rohmaterialkalzinierung wichtig sein. In derartigen Fällen sollte die detaillierte Input-Methode A2 bevorzugt werden, und die Menge des aus dem Ofensystem ausgeschleusten Bypass-Staubs sowie der carbonatische CO₂-Gehalt im Bypass-Staub sind auf Werksebene zu messen. Die Menge des Rest-CO₂ im Massenstrom des aus dem Ofensystem ausgeschleusten Bypass-Staubs, siehe Gleichung (3), muss dann von der CO₂-Menge aus der Kalzinierung des verbrauchten Rohmehls subtrahiert werden. Hierbei handelt es sich um eine Korrektur für den nicht kalzinierten BPD-Anteil, siehe Gleichung (4).

$$CO_{2\ \text{nicht emittierter BPD}} = BPD \times RestCO_{2\ BPD} \quad (3)$$

$$CO_{2\ \text{Rohmaterialien}} = CO_{2\ \text{verbrauchtes RM}} - CO_{2\ \text{nicht emittierter BPD}} \quad (4)$$

Dabei ist

$CO_{2\ \text{nicht emittierter BPD}}$	die Menge an CO ₂ , die im Bypass-Staub verbleibt und somit nicht emittiert wird, in t CO ₂ ;
BPD	die Menge des aus dem Ofensystem ausgeschleusten Bypass-Staubs, in t;
$Rest-CO_{2\ BPD}$	die Menge des analysierten Rest-CO ₂ -Gehalts im Bypass-Staub, in t CO ₂ /t BPD;
$CO_{2\ \text{Rohmaterialien}}$	das effektiv aus den Rohmaterialien emittierte CO ₂ , in t CO ₂ ;

CO_2 verbrauchtes RM die Menge an potentiell aus dem verbrauchten Rohmehl emittierte CO_2 , in t CO_2 , mit

$$CO_2 \text{ verbrauchtes RM} = RM_{\text{verbraucht}} \times CO_2 \text{ RM}$$

Dabei ist

$RM_{\text{verbraucht}}$ die Menge an verbrauchtem Rohmehl, in t;

$CO_2 \text{ RM}$ das analysierte freigesetzte CO_2 aus dem gesamten Kohlenstoff in Rohmehl, in t CO_2 /t RM.

(4) Zusätzliche, nicht im Ofenmehl enthaltene Rohmaterialien: Die detaillierte Input-Methode A2 bietet Möglichkeiten zur Berücksichtigung von zusätzlichen Rohmaterialien. Im Fall von zusätzlichen Rohmaterialien, die nicht im Ofenmehl enthalten sind, z. B. dem Ofeneinlauf direkt zugeführt werden, kann die einfache Input-Methode nicht angewendet werden. Für jedes Material müssen Menge und CO_2 -Gehalt, einschließlich der CO_2 -Emissionen aus dem organischen Kohlenstoffgehalt (TOC), auf Werksebene gemessen werden. Nur wenn dasselbe Material zusätzlich als Brennstoff mit einem Emissionsfaktor berichtet wird, der auf einem relativ hohen TOC basiert, ist die Berichterstattung der CO_2 -Emissionen als zusätzliches Rohmaterial auf den gesamten anorganischen Kohlenstoffgehalt (TIC) beschränkt; vgl. 7.2.1.

Gleichung für die einfache Input-Methode A1:

$$CO_2 \text{ Rohmaterialien} = \text{Ofenmehl} \times (1 - \text{Korrektur für rückgeführten Staub}) \times GV_{RM} \\ + \text{aus dem Ofensystem ausgeschleuster FD} \times EF_{FD} \quad (5)$$

Gleichung für die detaillierte Input-Methode A2:

$$CO_2 \text{ Rohmaterialien} = \text{Ofenmehl} \times (1 - \text{Korrekturen für rückgeführten Staub}) \times fCO_2 \text{ RM,TC} \\ + \text{aus dem Ofensystem ausgeschleuster FD} \times EF_{FD} \\ - \text{aus dem Ofensystem ausgeschleuster BPD} \times fCO_2 \text{ BPD,TC} \\ + \sum_i (ARM_i \times fCO_2 \text{ ARM,TC,i}) \quad (6)$$

Dabei ist (in Gleichung (5) und Gleichung (6))

CO_2 Rohmaterialien das gesamte CO_2 aus den Rohmaterialien, in t CO_2 /Jahr;

Ofenmehl die Menge des auf Werksebene gemessenen Ofenmehls, in t/Jahr;

Korrektur für rückgeführten Staub der Anteil des rückgeführten Staubs, bezogen auf die Ofenmehlaufgabe, dimensionslos;

GV_{RM} der Massenanteil des Glühverlusts im Rohmehl, dimensionslos;

$fCO_2 \text{ RM,TC}$ der Massenanteil des CO_2 -Gehalts im Rohmehl, hier einschließlich der CO_2 -Emissionen aus dem TOC, dimensionslos;

aus Ofensystem ausgeschleuster FD die Menge des aus dem Ofensystem ausgeschleusten Filterstaubs, in t/Jahr;

EF_{FD} der CO_2 -Emissionsfaktor für teilkalzinierten Filterstaub, in t CO_2 /t FD)

aus dem Ofensystem ausgeschleuster BPD die Menge des aus dem Ofensystem ausgeschleusten Bypass-Staubs, in t/Jahr;

$f_{CO_2 BPD,TC}$	der Massenanteil des CO ₂ freigesetzt aus TC im Bypass-Staub, dimensionslos;
ARM_i	die Menge an zusätzlichem Rohmaterial i, das nicht Teil des Ofenmehls ist, in t/Jahr;
$f_{CO_2 ARM,TC,i}$	der Massenanteil des CO ₂ freigesetzt aus TC im zusätzlichen Rohmaterial i, dimensionslos.

Anpassung des Konzepts der Input-Methode: In besonderen Fällen kann eine Anpassung des Prinzips der Input-Methode notwendig sein, um bestimmte Materialströme eines Werks widerzuspiegeln und deren korrekte Erfassung sicherzustellen. Die Anpassungen müssen erläutert werden und eine Übersicht über alle relevanten Materialströme muss beiliegen. Darüber hinaus muss nachgewiesen werden, dass CO₂-Emissionen aus der vollständigen und teilweisen Kalzinierung der Rohmaterialien sowie aus dessen organischen Kohlenstoffgehalten durch die angepasste Methode vollständig und genauer erfasst werden.

7.2.3 Output-Methoden B1 und B2

Zur Anwendung der auf Klinker beruhenden Output-Methoden müssen Unternehmen ihre werksspezifischen Daten wie folgt nutzen:

(1) Klinker: CO₂ aus der Kalzinierung muss auf der Grundlage der produzierten Klinkermenge und eines Emissionsfaktors je Tonne Klinker berechnet werden.

Die produzierte Klinkermenge kann durch eines der folgenden Verfahren bestimmt werden:

- eine Massenbilanz für Klinker (rückgerechnet aus dem Zementversand) mit

$$\begin{aligned} \text{Klinkerproduktion (t)} \\ &= \text{Zementversand (t)} - \text{Zementbestandteile außer Klinker (t)} \\ &+ \text{Klinkerversand (t)} \end{aligned} \quad (7)$$

oder

- Wägen direkt, nachdem er aus dem Ofen gekommen ist.

Der Emissionsfaktor ist basierend auf dem gemessenen CaO- und MgO-Gehalt des Klinkers zu bestimmen und zu korrigieren, wenn relevante Mengen CaO und MgO im Klinker aus nicht carbonatischen Quellen stammen. Dies könnte der Fall sein, wenn Calciumsilicate oder Flugasche als Rohmaterial im Drehrohrföfen eingesetzt werden.

Die Bestimmung des Emissionsfaktors für Klinker muss klar dokumentiert sein. Die detaillierte Methode bezieht sich auf die CaO- und MgO-Analyse des Klinkers und eine Korrektur für nicht carbonatische Quellen dieser Oxide.

Liegen keine besseren Daten vor, ist ein Standardwert von 0,525 t CO₂/t Klinker anzuwenden (**einfache Output-Methode B1**). Dieser Wert ist mit dem um die typischen MgO-Gehalte in Klinker korrigierten IPCC-Standardwert (0,510 t CO₂/t) vergleichbar. Siehe 7.3 für Einzelheiten zum Standardemissionsfaktor.

$$EF_{cli} = f_{CaO_{cli}} \times 0,785 \frac{t CO_2}{t CaO} + f_{MgO_{cli}} \times 1,092 \frac{t CO_2}{t MgO} \quad (8)$$

Dabei ist

EF_{cli} der CO₂-Emissionsfaktor für Klinker, in t CO₂/t Klinker;

$fCaO_{cli}$ der CaO-Gehalt des Klinkers, in %;

$fMgO_{cli}$ der MgO-Gehalt des Klinkers, in %.

Wesentliche Gehalte an nicht carbonatischem CaO und MgO (z. B. aus vorkalzinierten Rohmaterialien) können abgezogen werden.

(2) Staub: CO₂ aus Bypass-Staub oder Filterstaub, der aus dem Ofensystem ausgeschleust wird, muss basierend auf den relevanten Staubmengen und einem Emissionsfaktor berechnet werden. Bei der Berechnung muss die gesamte Menge des aus dem Ofensystem ausgeschleusten Staubs berücksichtigt werden, unabhängig davon, ob der Staub direkt verkauft, Zement zugegeben oder als Abfall entsorgt wird.

Bypass-Staub ist in der Regel vollständig kalziniert. Daher müssen Emissionen, die aus dem Bypass-Staub stammen, mit dem Emissionsfaktor für Klinker berechnet werden (einfache Output-Methode B1).

$$CO_{2\ BPD} = BPD \times EF_{cli} \quad (9)$$

Dabei ist

$CO_{2\ BPD}$ die Menge des aus dem Bypass-Staub emittierten CO₂, in t CO₂;

BPD die Menge des aus dem Ofensystem ausgeschleusten Bypass-Staubs, in t BPD;

EF_{cli} der werkspezifische Emissionsfaktor für Klinker, in t CO₂/t Klinker.

Stehen mehr Informationen zur Verfügung, darf der Emissionsfaktor für BPD aus dem BPD-Kalziniierungsgrad nach der für FD-Emissionen vorgeschlagenen Gleichung (11) geschätzt werden.

Alternativ darf der CO₂-Emissionsfaktor für Bypass-Staub EF_{BPD} aus dem in BPD-Proben analysierten CaO, MgO und carbonatischen CO₂-Rest ermittelt werden (detaillierte Output-Methode B2). Diese Parameter hängen direkt mit der Masse des BPD zusammen. Diese Methode ergibt genauere Ergebnisse, besonders bei Komponenten wie Alkalichloriden und -sulfaten, die im Vergleich zu Klinker oder teilkalziniertem Rohmehl im Bypass-Staub angereichert vorliegen.

$$EF_{BPD} = CO_{2\ CaO} + CO_{2\ MgO} - fCO_{2\ BPD} = (CO_{2\ CaO} + CO_{2\ MgO}) \times d \quad (10)$$

Dabei ist (in Gleichung (10))

EF_{BPD} der CO₂-Emissionsfaktor für teilkalzinierten Bypass-Staub, in t CO₂/t BPD;

$CO_{2\ CaO}$ die stöchiometrische Menge des CO₂, bezogen auf den Calciumoxidgehalt im Bypass-Staub, in t CO₂/t BPD, mit

$$CO_{2\ CaO}(tCO_2/t\ BPD) = \frac{CaO_{BPD}(\%)}{100} \times 0,785 (tCO_2/t\ CaO);$$

$CO_{2\ MgO}$ die stöchiometrische Menge des CO₂, bezogen auf den Magnesiumoxidgehalt im Bypass-Staub, in t CO₂/t BPD, mit

$$CO_{2\ MgO}(tCO_2/t\ BPD) = \frac{MgO_{BPD}(\%)}{100} \times 1,092 (tCO_2/t\ MgO);$$

$fCO_{2\ BPD}$ der Massenanteil des carbonatischen CO₂Gehalts im Bypass-Staub, in t CO₂/t BPD;

d der Kalzinierungsgrad von Bypass-Staub (freigesetztes CO₂, angegeben als Anteil des gesamten carbonatischen CO₂ im vollständig nicht kalzinierten Bypass-Staub).

Der CO₂-Emissionsfaktor für Bypass-Staub EF_{BPD} nach Gleichung (10) wird nach derselben Methode, die normalerweise zur Bestimmung des Emissionsfaktors für Klinker EF_{cli} angewendet wird, berechnet. Durch Anwendung der Parameter des Bypass-Staubs und des spezifischen Massenbezugs wird jedoch Folgendes berücksichtigt:

- a) eine Verringerung des Massenanteils von CaO und MgO im Bypass-Staub (im Vergleich zu kalziniertem Rohmehl oder Klinker) durch Anreicherung von Alkalichloriden und -sulfaten;
- b) dessen Teilkalzinierung (Kalzinierungsgrad d).

Filterstaub ist im Gegensatz zu Bypass-Staub in der Regel nicht vollständig kalziniert. Der Emissionsfaktor für Filterstaub muss basierend auf dem Emissionsfaktor für Klinker und dem Kalzinierungsgrad des Filterstaubs bestimmt werden.

$$EF_{FD} = \frac{\frac{EF_{cli}}{1 + EF_{cli}} \times d}{1 - \frac{EF_{cli}}{1 + EF_{cli}} \times d} \quad (11)$$

Dabei ist

- EF_{FD} der Emissionsfaktor für teilkalzinierten Filterstaub, in t CO₂/t FD;
- EF_{cli} der werkspezifische Emissionsfaktor für Klinker, in t CO₂/t Klinker;
- d der Kalzinierungsgrad von Filterstaub (freigesetztes CO₂, angegeben als Anteil des gesamten carbonatischen CO₂ im Rohmehl), siehe Gleichung (2).

Einzelheiten zur Herleitung der Gleichung (11) siehe B.2.

Der Kalzinierungsgrad d des Filterstaubs muss vorzugsweise auf werkspezifischen Daten beruhen. Liegen derartige Daten nicht vor, ist für Drehrohröfen mit Trockenverfahren der Standardwert 0 anzuwenden, da Filterstaub üblicherweise nicht bzw. nur in vernachlässigbarem Ausmaß in diesem Prozess kalziniert wird. In anderen Prozessen (halbtrocken, halbnass oder nass) kann der Kalzinierungsgrad signifikant sein. Liegen keine Daten vor, ist für diese Ofentypen der Standardwert 1 anzuwenden. Dabei handelt es sich um einen konservativen Wert, d. h. in den meisten Fällen wird dies zu einer Überbewertung der filterstaubbedingten Emissionen führen. Input-Methode A2 basiert auf der Rohmehlanalyse, während Output-Methode B2 auf dem CO₂-Emissionsfaktor für Klinker basiert. Beide Massenbilanzmethoden sollten zum gleichen Ergebnis führen. Siehe 7.3 bis 7.6 für Einzelheiten zur Berechnung des Kalzinierungsgrads d und zu Gleichung (1) und Gleichung (2).

Liegen keine werkspezifischen Daten zu den Staubmengen vor, muss der IPCC-Standardwert für CO₂ aus ausgeschleustem Staub angewendet werden (2 % des klinkerbedingten CO₂, siehe 7.3). Dabei sollte jedoch beachtet werden, dass dieser Standardwert eindeutig zu niedrig ist, wenn relevante Mengen an Staub aus dem Ofensystem ausgeschleust werden. Daher sind werks- oder organisationsspezifische Daten eindeutig vorzuziehen.

(3) CO₂ aus organischem Kohlenstoff in Rohmaterialien: Zusätzlich zu anorganischen Carbonaten enthalten die Rohmaterialien für die Klinkerherstellung üblicherweise einen geringen Anteil an organischem Kohlenstoff, der während des Brennens des Rohmehls größtenteils in CO₂ umgewandelt wird. Der gesamte organische Kohlenstoffgehalt (TOC) der Rohmaterialien kann je nach Standort und Art der eingesetzten Materialien erheblich schwanken.

Die vom CSI zusammengetragenen Daten zeigen, dass ein typischer TOC-Wert von Rohmehl etwa 0,1 % bis 0,3 % (Trockenmasse) beträgt. Das entspricht CO₂-Emissionen von etwa 10 kg/t Klinker, was etwa 1 % der typischen Menge an CO₂-Emissionen entspricht, kombiniert aus der Rohmaterialalkalinisierung und der Verbrennung von Ofenbrennstoffen.⁴

Um die Vollständigkeit des Inventars sicherzustellen, müssen CO₂-Emissionen aus organischem Kohlenstoff in Rohmaterialien quantitativ bestimmt und berichtet werden (vgl. Abschnitt 10 zu den Wesentlichkeitsschwellen). Da sie jedoch in geringem Maß zu den Gesamtemissionen beitragen, ist eine einfache Berechnung erforderlich, bei der die Klinkerproduktion mit folgenden Standardwerten multipliziert wird:

- Standardverhältnis Rohmehl zu Klinker: 1,55;
- Standard-TOC-Gehalt von Rohmehl: 2 kg/t Rohmehl (Trockenmasse, entspricht 0,2 %). Dieser Standardfaktor für den TOC-Gehalt wurde durch über 100 ausgewertete Analysen verschiedener Rohmaterialien aus Zementwerken weltweit überprüft. Die Datenanalyse bestätigt den Wert des Standardfaktors von 0,2 %.

Unternehmen brauchen diese Emissionen nicht weiter zu analysieren, außer bei Hinweisen darauf, dass der organische Kohlenstoff größere Relevanz hat. Das könnte zum Beispiel der Fall sein, wenn eine Organisation erhebliche Mengen an Schiefer oder Flugasche mit hohem TOC-Gehalt als Rohmaterialien für den Ofen verbraucht. Außerdem ist zu beachten, dass aus dem Ofensystem ausgeschleuste Staubmengen nicht automatisch in dieser Standardberechnung berücksichtigt sind.

Unternehmen, die erhebliche Mengen an Staub produzieren, sollten ihre werksspezifischen Rohmehl/Klinker-Faktoren anwenden, wenn sie ihre TOC-bedingten Emissionen ausführlicher analysieren wollen. Um eine Doppelzählung zu vermeiden, sollte in werksspezifischen Rohmehl/Klinker-Faktoren der Aschegehalt der verwendeten Brennstoffe nicht berücksichtigt sein. Wenn zum Beispiel Flugasche mit einem hohen Kohlenstoffgehalt als Brennstoff erfasst wird (d. h. durch Zuweisung eines Heizwerts und eines CO₂-Emissionsfaktors), sollte der Aschegehalt nicht im Rohmehl/Klinker-Faktor zur Berechnung der Emissionen aus dem TOC in Rohmehl enthalten sein.

Gleichung für die Output-Methoden B1 und B2:

$$\begin{aligned} CO_2 \text{ Rohmaterialien} &= \text{Klinker} \times EF_{cli} \\ &+ \text{aus dem Ofen ausgeschleuster BPD} \times EF_{BPD} \\ &+ \text{aus dem Ofen ausgeschleuster FD} \times EF_{FD} \\ &+ \text{verbrauchtes Rohmehl} \times fTOC_{RM} \times 3,664 \end{aligned} \quad (12)$$

Dabei wird das verbrauchte Rohmehl wie folgt berechnet:

$$\text{verbrauchtes Rohmehl} = \text{Klinker} \times RM/CliFaktor \quad (13)$$

Dabei ist (in Gleichung (12) und Gleichung (13))

<i>CO₂ Rohmaterialien</i>	das gesamte CO ₂ aus den Rohmaterialien, in t CO ₂ /Jahr;
<i>Klinker</i>	die auf Werksebene gemessene Klinkerproduktion (t/Jahr);

4 1,55 t Rohmehl/t Klinker × 2 kg C/t Rohmehl × 3,664 kg CO₂/kg C = 11 kg CO₂/t Klinker, unter der Annahme, dass der gesamte organische Kohlenstoff zu CO₂ umgesetzt wird. Dies ist eine konservative Annahme, da ein Teil des organischen Kohlenstoffs üblicherweise als VOC oder CO freigesetzt wird. Der TOC von 2 kg/t Rohmehl wurde basierend auf 43 Messungen bestimmt, die von den CSI-Mitgliedern für Europa und Nordafrika zusammengetragen wurden, und wurde nunmehr durch das Zusammentragen und Auswerten von mehr als 100 Analysen unterschiedlicher Rohmaterialien aus Zementwerken weltweit überprüft.

EF_{cli}	der CO ₂ -Emissionsfaktor für Klinker, in kg CO ₂ /t Klinker); einfache Output-Methode (B1): Standardwert = 0,525 t CO ₂ /t Klinker; detaillierte Output-Methode (B2): bestimmt nach 7.3;
<i>aus Ofensystem ausgeschleuster BPD</i>	die Menge des aus dem Ofensystem ausgeschleusten Bypass-Staubs, in t/Jahr;
EF_{BPD}	entweder EF_{cli} , geschätzt anhand des Kalzinierungsgrades oder bestimmt durch Analyse (siehe oben);
<i>aus Ofensystem ausgeschleuster FD</i>	die Menge des aus dem Ofensystem ausgeschleusten Filterstaubs, in t/Jahr;
EF_{FD}	der CO ₂ -Emissionsfaktor für teilkalzinieren Filterstaub, bestimmt nach Gleichung (11), in t CO ₂ /t FD;
<i>verbraucht Rohmehl</i>	die Menge des für die Klinkerherstellung und für Bypass-Staub verbrauchten Rohmehls, in t/Jahr;
$f_{TOC_{RM}}$	der Massenanteil des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) im Rohmehl (dimensionslos); Standardwert = 0,002 = 0,2 %;
3,664	der stöchiometrische Anteil des freigesetzten CO ₂ je Einheit C;
<i>RM/Cli-Faktor</i>	das Masseverhältnis von Rohmehl zu Klinker, in verbrauchte Menge Rohmehl je produzierte Einheit Klinker, der Zusatz von Brennstoffaschen und aus dem Ofensystem ausgeschleusten Staubs muss bei der Bestimmung des Verhältnisses berücksichtigt werden; Standardwert = 1,55.

7.3 Berichterstattung der CO₂-Emissionen aus der Rohmaterialkalzinierung beruhend auf dem Klinkeroutput: Zusammenfassung der Empfehlungen von IPCC und CSI und des Standardwerts für den Klinkeremissionsfaktor

Das IPCC (2006) empfiehlt, das aus der Kalzinierung entstehende CO₂ basierend auf dem CaO-Gehalt des produzierten Klinkers zu berechnen (0,785 t CO₂/t CaO, multipliziert mit dem CaO-Gehalt im Klinker). Ein Standard-CaO-Gehalt von 65 % im Klinker wird empfohlen, was 510 kg CO₂/t Klinker entspricht.

CO₂ aus ausgeschleustem Ofenstaub sollte nach dem IPCC gesondert berechnet werden, und zwar unter Berücksichtigung des Kalzinierungsgrads. Sind genauere Daten nicht verfügbar, empfiehlt das IPCC die Berücksichtigung des ausgeschleusten Staubs durch Addieren eines Standardwerts von 2 % zum Klinker-CO₂, im Bewusstsein, dass die Emissionen in manchen Fällen bedeutend höher sein können [25]. Das IPCC unterscheidet nicht zwischen Bypass-Staub und Filterstaub. Darüber hinaus vernachlässigt der IPCC-Standardwert CO₂ aus der Umsetzung von Magnesiumcarbonaten (der MgO-Gehalt im Klinker beträgt üblicherweise etwa 2 %) [1].

Diese Norm empfiehlt die Bestimmung der Emissionsfaktoren für die Klinkerkalzinierung auf werksspezifischer Grundlage. Dazu wurde in die Kalkulationstabelle des CSI-Protokolls [1] ein zusätzliches Arbeitsblatt für die detaillierte Output-Methode B2 aufgenommen, mit dem der spezifische CaO- und MgO-Gehalt des in einem Werk produzierten Klinkers sowie nicht carbonatische Quellen von CaO und MgO, zum Beispiel Calciumsilicate oder dem Rohmehl zugegebene Flugasche, erfasst werden können. Liegen keine werksspezifischen Daten vor, empfiehlt diese Norm die einfache Output-Methode B1 mit einem Standardemissionsfaktor von 525 kg CO₂/t Klinker, was dem um Mg-Carbonate korrigierten IPCC-Standardwert entspricht.

Der aus dem spezifischen CaO- und MgO-Gehalt bestimmte CO₂-Emissionsfaktor für Klinker berücksichtigt nicht die CO₂-Emissionen von aus dem Ofensystem ausgeschleustem CKD sowie CO₂-Emissionen, die aus dem organischen Kohlenstoffgehalt (TOC) von Rohmaterialien stammen. Folglich werden diese CO₂-Emissionen zusätzlich zu den CO₂-Emissionen aus der Kalzinierung von Rohmaterialien für die Klinkerherstellung erfasst (für Einzelheiten siehe Gleichung (12) und zugehörige Beschreibungen in 7.2.3).

7.4 Bestimmung des Kalzinierungsgrades von Filterstaub

Der Kalzinierungsgrad von Filterstaub d muss auf der Grundlage der Massenanteile des carbonatischen CO₂ im Filterstaub bzw. im Rohmehl nach Gleichung (14) berechnet werden. Die beiden Eingangsparameter $fCO_{2\,FD}$ und $fCO_{2\,RM}$ müssen durch chemische Analyse bestimmt werden. Mögliche Analyseverfahren sind zum Beispiel Glühverlust, Titration oder CO₂-Emissionsanalyse durch Infrarotdetektion.

$$d = 1 - \frac{fCO_{2\,FD} \times (1 - fCO_{2\,RM})}{(1 - fCO_{2\,FD}) \times fCO_{2\,RM}} \quad (14)$$

Dabei ist

$fCO_{2\,FD}$ der Massenanteil des carbonatischen CO₂ im Filterstaub, dimensionslos;

$fCO_{2\,RM}$ der Massenanteil des carbonatischen CO₂ im Rohmehl, dimensionslos.

Liegen keine Messdaten zur Zusammensetzung des Filterstaubs vor, muss für den Kalzinierungsgrad d ein Standardwert von 1 verwendet werden. Dieser Wert ist konservativ, d. h. er führt in den meisten Fällen zu einer Überbewertung der filterstaubbedingten Emissionen, da Filterstaub in der Regel nicht vollständig kalziniert ist.

Alternativ wird der maximale Kalzinierungsgrad d auf Basis von Analysen an Proben des Zementofenstaubs berechnet, einfach als Quotient aus während der Kalzinierung maximal freigesetztem CO₂ und analysiertem restlichen carbonatischen CO₂-Gehalt der Probe:

$$d = \frac{CO_{2\,CaO} + CO_{2\,MgO} - CO_{2\,Probe}}{CO_{2\,CaO} + CO_{2\,MgO}} \quad (15)$$

Dabei ist

$CO_{2\,CaO}$ der stöchiometrisch berechnete maximale Gehalt an carbonatischem CO₂ aus CaO;

$CO_{2\,MgO}$ der stöchiometrisch berechnete maximale Gehalt an carbonatischem CO₂ aus MgO;

$CO_{2\,Probe}$ der carbonatische CO₂-Gehalt der Probe (Kohlenstoffdioxid nach EN 196-2 [11]).

7.5 Direkte Bestimmung des CO₂-Emissionsfaktors für Filterstaub aus der Analyse des CO₂-Gehalts

Für die direkte Bestimmung des CO₂-Emissionsfaktors für Filterstaub ergibt die Kombination von Gleichung (1) und Gleichung (14):

$$EF_{FD} = \frac{fCO_{2\,RM} - \frac{fCO_{2\,FD} \times (1 - fCO_{2\,RM})}{(1 - fCO_{2\,FD})}}{(1 - fCO_{2\,RM}) + \frac{fCO_{2\,FD} \times (1 - fCO_{2\,RM})}{(1 - fCO_{2\,FD})}} \quad (16)$$

Gleichung (16) wird vereinfacht nach Komplementierung des linken Terms durch Multiplikation mit:

$$\frac{\frac{(1 - fCO_{2FD})}{(1 - fCO_{2RM})}}{\frac{(1 - fCO_{2FD})}{(1 - fCO_{2RM})}} = 1 \quad (17)$$

Als Ergebnis könnte der CO₂-Emissionsfaktor für Filterstaub ebenso nach folgender Gleichung direkt bestimmt werden:

$$EF_{FD} = fCO_{2RM} \times \frac{(1 - fCO_{2FD})}{(1 - fCO_{2RM})} - fCO_{2FD} \quad (18)$$

In Gleichung (18) korrigieren die Terme in den Klammern den Massenbezug des carbonatischen CO₂-Gehalts fCO_{2RM} , ermittelt in Proben des nicht kalzinierten Rohmehls, bezogen auf die Menge des Filterstaubs, der potentiell teilkalziniert ist. Der CO₂-Emissionsfaktor für Filterstaub EF_{FD} wird aus der Differenz des carbonatischen CO₂-Gehalts zwischen potentiell teilkalziniertem Zustand und dem hypothetisch nicht kalzinierten Zustand des Filterstaubs ermittelt.

7.6 Zementspezifische Aspekte für Brennstoffe

7.6.1 Konventionelle fossile Brennstoffe

Konventionelle fossile Brennstoffe sind fossile Brennstoffe, z. B. Kohle, Petrolkoks, Heizöl und Erdgas. CO₂ aus konventionellen fossilen Brennstoffen (aber auch aus alternativen Brennstoffen und Nicht-Ofenbrennstoffen, siehe 7.6.2 und 7.8) wird vorzugsweise auf der Grundlage des Brennstoffverbrauchs, der unteren Heizwerte und der entsprechenden CO₂-Emissionsfaktoren berechnet.

Der Verbrauch und die unteren Heizwerte (H_u bzw. Heizwert NCV) der Brennstoffe werden auf Werksebene routinemäßig analysiert. Dabei muss beachtet werden, dass die angewendeten Heizwerte stets dem Brennstoffzustand entsprechen, vor allem in Bezug auf den korrekten Feuchtegehalt beim Wägen (z. B. Rohkohle oder getrocknete Kohle). Normalerweise wird der untere Heizwert aus einer getrockneten Probe bestimmt. Anschließend muss für das Ergebnis eine Feuchtekorrektur vorgenommen werden, mit der der Massenbezug aus der getrockneten Probe wieder auf den ursprünglichen Feuchtegehalt des Brennstoffs beim Einsatz oder Wägen korrigiert wird.

Weiterhin muss der korrekte Bezug der CO₂-Emissionsfaktoren EF sichergestellt werden. Der Bezug muss auf die über den unteren Heizwert H_u bestimmte Wärme erfolgen. Zur Umrechnung der oberen Heizwerte (H_o bzw. Brennwert GCV) in H_u darf die in den IPCC-Leitlinien von 2006 (Bd. 2, Abschnitt 1.4.1.2, Kasten 1.1) [4] definierte Gleichung angewendet werden.

Unternehmen sind dazu angehalten, werks- oder landesspezifische Emissionsfaktoren anzuwenden, wenn zuverlässige Daten vorliegen. Der Emissionsfaktor für Brennstoffe muss auf dem Gesamtkohlenstoffgehalt beruhen. Enthält ein Brennstoff eine signifikante Menge an anorganischem Kohlenstoff (TIC), darf dieser auf der Grundlage des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) berichtet werden, wenn zusätzlich CO₂-Emissionen aus dem gesamten anorganischen Kohlenstoff (TIC) als CO₂-Emissionen aus der Rohmaterialkalzinierung berichtet werden. Die direkte Berechnung der Emissionen auf der Grundlage des Brennstoffverbrauchs, in Tonnen, und des Kohlenstoffgehalts des Brennstoffs, in Prozent, ist unter der Bedingung zulässig, dass erhebliche Schwankungen der Brennstoffzusammensetzung, und vor allem des Wassergehalts, hinreichend erfasst werden.

Im Allgemeinen empfiehlt das IPCC die Erfassung einer unvollständigen Verbrennung fossiler Brennstoffe. In der Regel werden jedoch 99 % bis 100 % des Kohlenstoffs oxidiert.⁵ In Zementöfen ist eine unvollständige Oxidation aufgrund der sehr hohen Verbrennungstemperaturen und einer langen Verweildauer in den Drehrohröfen sowie des Nichtvorhandenseins bzw. des lediglich minimalen Vorhandenseins von Restkohlenstoff im Klinker vernachlässigbar. Demzufolge muss der gesamte Kohlenstoff in allen Ofenbrennstoffen als vollständig oxidiert behandelt werden. Die CO₂-Emissionsfaktoren für Brennstoffe müssen immer auf der Basis des Gesamtkohlenstoffgehalts (TC) bestimmt werden.

7.6.2 Alternative Brennstoffe

Nach den IPCC-Leitlinien für nationale THG-Inventare von 1996 und 2006 ist Folgendes erforderlich:

- **CO₂ aus Biomasse und flüssigen Biobrennstoffen** wird als „Memo-Item“ berichtet, jedoch von den nationalen Gesamtemissionswerten ausgenommen;
- **CO₂ aus fossilen Abfallbrennstoffen** (auch als alternative fossile Brennstoffe bzw. fossile AF bezeichnet): Nach den IPCC-Leitlinien werden die Treibhausgasemissionen aus der industriellen thermischen Verwertung in der Quellenkategorie „Energie“ der nationalen Inventare berichtet, während Treibhausgasemissionen aus der konventionellen Abfallentsorgung (Deponien, Verbrennung) in der Kategorie „Abfallmanagement“ berichtet werden;
- **CO₂ aus Mischbrennstoffen mit Biomassenanteilen und fossilen Anteilen:** Werden Biomasse oder flüssige Biobrennstoffe zusammen mit fossilen Brennstoffen verbrannt (z. B. vorbehandelter Industrie- und/oder Hausmüll), sollte eine Aufteilung in den fossilen und den nichtfossilen Brennstoffanteil erfolgen und die Emissionsfaktoren sollten auf die jeweiligen Anteile angewendet werden (IPCC 2006, Bd. II, Abschnitt 2.3.3.4).

Zur Sicherstellung der Übereinstimmung mit den IPCC-Leitlinien ist eine transparente Berichterstattung der direkten CO₂-Emissionen aus der Verbrennung alternativer Brennstoffe in Zementwerken notwendig. Daher ist nach dieser Norm die Berichterstattung nach folgenden Maßgaben erforderlich:

- Direktes CO₂ aus der Verbrennung von **Biomasse** (einschließlich reiner Biomasse oder flüssiger Biobrennstoffe, Biomasseabfälle und des Biomassenanteils von Mischbrennstoffen) muss als Memo-Item berichtet werden, jedoch von den absoluten direkten Treibhausgasemissionen ausgeschlossen werden. Sofern nicht andere zuverlässige Emissionsfaktoren verfügbar sind, ist der IPCC-Standardemissionsfaktor von 110 kg CO₂/GJ für feste Biomasse anzuwenden, siehe [26]. Dieser Wert liegt im Bereich der unterschiedlichen Werte für feste Biobrennstoffe oder flüssige Biobrennstoffe, die in IPCC 2006 ([4], Bd. II, Abschnitt 1.4.2.1) als Standardemissionsfaktoren festgelegt sind.
- Direktes CO₂ aus der Verbrennung **fossiler alternativer Brennstoffe** und der fossile Anteil der Mischbrennstoffe müssen berechnet und mit in die direkten CO₂-Emissionen einbezogen werden. Die CO₂-Emissionsfaktoren hängen von der Art des eingesetzten alternativen Brennstoffs oder Mischbrennstoffs ab, und müssen daher – sofern praktisch sinnvoll – auf Werksebene angegeben werden. Liegen keine werks- oder organisationsspezifischen Daten vor, müssen Unternehmen die Standardemissionsfaktoren anwenden.
- Indirekte **THG-Einsparungen** aufgrund der Nutzung alternativer Brennstoffe sind als Nettoemissionen nach dieser Norm zu erfassen. Diese Definition ist in 5.5 ausführlicher erläutert.

Im Allgemeinen müssen die CO₂-Emissionsfaktoren für alle Brennstoffe die vollständigen CO₂-Emissionen aus der Nutzung des Brennstoffs basierend auf dem Gesamtkohlenstoffgehalt (TC) darstellen.

5 Vergleiche IPCC 2006, Bd. 2, Abschnitt 1.4.2.1, und IPCC 1996, Bd. 3, S. 1.29: Standardoxidationsfaktoren von Kohlenstoff: 98 % für Kohle, 99 % für Öl und 99,5 % für Erdgas.

Einige alternative Brennstoffe, zum Beispiel Altreifen und imprägniertes Sägemehl, enthalten sowohl fossilen Kohlenstoff als auch Kohlenstoff aus Biomasse. Diese Brennstoffe müssen als Mischbrennstoffe behandelt werden, und die CO₂-Emissionen sind in ihren fossilen und biogenen Teil zu unterteilen. Dies erfolgt durch Bestimmen des Anteils des biogenen Kohlenstoffs im Gesamtkohlenstoffgehalt des Brennstoffes nach internationalen ISO-/EN-Normen (z. B. EN 15440) oder geeigneten nationalen Normen. Bei einigen Brennstoffarten ist dieser Anteil nur schwierig und unter großem Aufwand zu ermitteln und schwankt außerdem sehr stark. Unternehmen wird empfohlen, einen konservativen Ansatz bei der Bestimmung des biogenen Kohlenstoffgehalts zu wählen, was bedeutet, dass der biogene Kohlenstoffgehalt nicht überbewertet werden sollte. Wenn keine zuverlässigen Informationen zum biogenen Kohlenstoffgehalt vorliegen, ist für alle Brennstoffarten ein fossiler Kohlenstoffgehalt von 100 % anzuwenden, bis genauere Daten verfügbar sind.

Brennstoffe, die mit ihrem Aschegehalt erheblich zur Masse des produzierten Klinkers beitragen und einen signifikanten Gehalt an anorganischem Kohlenstoff (TIC) aufweisen, dürfen als Brennstoff mit einem CO₂-Emissionsfaktor berichtet werden, der auf dem Gehalt an organischem Kohlenstoff (TOC) basiert. In diesem Fall und bei der Berichterstattung der CO₂-Emissionen aus Rohmaterialien nach der Input-Methode (siehe 7.2.2) müssen die CO₂-Emissionen aus dem TIC-Gehalt zusätzlich berichtet werden. Das erfolgt unter Anwendung der detaillierten Input-Methode A2 mit der Möglichkeit, zusätzliche Rohmaterialien, die nicht Teil des Ofenmehls sind (Adrm), zu berichten. Wenn CO₂-Emissionen aus dem TOC des Materials bereits als Brennstoff angegeben sind, braucht der für das zusätzliche Rohmaterial angegebene CO₂-Gehalt nur den verbleibenden TIC-Gehalt widerspiegeln, sodass die CO₂-Emissionen aus dem Gesamtkohlenstoffgehalt (TC) berichtet werden (vgl. 7.2.2, Unterabschnitt (4)).

7.7 Treibhausgase aus Ofenbrennstoffen

Ofenbrennstoffe im Sinne dieser Norm sind alle Brennstoffe, die dem Ofensystem zugeführt werden, sowie Brennstoffe, die zur Trocknung und Aufbereitung der Rohmaterialien oder anderer Ofenbrennstoffe verwendet werden. Diese Definition schließt Brennstoffe ein, die im Brenner des Drehrohrofens aufgegeben werden sowie Brennstoffe, die dem Kalzinator oder direkt am Ofeneinlauf aufgegeben werden. In dieser Norm werden derartige Brennstoffe als Ofenbrennstoffe betrachtet, unabhängig von der möglichen Nutzung von Abwärme zur Erzeugung von Strom. Außerdem müssen zur Brennstoffenerwärmung eingesetzte Brennstoffe (z. B. bei Heizöl zur Klinkerherstellung) unter Ofenbrennstoffe berichtet werden. Brennstoffe, die zum Trocknen von mineralischen Komponenten (MIC) beim Vermahlen von Zement eingesetzt werden und Brennstoffe zur Erzeugung von elektrischer Energie in einer vom Ofensystem getrennten Anlage müssen als Nicht-Ofenbrennstoffe berichtet werden.

Die spezifischen Treibhausgasemissionen und der spezifische Brennstoffenergieverbrauch der Klinkerherstellung werden aufgrund des Einsatzes an Ofenbrennstoffen, einschließlich der Rohmaterial- und Brennstoffaufbereitung, bestimmt.

7.8 Treibhausgase aus Nicht-Ofenbrennstoffen

Nicht-Ofenbrennstoffe, d. h. Brennstoffe, die nicht für den Drehrohrofen eingesetzt werden, sind solche, die nicht in der Definition der Ofenbrennstoffe (3.25) enthalten sind. Dazu gehören zum Beispiel Brennstoffe für:

- Fahrzeuge im Werk und am Abbauort;
- die Raumheizung;
- Betriebseinrichtungen für die thermischen Prozesse (z. B. Trockner), die zur Aufbereitung der mineralischen Komponenten (MIC) für das Vermahlen von Zement eingesetzt werden könnten;
- eine getrennte Anlage zur Stromerzeugung vor Ort.

Zementunternehmen müssen die vollständige Berichterstattung der Treibhausgasemissionen aus vor Ort verbrannten Nicht-Ofenbrennstoffen sicherstellen. Diese Emissionen werden wie folgt erfasst:

- Treibhausgase aus Nicht-Ofenbrennstoffen werden gesondert berichtet, und zwar nach Anwendungsart, um Flexibilität bei der Zusammenstellung der Emissionen aus den folgenden Anwendungen zu ermöglichen:
 - Betriebseinrichtungen und vor Ort eingesetzte Fahrzeuge;
 - Raumheizung/-kühlung;
 - Trocknen von mineralischen Komponenten wie Schlacke oder Puzzolan;
 - Stromerzeugung vor Ort in getrennt befeuerten Kesseln und Erzeugung von Nutzleistung in Diesel-/Benzinmotoren.

Zu beachten ist, dass Brennstoffe zum Trocknen von Rohmaterialien für die Herstellung von Klinker und Ofenbrennstoffen im Abschnitt zu den Ofenbrennstoffen enthalten sind.

- Treibhausgase aus den Transporten durch die organisationseigene Fahrzeugflotte außerhalb des Standorts liegen derzeit außerhalb der Grenzen (Einzelheiten siehe nachfolgend).
- Kohlenstoff in Nicht-Ofenbrennstoffen gilt als vollständig oxidiert, d. h. die Kohlenstoffspeicherung in Ruß oder Asche wird nicht erfasst. Die sich daraus ergebende Überbewertung der Emissionen ist in der Regel gering (etwa 1 %)⁶.

Siehe auch Tabelle 7 zu den Prozessschritten, die abgedeckt sein müssen, um eine vollständige Berichterstattung nach dieser Norm sicherzustellen.

Sofern verfügbar, müssen analytisch bestimmte werksspezifische untere Heizwerte angewendet werden. Alternativ dürfen IPCC- bzw. CSI-Standardwerte angewendet werden. Wird die gleiche Brennstoffart als Nicht-Ofenbrennstoff und Ofenbrennstoff verwendet, dann müssen die zur Berichterstattung verwendeten CO₂-Emissionsfaktoren übereinstimmen. Andernfalls müssen, sofern verfügbar, werksspezifische Emissionsfaktoren angewendet werden. Alternativ dürfen IPCC- bzw. CSI-Standardwerte angewendet werden.

7.9 Treibhausgase aus der Verbrennung von Abwasser

Einige Zementwerke führen ihren Drehrohröfen Abwasser zu, zum Beispiel als Flammenkühlmittel zur Steuerung der Stickstoffoxide (NO_x). Der im Abwasser enthaltene Kohlenstoff wird in Form von CO₂ emittiert. Nach dieser Norm ist es nicht erforderlich, dass Zementunternehmen ihre CO₂-Emissionen im Zusammenhang mit dem Abwasserverbrauch quantifizieren, da diese Emissionen üblicherweise gering sind und sich außerdem nur schwer quantifizieren lassen:

- Die meisten Zementwerke verbrauchen kein Abwasser.
- Wo Abwasser verbraucht wird, macht dessen Kohlenstoffgehalt üblicherweise weniger als 1 % der CO₂-Gesamtemissionen aus dem Werk aus.⁶

⁶ Wenn ein Werk Abwasser nutzt, liegt die verbrauchte Menge typischerweise bei etwa 10 kg je t Klinker. Bei einem typischen Kohlenstoffgehalt mit einem Massenanteil von 5 % im Abwasser entspricht dies CO₂-Emissionen von etwa 2 kg je Tonne Klinker, oder etwa 0,2 % der typischen CO₂-Gesamtemissionen eines Werks (Werte beruhend auf Daten verschiedener GCCA-Mitglieder (ehemals CSI)).