

DIN ISO 19694-4



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 4: Aluminiumindustrie (ISO/DIS 19694-4:2021);
Text Deutsch und Englisch**

Stationary source emissions –

Determination of greenhouse gas emissions in energy-intensive industries –

Part 4: Aluminium industry (ISO/DIS 19694-4:2021);

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 4: Industrie de l'aluminium (ISO/DIS 19694-4:2021);

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 47 Seiten

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

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich.....	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	8
4.1 Liste der Abkürzungen	8
4.2 Symbole, Einheiten und chemische Formeln	8
4.2.1 Symbole und Einheiten.....	8
4.2.2 Chemische Formeln	10
5 Berechnungsverfahren — Allgemeine Bemerkungen	10
5.1 Einleitung	10
5.2 Berechnungsverfahren für prozessbedingte Treibhausgasemissionen aus der Herstellung von Primäraluminium.....	10
5.3 Kohlenstoffdioxidquellen.....	11
5.3.1 Elektrolyse	11
5.3.2 Brennen von Anoden.....	12
5.3.3 Unterstützende Prozesse bei der Aluminiumschmelzflusselektrolyse.....	12
5.3.4 Aufbereitung von Aluminiumoxid.....	12
5.3.5 PFC-Quellen	12
6 Verfahren zur Berechnung der prozessbedingten Kohlenstoffdioxidemissionen.....	13
6.1 Allgemeines	13
6.2 Ebene 1 – Verfahren unter Anwendung prozessspezifischer Gleichungen mit technologietypischen Parametern für Kohlenstoffdioxidemissionen.....	13
6.3 Ebene 2 – Verfahren unter Anwendung prozessspezifischer Gleichungen mit einrichtungsspezifischen Parametern für Kohlenstoffdioxidemissionen	13
6.4 Berechnung der Kohlenstoffdioxidemissionen aus Vorbrennprozessen.....	13
6.4.1 Allgemeines	13
6.4.2 Kohlenstoffdioxidemissionen aus dem Verbrauch vorgebrannter Anoden während der Elektrolyse	13
6.5 Kohlenstoffdioxidemissionen aus dem Brennofen.....	15
6.5.1 Allgemeines	15
6.5.2 Brennstoff.....	15
6.5.3 Verbrennung flüchtiger Bestandteile	15
6.5.4 Brennofenpackmaterial.....	17
6.5.5 Berechnung der Kohlenstoffdioxidemissionen aus dem Söderberg-Prozess	19
7 Verfahren zur Berechnung der PFC-Emissionen	21
7.1 Einleitung	21
7.2 Verfahren der Ebene 1 zur Berechnung von PFC-Emissionen	21
7.3 Verfahren der Ebene 2 zur Berechnung von PFC-Emissionen	22
7.4 Berechnung von PFC-Emissionen aus der Aluminiumschmelzflusselektrolyse	22
7.4.1 Schritt 1 – Berechnung der Emissionen jedes PFC-Gases je Tonne Aluminium	22
7.4.2 Schritt 2 – Berechnung der Gesamtemissionen jedes PFC-Gases, in kg.....	24

7.4.3	Schritt 3 – Berechnung der Gesamtemissionsmenge der Kohlenstoffdioxidäquivalente für PFC-Emissionen.....	24
7.5	Verifizierung der Treibhausgasberechnung	25
7.5.1	Validierung der Berechnung der CO₂-Emissionen	25
7.5.2	Validierung der Berechnung der PFC-Emissionen.....	25
8	Schlüsselleistungskennzahlen.....	25
	Literaturhinweise.....	26

Nationales Vorwort

ISO 19694-4 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.

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

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 erfüllt folgende Zwecke:

- Messen, Prüfen und Quantifizieren von Treibhausgasemissionen aus der Aluminiumindustrie;
- Bewerten des Treibhausgasemissionsniveaus von Produktionsprozessen im zeitlichen Verlauf an Produktionsstandorten;
- Erarbeiten und Bereitstellen verlässlicher, genauer und hochwertiger Informationen für die Erstellung von Berichten und für Verifizierungszwecke.

Diese Internationale Norm kann zur Messung, Berichterstattung und zum Vergleich von Treibhausgasemissionen einer Aluminiumproduktionseinrichtung angewendet werden. Die Daten einzelner Einrichtungen, Standorte oder Werke dürfen kombiniert werden, um Treibhausgasemissionen auf Unternehmens-, Gesellschafts- oder Konzernebene zu messen, zu berichten und zu vergleichen.

Direkte brennstoffbasierte Emissionen werden nicht behandelt, die Berechnung dieses Teils der Treibhausgasemissionen kann folgender Norm entnommen werden:

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

Diese Internationale Norm behandelt sektorspezifische Aspekte zur Bestimmung der Treibhausgasemissionen aus der Herstellung von Aluminium und beruht auf 2006 IPCC Guidelines [6], unter Ebene 3, Abschnitt 4.4.2.4.

1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm legt eine harmonisierte Methode zur Berechnung der Treibhausgasemissionen aus dem Elektrolyseabschnitt von Anlagen zur Aluminiumschmelzflusselektrolyse und Anlagen, in denen Anoden gebrannt werden, fest. Darüber hinaus legt sie Schlüsselleistungskennzahlen für das Benchmarking von Aluminium fest. Dadurch sind auch die Grenzen definiert.

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*

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

Aluminiumelektrolyse

Abschnitt der Anlage zur Aluminiumschmelzflusselektrolyse, in dem Aluminium in Elektrolysezellen von Aluminiumoxid in das Metall Aluminium umgewandelt wird

3.2

Anlage zum Brennen von Anoden

Herstellung von Kohlenstoffanoden zur Verwendung in Elektrolysezellen mit vorgebrannten Anoden

3.3

PFC-Gase

aus der Aluminiumelektrolyse freigesetztes Gas, bestehend aus CF₄ und C₂F₆

3.4

netzspezifischer CO₂-Faktor

CO₂-Faktor, in tCO₂/MWh, der mit der von einem Lieferanten an eine bestimmte Anlage zur Aluminiumschmelzflusselektrolyse gelieferten elektrischen Energie zusammenhängt

4 Symbole und Abkürzungen

4.1 Liste der Abkürzungen

AE	Anodeneffekt
CWPB	mittenbediente Zelle mit vorgebrannten Anoden (en: centre-worked prebake)
DAE	direkte Anodenemissionen
DEE	direkte Elektrolyseemissionen
GHG (THG)	Treibhausgas (en: green house gas)
HSS	Söderberg-Zelle mit horizontaler Anodenanordnung (en: horizontal stud Söderberg)
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
PFPB	Zelle mit Punktfütterung und vorgebrannten Anoden (en: point feeder prebake)
SWPB	seitenbediente Zelle mit vorgebrannten Anoden (en: side-worked prebake)
TIE	Verbrauch an elektrischer Energie bei der Elektrolyse
VSS	Söderberg-Zelle mit vertikaler Anodenanordnung (en: vertical stud Söderberg)
WBCSD	World Business Council for Sustainable Development
WRI	World Resources Institute

4.2 Symbole, Einheiten und chemische Formeln

4.2.1 Symbole und Einheiten

Symbol	Größe	Einheit
A_{EM}	Anodeneffekte, (= Frequenz $\times$ mittlere Dauer)	Minuten/Ofentag
A_{EO}	Anodeneffekt-Überspannung	Millivolt
A_{NC}	Nettoanodenverbrauch	Massenanteil in %
$Asche_a$	Aschegehalt in gebrannten Anoden	Massenanteil in %
$Asche_p$	Aschegehalt in Pech, in Massenanteil in %	Massenanteil in %
$Asche_{pc}$	Aschegehalt in Packkoks	Massenanteil in %
B_A	Produktion gebrannter Anoden	Tonne/Jahr
B_{AW}	Masse der gebrannten Anoden	Tonne
C_{BA}	Kohlenstoffgehalt der gebrannten Anoden	Massenanteil in %
C_{Reste}	Kohlenstoffgehalt der Anodenreste	Tonne/Jahr
C_E	Stromausbeute der Aluminiumproduktion	%

Symbol	Größe	Einheit
C_{SM}	Emissionen von in Cyclohexan löslichen Bestandteilen, in kg je t Aluminium	kg/Tonne
E_{CF_4}	Emissionen Tetrafluormethan, in kg CF_4 je Jahr	kg/Jahr
$E_{C_2F_6}$	Emissionen Hexafluorethan, in kg C_2F_6 je Jahr	kg/Jahr
E_{CO_2}	CO_2 -Emissionen, in Tonne/Jahr	Tonne/Jahr
E_{FPC}	Emissionsfaktor von Packkoks, in t CO_2 /Tonne Packkoks	Tonne
$\frac{F_{C_2F_6}}{CF_4}$	Massenanteil $\frac{C_2F_6}{CF_4}$	dimensionslos
G_A	Masse eingebrachter Rohanoden = $\left(\frac{G_{AW}}{B_{AW}}\right) B_A$	Tonne/Jahr
G_{AW}	Rohanodenmasse	Tonne
GWP	Treibhauspotential; Anwendung aktuellster IPCC-Daten	Tonnen CO_2 -Äquivalent/Tonne
H_w	Wasserstoffgehalt in Rohanoden	Massenanteil in %
M_{BA}	Gesamtmasse gebrannter Anoden	Tonne/Jahr
M_{Reste}	Gesamtmasse der Anodenreste	Tonne/Jahr
M_P	Tonnen Aluminium je Jahr	Tonne/Jahr
N_{AC}	Nettoanodenverbrauch, in Tonnen je Tonne Aluminium	Tonne/Jahr
O_{FPC}	Oxidationsfaktor von Packkoks (für diesen Strom üblicherweise 1)	dimensionslos
O_{VC}	Überspannungskoeffizient für CF_4	kg CF_4 /t Al/mV
P_C	Anodenmassenverbrauch, in Tonnen je Tonne Aluminium	Tonne
P_{CC}	verbrauchter Packkoks, in Tonnen je Tonne gebrannte Anoden	Tonne
P_{CW}	Packkoksmasse	Tonne
R_{CF_4}	Emissionsrate von CF_4 , in kg je Tonne produziertes Aluminium	kg/Tonne
$R_{C_2F_6}$	Emissionsrate von C_2F_6 , in kg je Tonne produziertes Aluminium	kg/Tonne
S_a	Schwefelgehalt in gebrannten Anoden	Massenanteil in %
S_{CF_4}	Slope-Koeffizient für CF_4 , in kg CF_4 je Tonne Aluminium je Anodeneffektminute je Ofentag	Tonne/Effektminute/Ofentag
W_t	gesammelter Teerabfall	Tonne/Jahr
wt	Masse	kg oder Tonne

4.2.2 Chemische Formeln

Al	Aluminium
Al ₂ O ₃	Aluminiumoxid (Tonerde)
C	Kohlenstoff
CF ₄	Tetrafluormethan
C ₂ F ₆	Hexafluorethan
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
NaAlF ₆	Aluminiumnatriumhexafluorid (Kryolith)
NaF	Natriumfluorid
PFC	perfluorierter Kohlenwasserstoff

5 Berechnungsverfahren — Allgemeine Bemerkungen

5.1 Einleitung

Diese Norm ist in Verbindung mit ISO 19694-1 [XX] anzuwenden, in der generische, allgemeine Anforderungen, Definitionen und Regeln behandelt sind und die für die Bestimmung der Treibhausgasemissionen aus allen energieintensiven Sektoren gelten, und in der gemeinsame methodische Aspekte beschrieben und die Einzelheiten zur Anwendung dieser Regeln festgelegt sind. Durch die Anwendung dieser Norm auf sektorspezifische Normen sind die Genauigkeit, Präzision und Vergleichspräzision der Ergebnisse sichergestellt.

5.2 Berechnungsverfahren für prozessbedingte Treibhausgasemissionen aus der Herstellung von Primäraluminium

In Bild 1 sind Quellen von Prozessemissionen angegeben mit Verweisungen auf die Stellen der Norm, in denen die Berechnungsmethoden beschrieben sind.

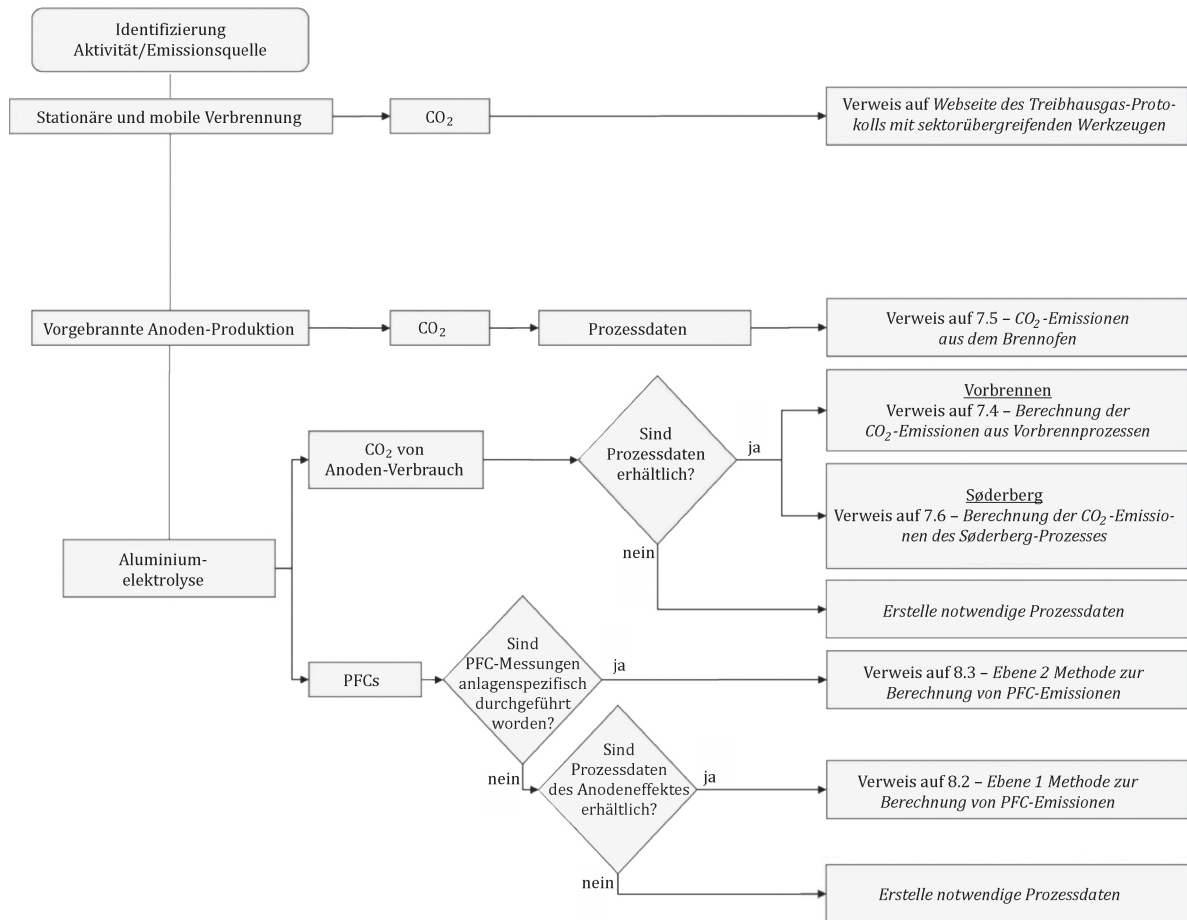


Bild 1 — Entscheidungsbaum für prozessbedingte Kohlenstoffdioxid- und Perfluorkohlenwasserstoff-Emissionen aus der Herstellung von Primäraluminium

Prozessbedingte CO₂-Emissionen in modernen Anlagen zur Aluminiumschmelzflusselektrolyse umfassen etwa 90 % der gesamten direkten CO₂-Äquivalent-Emissionen, wobei die Emissionsbilanz aus CO₂ aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe und PFC-Emissionen besteht. Dieses Dokument befasst sich nicht mit CO₂-Emissionen aus der Verbrennung von Brennstoffen. Die Methodik zur Berechnung der CO₂-Emissionen aus der Brennstoffverbrennung in Anodenbrennöfen ist an anderer Stelle beschrieben [6, 7], während die Methodik zur Berechnung von prozessbedingten CO₂-Emissionen in Abschnitt 7 erläutert ist.

5.3 Kohlenstoffdioxidquellen

5.3.1 Elektrolyse

Die meisten CO₂-Emissionen entstehen aus der elektrolytischen Reaktion der Kohlenstoffanode mit Aluminiumoxid:



Kohlenstoffdioxid wird außerdem bei der Elektrolysereaktion freigesetzt, während die Kohlenstoffanode mit anderen Sauerstoffquellen, überwiegend mit dem Sauerstoff aus der Luft, reagiert. Darüber hinaus bildet sich Kohlenstoffdioxid infolge des Boudouard-Gleichgewichts, bei dem CO₂ mit der Kohlenstoffanode unter Bildung von Kohlenstoffmonoxid reagiert, das dann zu CO₂ oxidiert. Jede am Boudouard-Gleichgewicht beteiligte CO₂-Einheit erzeugt nach der Oxidation an der Luft zwei Einheiten CO₂:



Es wird davon ausgegangen, dass das gesamte gebildete Kohlenstoffmonoxid zu CO₂ umgesetzt wird. In der Industrie wird in der Praxis keine Korrektur für die sehr geringe Menge an Kohlenstoff vorgenommen, die nicht als CO₂, sondern als PFC freigesetzt wird. Aus dem Kathodenverbrauch wird kein CO₂ freigesetzt, es sei denn, es erfolgt eine Verbrennung vor Ort, wobei für derartige Vorgänge in diesem Dokument keine Empfehlungen gegeben werden. CO₂-Emission durch Zugabe von Natriumkarbonat zu den Elektrolysezellen ist nicht enthalten, da es in unregelmäßigen Abständen hinzugegeben wird und keine signifikante Quelle darstellt.

5.3.2 Brennen von Anoden

Eine weitere Quelle für CO₂-Emissionen, speziell bei Vorbrenntechnologien, ist das Brennen von Rohanoden, bei dem CO₂ freigesetzt wird aus der Verbrennung der flüchtigen Bestandteile im Binderpech und bei Brennöfen, die mit auf Kohlenstoff basierenden Brennstoffen befeuert werden, aus der Verbrennung der Brennstoffquelle. Ein Teil des Packkokes, mit dem die Anoden bedeckt werden, wird ebenfalls oxidiert und setzt somit beim Brennen der Anoden CO₂ frei.

Kohlenstoffdioxid wird aus dem im Rohanodenwerk und dem zum Befeuern des Anodenbrennofens verwendeten Brennstoff freigesetzt.

5.3.3 Unterstützende Prozesse bei der Aluminiumschmelzflusselektrolyse

Eine weitere Quelle für Kohlenstoffdioxidemissionen ist der Brennstoff, der in der Gießerei zum Erwärmen des Metalls während der Behandlungsprozesse vor dem Gießen verbraucht wird, und eine bestimmte Menge an Brennstoffen kann auch in der Anodenschlägerei zum Einsatz kommen.

5.3.4 Aufbereitung von Aluminiumoxid

Im Bayer-Prozess, dem Verfahren, mit dem Aluminiumoxid aus Bauxit gewonnen wird, erfolgt keine Erzeugung von Kohlenstoffdioxid als Prozessemission. Die meisten mit der Aufbereitung von Aluminiumoxid verbundenen Emissionen stammen aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe, die in den WRI/WBCSD, Calculation tools for GHG emissions from energy and electricity [10] behandelt sind.

5.3.5 PFC-Quellen

Bei der Herstellung von Primäraluminium können zwei Perfluorkohlenwasserstoffgase (PFC) produziert werden, nämlich Tetrafluormethan (CF₄) und Hexafluorethan (C₂F₆).



ANMERKUNG Die folgenden Empfehlungen zur Berechnung der PFC-Emissionen stehen im Einklang mit den Inventarleitlinien des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) [6].

6 Verfahren zur Berechnung der prozessbedingten Kohlenstoffdioxidemissionen

6.1 Allgemeines

Direkte CO₂-Emissionen aus der Aluminiumherstellung müssen nach einer der folgenden beiden Ebenen berechnet werden:

- Ebene 1: prozessspezifische Gleichungen mit industrietypischen Parametern;
- Ebene 2: prozessspezifische Gleichungen mit standort- oder unternehmensspezifischen Parametern.

ANMERKUNG Ebene 1 und Ebene 2 in dieser Norm entsprechen Ebene 2 und Ebene 3 in den Technischen Leitlinien des IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) [6].

Es wird auf Bild 1 verwiesen, das einen Überblick über die Vorgehensweise bei der Berechnung direkter CO₂-Emissionen gibt. Zur Berechnung der Schlüsselleistungskennzahl muss Ebene 2 angewendet werden.

6.2 Ebene 1 – Verfahren unter Anwendung prozessspezifischer Gleichungen mit technologietypischen Parametern für Kohlenstoffdioxidemissionen

Das Verfahren der Ebene 1 zur Berechnung der gesamten direkten CO₂-Emissionen muss auf der Berechnung der CO₂-Emissionen aus jedem einzelnen Prozessschritt beruhen; die einzelnen Berechnungsergebnisse werden zur Berechnung der Gesamtemissionen addiert. Die Gleichungen unter 7.4 beschreiben die Berechnung von CO₂-Emissionen für Vorbrenntechnologien, während 7.6 Gleichungen für Söderberg-Technologien enthält.^{N1)}

6.3 Ebene 2 – Verfahren unter Anwendung prozessspezifischer Gleichungen mit einrichtungsspezifischen Parametern für Kohlenstoffdioxidemissionen

Die genauesten CO₂-Inventare lassen sich durch Anwendung standort- oder unternehmensspezifischer Daten in den Gleichungen zur Emissionsberechnung erstellen (Verfahren der Ebene 2). Diese Daten dürfen aus Messungen vor Ort oder von Lieferanten stammen. Die Gleichungen sind mit den Gleichungen des zuvor beschriebenen Ebene-1-Verfahrens identisch. Dabei sind jedoch anstelle von technologietypischen Daten einrichtungs- oder unternehmensspezifische Daten anzuwenden.

6.4 Berechnung der Kohlenstoffdioxidemissionen aus Vorbrennprozessen

6.4.1 Allgemeines

Kohlenstoffdioxidemissionen aus CWPB- und SWPB-Elektrolysetechnologien stammen aus der Elektrolyse und dem Brennen der Anoden.

6.4.2 Kohlenstoffdioxidemissionen aus dem Verbrauch vorgebrannter Anoden während der Elektrolyse

Zur Berechnung der CO₂-Emissionen aus dem Verbrauch vorgebrannter Anoden während der Elektrolyse sollte folgende Gleichung angewendet werden:

$$E_{\text{CO}_2} = \left[M_P \times N_{\text{AC}} \left(\frac{100 - S_a - \text{Asche}_a}{100} \right) \right] 3,664 \quad (6)$$

^{N1)} Nationale Fußnote: Entgegen der englischsprachigen Referenzfassung muss es 6.4 und 6.5.5 heißen.

Dabei ist bzw. sind

- E_{CO_2} die CO₂-Emissionen, in Tonnen je Jahr;
- M_P die Gesamtmetallproduktion, in Tonnen Aluminium je Jahr;
- N_{AC} der Nettoanodenverbrauch in Tonnen je Tonne Aluminium;
- S_a der Schwefelgehalt in gebrannten Anoden in Massenanteil in %;
- Asche_a der Aschegehalt in gebrannten Anoden in Massenanteil in %;
- 3,664 das Verhältnis der Molekülmasse von CO₂ zur Atommasse von Kohlenstoff, dimensionslos.

Die in Gleichung (6) angewendeten Parameter sind zusammen mit technologietypischen Werten zur Berechnung der CO₂-Emissionen aus dem Verbrauch vorgebrannter Anoden während der Elektrolyse in Tabelle 2 definiert.

Alternativ darf auch folgende Gleichung angewendet werden:

$$E_{CO_2} = (M_{BA} \times \% C_{BA} - M_{Reste} \times \% C_{Reste}) 3,664 \quad (7)$$

Dabei ist bzw. sind

- E_{CO_2} die CO₂-Emissionen, in Tonnen je Jahr;
- M_{BA} die Gesamtmasse gebrannter Anoden, in Tonnen Anoden je Jahr;
- $\% C_{BA}$ der Kohlenstoffgehalt der gebrannten Anoden, in Massenanteil in %;
- M_{Reste} die Gesamtmasse der Anodenreste, in Tonnen Anoden je Jahr;
- $\% C_{Reste}$ der Kohlenstoffgehalt der Anodenreste, in Massenanteil in %.

Die in Gleichung (7) angewendeten Parameter sind zusammen mit technologietypischen Werten zur Berechnung der CO₂-Emissionen aus dem Verbrauch vorgebrannter Anoden während der Elektrolyse in Tabelle 1 definiert.

Tabelle 1 — Typische Unsicherheit für im Verfahren der Ebene 1 bzw. Ebene 2 angewendete einzelne Parameter und Analysen für Kohlenstoffdioxidemissionen aus Zellen mit vorgebrannten Anoden

Parameter	Verfahren Ebene 1		Verfahren Ebene 2	
	Datenquelle	Datenunsicherheit (±%)	Datenquelle	Datenunsicherheit (±%)
M_P : Gesamtmetallproduktion, in Tonnen Aluminium je Jahr	Aufzeichnungen der einzelnen Einrichtung	2	Aufzeichnungen der einzelnen Einrichtung	2
N_{AC} : Nettoanodenverbrauch, in Tonnen je Tonne Aluminium	Aufzeichnungen der einzelnen Einrichtung	5	Aufzeichnungen der einzelnen Einrichtung	5

Parameter	Verfahren Ebene 1		Verfahren Ebene 2	
	Datenquelle	Datenunsicherheit (±%)	Datenquelle	Datenunsicherheit (±%)
S_a : Schwefelgehalt in gebrannten Anoden, Massenanteil in %	Anwendung eines industrietypischen Werts, 2	3	Aufzeichnungen der einzelnen Einrichtung	3
$Asche_a$: Aschegehalt in gebrannten Anoden, in Massenanteil in %	Anwendung eines industrietypischen Werts, 0,4	3	Aufzeichnungen der einzelnen Einrichtung	3
M_{BA} : Gesamtmasse gebrannter Anoden, in Tonnen Anoden je Jahr	Aufzeichnungen der einzelnen Einrichtung	2	Aufzeichnungen der einzelnen Einrichtung	2
% C_{BA} : Kohlenstoffgehalt gebrannter Anoden, in Massenanteil in %	Anwendung eines industrietypischen Werts, 98	5	Aufzeichnungen der einzelnen Einrichtung	2
M_{Reste} : Gesamtmasse der Anodenreste, in Tonnen Anoden je Jahr	Aufzeichnungen der einzelnen Einrichtung	2	Aufzeichnungen der einzelnen Einrichtung	2
% C_{Reste} : Kohlenstoffgehalt der Anodenreste, in Massenanteil in %	Anwendung eines industrietypischen Werts, 98	5	Aufzeichnungen der einzelnen Einrichtung	2

6.5 Kohlenstoffdioxidemissionen aus dem Brennofen

6.5.1 Allgemeines

Brennofenemissionen entstehen aus drei Quellen:

- Verbrennung des Brennstoffs zum Befeuern des Ofens;
- Verbrennung flüchtiger Bestandteile, die während des Brennens freigesetzt werden;
- Verbrennung von Packmaterial im Brennofen.

6.5.2 Brennstoff

Kohlenstoffdioxidemissionen aus dem bei der Befeuerung des Brennofens verbrauchten Brennstoff können unter Anwendung des WRI/WBCSD-Instruments [10] zur Berechnung der Treibhausgasemissionen aus Energie und Elektrizität berechnet werden.

6.5.3 Verbrennung flüchtiger Bestandteile

Die Berechnung der Kohlenstoffdioxidemissionen aus der Verbrennung flüchtiger Bestandteile in Pech sollte wie folgt erfolgen:

$$E_{CO_2} = \left[G_A - \left(\frac{H_w \times G_A}{100} \right) - B_A - W_T \right] 3,664 \quad (8)$$