Emissionsfaktoren zur Eisen- und Stahlindustrie für die Emissionsberichterstattung

BFI

Umwelt Bundes Amt
Für Mensch und Umwelt

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungskennzahl 3707 42 301/01 und 3707 41 111/2
UBA-FB 001610

Emissionsfaktoren zur Eisen- und Stahlindustrie für die Emissionsberichterstattung

von

Michael Hensmann
Sebastian Haardt
Dominik Ebert
VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH, Düsseldorf

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

UMWELTBUNDESAMT

Diese Publikation ist ausschließlich als Download unter
http://www.uba.de/uba-info-medien/4362.html
verfügbar.

Gemeinsamer Abschlussbericht zu den Projekten „Bereitstellung einer qualitätsgesicherten Datengrundlage für die Emissionsberichterstattung zur Umsetzung von internationalen Luftreinhalte- und Klimaschutzvereinbarungen für ausgewählte Industriebranchen, Teilvorhaben 01: Eisen und Stahlindustrie“ und „IPCC Guidelines 2006 und Inventarverbesserung 2009, Teilvorhaben 02: Verbesserung der Konsistenz, Transparenz und Genauigkeit der Emissionsdaten zur Eisen- und Stahlindustrie“

Die in der Studie geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Abschlussdatum: Juli 2010

Herausgeber:
Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel.: 0340/2103-0
Telefax: 0340/2103 2285
info@umweltbundesamt.de
www.umweltbundesamt.de

VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH
Sohnstraße 65
40237 Düsseldorf
Telefon: 0211/67 07 -0
bfi@bfi.de
www.bfi.de

Redaktion: Umweltbundesamt, Fachgebiet III 2.2 Ressourcenschonung, Stoffkreisläufe, Mineral- und Metallindustrie
Sebastian Plickert

Titelbild: Hochofen 5 Rogesa, Dillingen; Quelle: Stahl-Zentrum

Dessau-Roßlau, Oktober 2012

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	**Einleitung**	**1**
1.1	**Ausgangslage und Aufgabenstellung**	**1**
1.2	**Zielsetzung der Forschungsarbeiten**	3
1.3	**Vorgehensweise**	5
2	**Darstellung der eingesetzten Methodik**	**9**
2.1	**Beschreibung der Datenbasis**	9
2.2	**Unterscheidung zwischen prozess- und energiebedingten Emissionen**	10
2.3	**Festlegung relevanter Emissionsquellen**	11
2.4	**Methodik zur Bestimmung der Emissionsfaktoren**	12
2.5	**Methodik zur Bestimmung der Unsicherheiten**	14
3	**Emissionsfaktoren der Eisen- und Stahlindustrie nach Prozessstufen**	**21**
3.1	**Kokereien**	21
3.1.1	Wesentliche Emissionsquellen des Kokereiprozesses	22
3.1.2	Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten für den Kokereiprozess	23
3.2	**Sinteranlagen**	27
3.2.1	Wesentliche Emissionsquellen des Sinterprozesses	28
3.2.2	Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten für den Sinterprozess	29
3.3	**Hochöfen**	32
3.3.1	Wesentliche Emissionsquellen des Hochofenprozesses	33
3.3.2	Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten für den Hochofenprozess	34
3.4	**Stahlwerke**	37
3.4.1	Oxygenstahlwerke	37
3.4.1.1	Wesentliche Emissionsquellen der Oxygenstahlwerke	37
3.4.1.2	Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten für Oxygenstahlwerke	38
3.4.2	Elektrostahlwerke	41
3.4.2.1	Wesentliche Emissionsquellen der Elektrostahlwerke	42

3.4.2.2 Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten für Elektrostahlwerke 43

3.5 Walzwerke 46

3.5.1 Wesentliche Emissionsquellen der Walzwerke 46

3.5.2 Walzwerke in integrierten Hüttenwerken 47

3.5.2.1 Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten für Walzwerke in den integrierten Hüttenwerken 47

3.5.3 Walzwerke in Elektrostahlwerken 50

3.5.3.1 Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten für Walzwerke in den Elektrostahlwerken 50

4 Fazit 53

Zusammenfassung 54

Executive Summary 56

Literaturverzeichnis 58

Verzeichnis der Tabellen:

		Seite
Tabelle 1:	Liste der betrachteten Schadstoffe	4
Tabelle 2:	Produktionsmengen der Eisen- und Stahlindustrie für das Jahr 2008 nach Prozessstufen [9, 10]	10
Tabelle 3:	Relative Unsicherheiten der Emissionskonzentrationen	17
Tabelle 4:	Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Kokerei"	24
Tabelle 5:	Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Kokerei" (Forts.)	25
Tabelle 6:	Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Kokerei"	26
Tabelle 7:	Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Sinteranlage"	30
Tabelle 8:	Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Sinteranlage"	31
Tabelle 9:	Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Hochofen"	35
Tabelle 10:	Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Hochofen"	36
Tabelle 11:	Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Oxygenstahlwerk"	39
Tabelle 12:	Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Oxygenstahlwerk"	40
Tabelle 13:	Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Elektrostahlwerk"	44
Tabelle 14:	Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Elektrostahlwerk"	45
Tabelle 15:	Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Walzwerk in integrierten Hüttenwerken"	48
Tabelle 16:	Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Walzwerk in integrierten Hüttenwerken"	49

Tabelle 17: Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Walzwerk in Elektrostahlwerken" 51

Tabelle 18: Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Walzwerk in Elektrostahlwerken" 52

Verzeichnis der Bilder:

		Seite
Bild 1:	Quellenplan der Prozessstufe ‘‘Kokerei‘‘	22
Bild 2:	Quellenplan der Prozessstufe ‘‘Sinteranlage‘‘	28
Bild 3:	Quellenplan der Prozessstufe ‘‘Hochofen‘‘	33
Bild 4:	Quellenplan der Prozessstufe ‘‘Oxygenstahlwerk‘‘	38
Bild 5:	Quellenplan der Prozessstufe ‘‘Elektrostahlwerk‘‘	42
Bild 6:	Quellenplan der Prozessstufe ‘‘Walzwerk‘‘	46

Vorwort

Das Umweltbundesamt (UBA) hat das VDEh-Betriebsforschungsinstitut (BFI) im Jahr 2008 beauftragt, Emissionsfaktoren der wesentlichen Prozessstufen der Eisen- und Stahlindustrie zu ermitteln. Durch die direkten Kontakte des BFI zu den Unternehmen der deutschen Stahlindustrie, sowie der aktiven Mitarbeit in den Fachausschüssen des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute (VDEh), war während der gesamten Laufzeit des Vorhabens ein regelmäßiger fachlicher Austausch sichergestellt.

Im Einvernehmen mit dem UBA und den Unternehmen der Eisen- und Stahlindustrie wurden die Emissionsfaktoren nicht auf Basis der ursprünglich gewählten Emissionserklärung 2004, sondern auf Basis der derzeit aktuellen Emissionserklärung 2008 ermittelt. Durch diese Maßnahme, die mit einer Verlängerung des Vorhabens verbunden war, wurde die Möglichkeit geschaffen, die Emissionssituation aktueller und besser beschreiben und abbilden zu können. Die umfangreichen Emissionsdatensätze wurden unmittelbar nach Fertigstellung der Emissionserklärungen in der zweiten Jahreshälfte 2009 an das BFI zur Auswertung übergeben. Bei der Analyse der Emissionsdaten der beteiligten Unternehmen zeigte sich, dass die Emissionsdaten in sehr unterschiedlicher Qualität vorliegen.

Unter dem Gesichtspunkt steigender Anforderungen an die Datenqualität und an die Qualitätssicherung zur Durchführung belastbarer Emissionsprognosen wurde ein zweites Projekt zur Ermittlung von Unsicherheiten der Emissionsfaktoren beantragt und in das bereits laufende Vorhaben integriert. Im vorliegenden Schlussbericht werden die Ergebnisse beider Teilprojekte zusammen dargestellt.

Wir danken dem Umweltbundesamt für die Förderung des Vorhabens und die tätige Unterstützung während der gesamten Projektlaufzeit.

Wir möchten den Unternehmen für die Bereitstellung und Freigabe ihrer Emissionsdaten danken. Besonderer Dank gilt den Vertretern der beteiligten Unternehmen, die durch Aufbereitung umfangreicher Emissionsdatensätze sowie durch fachliche Beteiligung in den gebildeten Arbeitskreisen wesentlich zum Erfolg dieses Vorhabens beigetragen haben.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Aufgabenstellung

Das Umweltbundesamt erfasst seit dem Jahr 1990 Emissionsfaktoren bedeutsamer Emittentengruppen der Eisen- und Stahlindustrie im "Zentralen System Emissionen" (ZSE). Im ZSE werden die Emissionsfaktoren bisher für folgende Strukturelemente jährlich dokumentiert.

- Herstellung von Steinkohlenkoks
- Sinteranlagen Sinterproduktion
- Herstellung von Sinter (Prozessfeuerung)
- Hochöfen Roheisenproduktion
- Herstellung von Roheisen (Prozessfeuerung)
- Stahlerzeugung Aufblasstahl-Produktion
- Stahlerzeugung Elektrostahl-Produktion
- Stahlerzeugung Walzstahl-Produktion
- Herstellung von Walzstahl (Prozessfeuerung)

Hierbei wird bisher zwischen prozess- und energiebedingten Emissionen unterschieden. Unter die energiebedingten Emissionen fallen die Prozessfeuerungen sowie die Emissionen bei der Herstellung von Steinkohlenkoks. Zur Ermittlung der Emissionsfaktoren werden die prozessbedingten Emissionen auf die Tonne Produkt und die energiebedingten Emissionen auf die Tonne Brennstoffeinsatz bezogen. Die Brennstoffeinsätze werden hierzu mit Hilfe des Energiedatenmodells „Bilanz der Emissionsursachen" (BEU) vom Umweltbundesamt auf der Grundlage der deutschen Energiebilanz berechnet.

Im ZSE werden bisher die Schadstoffe CH_4, CO, CO_2, N_2O, NH_3, NMVOC, NO_x, SO_2, Staub, PM 10, PM 2,5, BaP und Dioxine erfasst. Zusätzlich werden Aktivitätsraten für die o.a. Strukturelemente dokumentiert. Für die energetischen Emissionen sind dies die Brennstoffeinsätze und für die prozessbedingten Emissionen die Produktionsmengen. Durch Verknüpfung von Aktivitätsrate und Emissionsfaktor werden die Emissionen der Luftschadstoffe berechnet.

Die Daten aus dem ZSE werden nach Aussage des UBA zur Berechnung von Emissionsinventaren für die folgenden jährlichen Berichtspflichten genutzt:

- Klimaberichterstattung an UNFCCC (Sekretariat Bonn)
- Klimaberichterstattung an die EU (EU DG Environment)
- UNECE-Berichterstattung zu HM + POP (Sekretariat UN-ECE CLRTAP)
- NEC-Berichterstattung an die EU (EU DG Environment)

Die Emissionsinventare bilden wiederum die Basis für die Politikberatung durch das UBA. Sie dienen insbesondere zur Erstellung von Prognosen, Emissionsberechnungen anderer Einrichtungen sowie der Bewertung möglicher Minderungsmaßnahmen. Dies ermöglicht, zukünftige Problem- und Handlungsfelder zu identifizieren und zu bewerten.

In Folge stetig steigender Anforderungen an die Datenqualität und an die Qualitätssicherung und -kontrollprozeduren ergibt sich die Notwendigkeit das ZSE mit repräsentativen belastbaren Emissionsdaten aus der Eisen- und Stahlindustrie zu aktualisieren.

Das VDEh-Betriebsforschungsinstitut (BFI), mit seinen direkten Kontakten zu den Unternehmen der Eisen- und Stahlindustrie, wurde daher beauftragt, im Rahmen des Forschungsvorhabens (UFOPLAN 2007, FKZ 3707 42 301/01, Teilvorhaben 01), in einem ersten Schritt umfassende anlagenspezifische Emissionsdaten der Eisen- und Stahlindustrie zusammenzutragen und auszuwerten. Die Arbeiten bauen auf den beim UBA vorliegenden und bisher verwendeten Emissionsfaktoren auf. Diese wurden dem BFI zu Projektbeginn, in Form eines Auszugs aus dem ZSE, zur Verfügung gestellt. Die Daten waren für einen selbst zu spezifizierenden, aktuellen Zeitraum zusammenzutragen und um zusätzliche Emissionsfaktoren für bisher nicht berücksichtigte Schadstoffe zu erweitern.

Bei der Ermittlung der Emissionsfaktoren war für die einzelnen Prozessstufen der Eisen- und Stahlindustrie zu prüfen, ob die bisherige Unterscheidung zwischen prozess- und energiebedingten Emissionen auch weiterhin, unter Berücksichtigung der technisch zugrundeliegenden Randbedingungen, tragbar ist.

Unter dem Gesichtspunkt steigender Anforderungen an die Datenqualität und an die Qualitätssicherung zur Durchführung belastbarer Emissionsprognosen wurde ein zweites Projekt (UFOPLAN 2009, FKZ 3707 41 111/2, Teilvorhaben 02) zur Ermittlung der Unsicherheiten der im Teilvorhaben 01 bestimmten Emissionsfaktoren beantragt und in das laufende Vorhaben integriert.

1.2 Zielsetzung der Forschungsarbeiten

Hauptaufgabe des Projektes war die umfangreiche Erhebung von Emissionsdaten für die Eisen- und Stahlindustrie. Die Daten sollten hierbei für ein möglichst aktuelles Jahr so aufbereitet werden, dass sie ein für Deutschland repräsentatives Bild der emissionsrelevanten Schritte der Eisen- und Stahlindustrie wiedergeben und ohne weitere Umrechnungsschritte für Emissionsberechnungen im ZSE genutzt werden können. Hierdurch werden aktuelle Emissionsdaten der Eisen- und Stahlindustrie für die Luftreinhaltung bereitgestellt, die wiederum die Grundlage zur Erfüllung aktueller und zukünftiger Berichtspflichten bilden.

Das Ziel von Teilvorhaben 01 war die Ermittlung mittlerer Emissionsfaktoren für die nachfolgend aufgeführten wesentlichen Prozessstufen der Eisen- und Stahlindustrie.

- Sinteranlage
- Kokerei
- Hochofen
- Stahlerzeugung (unterschieden nach Oxygen- und Elektrostahlerzeugung)
- Walzstahlproduktion

Emissionsrelevante vor- und nachgeschaltete Prozessschritte waren hierbei ebenfalls zu berücksichtigen. Die Emissionsfaktoren für organische und anorganische Schadgaskomponenten, Schwermetalle und Stäube sollten unter Verwendung aktuell verfügbarer Daten der Anlagenbetreiber ermittelt werden.

Im Einzelnen waren für jede Prozessstufe Emissionsfaktoren für die nachfolgend genannten Schadstoffe zu ermitteln.

Tabelle 1: Liste der betrachteten Schadstoffe

Schadstoff	Kürzel
Kohlendioxid (nur für Elektrodenabbrand bei der Elektrostahlerzeugung)	CO_2
Stickstoffoxide (NO_x), als NO_2	NO_x
Kohlenmonoxid	CO
Schwefeloxide (SO_x), als SO_2	SO_x
Schwefelwasserstoff	H_2S
Fluor, angegeben als Fluorwasserstoff	HF
Chlor, angegeben als Chlorwasserstoff	HCl
Ammoniak	NH_3
Staub (gesamt)	STB
Feinstaub 10	PM 10
Feinstaub 2,5	PM 2,5
Quecksilber	Hg
Blei	Pb
Cadmium	Cd
Mangan	Mn
Chrom	Cr
Nickel	Ni
flüchtige organische Verbindungen (ohne Methan)	NMVOC
Methan	CH_4
organisch gebundener Gesamtkohlenstoff	C_{ges} (org)
Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	PAK
Benzo(a)pyren	BaP
Polychlorierte Biphenyle	PCB
Benzol	Benzol
Polychlorierte Dioxine und Furane, angegeben als I-TE	Dioxine

Emissionsfaktoren für Kohlendioxid sollten in diesem Projekt nur für den Elektrodenabbrand bei der Elektrostahlerzeugung bestimmt werden.

Anhand der vorliegenden Daten zu Betriebsweise und Emissionssituation der einzelnen Prozessstufen war zu überprüfen, ob die bisher praktizierte Untergliederung der Emissionsfaktoren in prozess- und energiebedingte Emissionen weitergeführt werden sollte.

Die erfolgreiche Umsetzung der FuE-Ergebnisse sowie die Erfüllung der Berichtspflichten gemäß dem EMEP-CORINAIR Emission Inventory Guidebook 2007 [1], der NEC-Richtlinie [2] zum Kyoto-Protokoll sowie den Protokollen des Genfer Luftreinhalteabkommens erfordert eine Abschätzung der den Emissionsfaktoren zugrundeliegenden Unsicherheiten.

Das Ziel von Teilvorhaben 02 war daher die Ermittlung der den Emissionsfaktoren aus Teilvorhaben 01 zugrundeliegenden Unsicherheiten. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Datenqualität waren hierbei geführte und diffuse Quellen getrennt zu behandeln.

1.3 Vorgehensweise

In einem ersten Schritt wurde zunächst geprüft, inwieweit vorliegende Studien als Basis für das laufende Projekt herangezogen werden können. Hinweise zur Vorgehensweise bei der Abfrage, Darstellung und Bewertung von Emissionsdaten liefert der Bericht EUR 16955 EN zu - Coordinated study "steel-environment" (1996) [3] sowie der UBA Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben "Ermittlung der Emissionen von halogenierten Dioxinen und Furanen aus thermischen Prozessen" von Theobald [4]. Eine Vergleichbarkeit der Emissionsdaten und -faktoren war jedoch aufgrund der voneinander stark abweichenden Datenbasis nicht möglich.

Bereits in der Startphase des Projektes wurden die Unternehmen der Eisen- und Stahlindustrie in den Fachausschusssitzungen des VDEh über die Aufgabenstellung und die Ziele des Projektes informiert. Aufgrund des sehr großen Interesses am Thema konnte eine große Anzahl von Unternehmen für eine Mitarbeit am Projekt gewonnen werden.

Zur fachlichen Begleitung des Projektes wurden aus den beteiligten Unternehmen zwei Arbeitsgruppen gebildet. In der Arbeitsgruppe I "Integrierte Hüttenwerke" waren die integrierten Hüttenwerke in Deutschland und zusätzlich ein Oxygenstahlwerk mit Warmwalzwerk vertreten. Die

Arbeitsgruppe II "Elektrostahlwerke" wurde von den Vertretern der Elektrostahlwerke und einem Warmwalzwerk gebildet.

Folgende Unternehmen waren in den Arbeitsgruppen vertreten und haben ihre Emissionsdaten zur Auswertung zur Verfügung gestellt.

Integrierte Hüttenwerke:

- ThyssenKrupp Steel Europe AG
- HKM - Hüttenwerke Krupp Mannesmann GmbH
- AG der Dillinger Hüttenwerke
- ArcelorMittal Bremen GmbH
- ArcelorMittal Eisenhüttenstadt GmbH
- Salzgitter Flachstahl GmbH
- Saarstahl AG
- DK Recycling und Roheisen GmbH
- ArcelorMittal Ruhrort GmbH (Oxygenstahlwerk, Warmwalzwerk)

Elektrostahlwerke:

- ArcelorMittal Hamburg GmbH
- Saarstahl AG
- Peiner Träger GmbH
- Benteler Stahl/Rohr GmbH
- ThyssenKrupp Nirosta GmbH
- H.E.S. Henningsdorfer Elektrostahlwerke GmbH
- B.E.S. Brandenburger Elektrostahlwerke GmbH
- Stahlwerke Thüringen GmbH
- V & M Deutschland GmbH (Warmwalzwerk)

In den Arbeitsgruppen wurden Fragestellungen zur Festlegung der Anlagengrenzen, der Datenauswahl und Datenqualität intensiv diskutiert.

Aus der Diskussion in den Arbeitsgruppen ergab sich, dass nach den Kriterien Vollständigkeit, Konsistenz und Vergleichbarkeit die Emissionserklärungen nach 11. BImSchV [5] eine sehr gute Datengrundlage für die Herleitung der Emissionsfaktoren liefern sollte. Dies wurde anhand der Emissionserklärungen des Jahres 2004 zweier integrierter Hüttenwerke beispielhaft überprüft. Der Vergleich der mittels Emissionserklärung ermittelten Emissionsfaktoren mit den Daten des UBA lieferte folgende wesentlichen Ergebnisse:

- Die Emissionserklärung nach 11. BImSchV [5] beinhaltet "anlagenscharfe Auskünfte" zu den Emissionen und bietet daher die geeignete Grundlage zur Berechnung von Emissionsfaktoren
- Die Emissionserklärungen der einzelnen Unternehmen sind formal sehr unterschiedlich aufgebaut. Eine automatisierte Auswertung der Emissionserklärungen zur Ermittlung von Emissionsfaktoren war daher nicht möglich.
- Aus der Gegenüberstellung der ermittelten Emissionsfaktoren mit vorliegenden Daten des UBA sind Rückschlüsse auf die bisher zugrunde gelegten Anlagengrenzen und Emissionsquellen möglich.

Im Einvernehmen mit dem UBA und den Unternehmen der Eisen- und Stahlindustrie wurde beschlossen, die Emissionsfaktoren nicht auf Basis der vorliegenden Emissionserklärung 2004, sondern auf Basis der zu diesem Zeitpunkt noch in Bearbeitung befindlichen Emissionserklärung 2008 zu ermittelt. Durch diese Maßnahme, die mit einer Verlängerung des Vorhabens verbunden war, wurde die Möglichkeit geschaffen, die heutige Emissionssituation noch besser beschreiben und abbilden zu können.

In Abstimmung mit den beteiligten Unternehmen und dem UBA wurden für die zu betrachtenden Anlagen – Kokerei, Sinteranlage, Hochofen, Stahlerzeugung (Oxygenstahl, Elektrostahl) und Warmwalzwerk – zunächst die Anlagengrenzen für jede Prozessstufe festgelegt. Hierzu wurde auf die Fließbilder der genannten Prozessstufen aus der Literatur [6, 7, 8] zurückgegriffen. Anschließend wurden alle relevanten Emissionsquellen, die in Summe mindestens 95 % aller Emissionen einer Prozessstufe ausmachen, bestimmt und somit die Grundlage für den Umfang der Datenerfassung festgelegt. Geführte Primär- und Sekundäremissionen sowie diffuse Emissionen

werden hierbei getrennt voneinander behandelt. Durch entsprechende Anpassungen, z.B. die rechnerische Zusammenführung von Quellen, die bei einzelnen Werken getrennt geführt werden, wurden die unterschiedlichen Anlagenkonfigurationen in den einzelnen Unternehmen berücksichtigt.

Im nächsten Schritt wurden Formulare zur Erfassung aller relevanten Emissionsdaten erstellt. Diese wurden dann von den Unternehmen unter Verwendung der Emissionserklärungen 2008 ausgefüllt und dem BFI zur Auswertung zur Verfügung gestellt.

Zur Ermittlung der Emissionsfaktoren wurde eine geeignete Methodik entwickelt, die sowohl die unterschiedlichen Produktionsmengen als auch die verschiedenen Verfahrensvarianten in den betrachteten Unternehmen berücksichtigt. Im Rahmen von Teilvorhaben 02 wurde eine weitere Methodik zur Abschätzung der Unsicherheiten der im Vorläuferprojekt ermittelten Emissionsfaktoren entwickelt.

2 Darstellung der eingesetzten Methodik

Eine wesentliche Aufgabe im Rahmen des Forschungsvorhabens war die Entwicklung einer geeigneten Methodik zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufen sowie der zugehörigen Unsicherheiten. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Datenqualität wurden die Emissionen geführter und diffuser Quellen durchgehend getrennt voneinander behandelt.

2.1 Beschreibung der Datenbasis

Ziel des Vorhabens war die repräsentative Abbildung der Emissionssituation der Eisen- und Stahlindustrie in Deutschland. Diese Anforderung wurde durch die große Beteiligung der Unternehmen, die umfangreiche Datensätze für insgesamt 64 Anlagen für die Auswertung zur Verfügung stellten, gewährleistet. Die Anzahl der bei der Auswertung der einzelnen Prozessstufen betrachteten Anlagen ergibt sich wie folgt:

- Sinteranlagen: 8 Anlagen in 7 Unternehmen
- Kokereien: 5 Anlagen in 4 Unternehmen
- Hochöfen: 15 Anlagen in 7 Unternehmen
- Oxygenstahlerzeugung: 9 Anlagen in 8 Unternehmen
- Elektrostahlerzeugung: 9 Anlagen in 9 Unternehmen
- Walzstahlproduktion: 18 Anlagen in 17 Unternehmen

In **Tabelle 2** sind die Produktionsmengen der Eisen- und Stahlindustrie für das festgelegte Jahr 2008 zusammengestellt. Angaben zu dem in die Auswertung eingeflossenen Datenumfang sind der letzten Spalte zu entnehmen. Demnach liegt die Datenverfügbarkeit für die Auswertung der Prozessstufen Kokerei, Sinteranlage, und Oxygenstahlerzeugung, bezogen auf die Gesamtproduktionsmenge in Deutschland, bei 100 %. Für die Elektrostahlproduktion in Deutschland liegt dieser Wert trotz der deutlich höheren Anzahl an produzierenden Anlagen noch bei 50 %, was aufgrund der Einbeziehung von Anlagen zur Produktion unterschiedlicher Stahlsorten eine ausreichende Datenbasis darstellt.

Tabelle 2: Produktionsmengen der Eisen- und Stahlindustrie für das Jahr 2008 nach Prozessstufen [9, 10]

Prozessstufe	Produkt	Produktionsmenge [1000 t/a]	In Auswertung einbezogen *
Kokerei	Koks	6.320	100 %
Sinteranlage	Sinter	28.970	100 %
Hochofen	Roheisen	29.111	95 %
Stahlerzeugung	Oxygenstahl	31.194	100 %
	Elektrostahl	14.639	50 %
Walzstahlproduktion	Warmgewalzte Stahlerzeugnisse	39.805	70 %

*: prozentuale Angabe bezogen auf die Gesamtproduktion in Deutschland

Mit Ausnahme von PM 2,5 wurden alle in Kapitel 1.2 aufgeführten Schadstoffe in die Auswertung einbezogen. Für PM 2,5 liegen den Unternehmen keine Angaben vor. Angaben zu PM 2,5 beruhen in der Regel auf Schätzungen, die auf Grundlage der Gesamtstaubemissionen bzw. PM 10 Emissionen unter Einbeziehung der eingesetzten Abgasreinigungstechnik vorgenommen werden.

2.2 Unterscheidung zwischen prozess- und energiebedingten Emissionen

Bei der Ermittlung der Emissionsfaktoren war für die einzelnen Prozessstufen der Eisen- und Stahlindustrie zu prüfen, ob die bisherige Unterscheidung zwischen prozess- und energiebedingten Emissionen auch weiterhin, unter Berücksichtigung der technisch zugrundeliegenden Randbedingungen, tragbar ist.

Zur Verbesserung der Energieeffizienz werden in integrierten Hüttenwerken für thermische Prozesse vorrangig Kuppelgase genutzt. Das Potential zur Nutzung von Kuppelgasen ist abhängig von standortspezifischen, individuellen Gegebenheiten. Die Emissionen bei Nutzung von Kuppelgasen hängen im Rahmen des standortspezifischen Energiemanagements von der Verfügbarkeit und der Verteilung der jeweiligen Gase auf die verbrauchenden Anlagen ab. Eine ein-

heitliche und allgemeingültig vergleichbare Zuordnung von Kuppelgaseinsatz und assoziierten Emissionen ist daher nicht möglich. Weitere Informationen hierzu finden sich in dem neuen BVT-Merkblatt Eisen- und Stahlerzeugung (Entwürfe vom Februar und April 2010). Darüber hinaus sind generell die bei der Stahlerzeugung stattfindenden thermischen Prozesse aus metallurgischen Gründen erforderlich, da die chemischen und physikalischen Prozesse nur bei bestimmten Temperaturen möglich sind.

Nach eingehender Überprüfung der einzelnen Quellen der Prozessstufen folgt, dass die Emissionen der Eisen- und Stahlindustrie vollständig den prozessbedingten Emissionen zuzuordnen sind.

Bestätigt wird diese Vorgehensweise auch durch den Ansatz aus dem EMEP-CORINAIR Emission Inventory Guidebook (2007) [1], in dem keine eindeutige Eingliederung der Einzelprozesse in die Bereiche "Combustion in manufacturing industry" und "Production Processes" vorgenommen wird.

2.3 Festlegung relevanter Emissionsquellen

Für die einzelnen Prozessstufen wurden in Zusammenarbeit mit den Werken zunächst Anlagengrenzen definiert. Anschließend wurden für jede Prozessstufe alle relevanten Emissionsquellen ermittelt. Maßgabe hierbei war, dass 95 % aller Emissionen einer Prozessstufe erfasst werden. Folgende Emissionsquellen wurden nicht betrachtet:

- Rohstoffaufbereitung und Transport bei den Prozessstufen Sinteranlage und Kokerei
- Schlackenwirtschaft bei den Prozessstufen Hochofen und Stahlerzeugung (Elektrostahl, Oxygenstahl)

Die Gründe für die Nicht-Berücksichtigung dieser Emissionsquellen waren, dass

- diese von Werk zu Werk so unterschiedlich ausgeprägt sind, dass es keine repräsentative Anlagenkonstellation gibt, für die repräsentative Emissionsfaktoren hätten ermittelt werden können,
- aufgrund der unterschiedlichen Anlagenkonstellation die Datenbasis zur Ermittlung geeigneter Emissionsfaktoren zu klein war,

- nicht eindeutig war, welchen Prozessstufen und somit Aktivitätsraten (Produktionsmengen) die in den Emissionserklärungen angegeben Emissionsfrachten zuzuordnen sind und
- die in den Emissionserklärungen angegeben Emissionsfrachten ohnehin i.d.R. nur auf Schätzungen beruhen, die mit einer hohen Unsicherheit behaftet sind.

Aufgrund der unterschiedlichen Anlagenkonfiguration wurden bei Bedarf einzelne geführte Quellen rechnerisch zu einer Quelle zusammengefasst. Des Weiteren wurden aufgrund der unterschiedlichen Brennstoffauswahl bei der Befeuerung der Wärmeöfen bei der Walzstahlproduktion die Emissionsfaktoren nach Standort („integrierte Hütte" oder „Elektrostahlwerk") getrennt ausgewertet.

2.4 Methodik zur Bestimmung der Emissionsfaktoren

Als Grundlage zur Ermittlung der prozessbedingten Emissionen wurden, in Abstimmung mit den beteiligten Unternehmen und dem UBA, die Emissionserklärungen für das Jahr 2008 herangezogen. Da eine automatisierte Auswertung der Emissionserklärungen aufgrund der unterschiedlichen Anlagenkonfiguration in den beteiligten Unternehmen nicht möglich war, wurden Formulare zur Erfassung aller relevanten Daten und Informationen zu den relevanten Emissionsquellen entwickelt.

Für die insgesamt 18 geführten und 12 diffusen Quellen wurde im Einzelnen abgefragt:

I. Werk, Standort, Anlage
II. Produktionsmenge der Prozessstufe
III. Emissions-Jahresfrachten der Schadgaskomponenten
IV. Datenerfassungsart zur Charakterisierung der Datenqualität unterschieden nach:
    - kontinuierliche Messung
    - wiederkehrende Messung
    - Rechnung
    - Schätzung
V. Elektrodenabbrand zur Berechnung der CO_2-Emission aus Elektrodenabbrand

Emissionsdaten, die von den Unternehmen unter Verwendung der Nachweisgrenze berechnet wurden, sind nicht in die Auswertung eingegangen, weil sie keine hinreichende Information zur tatsächlichen Höhe der Emissionen bieten..

Anhand der Verfügbarkeit und Qualität der Emissionsdaten zu den Quellen wurde festgelegt, welche Daten in die Auswertung zur Berechnung der prozessbedingten Emissionsfaktoren eingehen. Diese Bewertung wurde nach folgender Vereinbarung getroffen:

Fall A: Datenverfügbarkeit zu einer Quelle ≥ 30 % Daten $\Rightarrow$ Auswertung

Fall B: Datenverfügbarkeit zu einer Quelle < 30 %, jedoch mindestens 2 Werte aus Messungen vorhanden $\Rightarrow$ Auswertung

Fall C: Datenverfügbarkeit zu einer Quelle < 30 %, jedoch weniger als 2 Werte aus Messungen vorhanden $\Rightarrow$ Daten gehen nicht in die Auswertung ein

Die Berechnung der mittleren Emissionsfaktoren der Prozessstufe erfolgt in drei Schritten. Zunächst werden für jedes Unternehmen (*U*) die Emissionsfaktoren für die Schadstoffe (*S*) an den einzelnen Quellen (*Q*) der jeweiligen Prozessstufe (*P*) berechnet.

Dies erfolgt für alle geführten und diffusen Quellen separat.

$$E(U,P,Q,S) = \frac{\dot{e}(U,P,Q,S)}{m_{\text{Produktion}}(U,P)} \qquad (1)$$

mit:

E: Emissionsfaktor

$\dot{e}$: Emissions-Jahresfracht

$m_{\text{Produktion}}$: Jahresproduktion

Im nächsten Schritt wird das nach Jahresproduktion gewichtete Mittel der Emissionsfaktoren für die einzelnen Quellen berechnet. Hierdurch werden die Emissionsdaten der Unternehmen mit hoher Jahresproduktion entsprechend höher gewertet. Die Berechnung erfolgt für geführte und diffuse Quelle in gleicher Weise. Für die Berechnung der anhand der Jahresproduktion gewichteten Emissionsfaktoren einer Quelle folgt:

$$\overline{E}(\mathrm{P},Q,S) = \frac{\sum_{w=1}^{\text{Anzahl Werte}} E(\mathrm{P},Q,S) \cdot m_{\text{Produktion}}(\mathrm{P})_w}{\sum_{w=1}^{\text{Anzahl Werte}} m_{\text{Produktion}}(\mathrm{P})_w} \qquad (2)$$

mit:

$\overline{E}$: gewichteter Emissionsfaktor einer Quelle

E: Emissionsfaktor einer Quelle

Durch Addition aller gewichteten Emissionsfaktoren der geführten bzw. diffusen Quellen berechnet sich der gemittelte Emissionsfaktor der jeweiligen Prozessstufe.

Am Beispiel der geführten Emissionen folgt:

$$\overline{E_{\text{geführt}}}(P,S) = \sum_{q=1}^{\text{Anzahl Quellen}} \overline{E_{\text{geführt}}}(P,S)_q \qquad (3)$$

2.5 Methodik zur Bestimmung der Unsicherheiten

Im Rahmen von Teilvorhaben 02 war es zunächst erforderlich, eine geeignete Methodik zur Abschätzung der Unsicherheiten der im Vorläuferprojekt ermittelten Emissionsfaktoren zu entwickeln. Hierbei waren alle aus den Emissionserklärungen hervorgehenden Angaben zur Qualität der Emissionsdaten getrennt nach geführten und diffusen Quellen zu berücksichtigen.

Im Folgenden werden die Vorgehensweise bei der Entwicklung der Methodik sowie die zugrunde liegenden Annahmen und Rechenvorschriften beschrieben und dokumentiert.

Gemäß der 11. BImSchV [11] sind in der Emissionserklärung die Emissionen als Einzelstoff oder in einzelnen Fällen als Summenparameter unter Angabe der Ermittlungsart anzugeben. Es ist hierbei zwischen Messungen (fortlaufend aufgezeichnete Messung oder repräsentative Einzelmes-

sung), Rechnungen oder Schätzungen zu unterscheiden. Die von den Unternehmen aus der Emissionserklärung 2008 zur Verfügung gestellten Emissions-Jahresfrachten sind entsprechend ihrer Ermittlungsart in folgende vier Gruppen unterteilt:

- kontinuierliche Messung (kM)
- wiederkehrende Messung (wM)
- Rechnung (Rech)
- Schätzung (Sch)

Diese Unterscheidung gilt grundsätzlich für geführte und diffuse Quellen.

Während für die geführten Emissionen ausreichende Kenntnisse und Messergebnisse vorliegen, beruhen die einzelnen Angaben zu den Emissionsdaten aus diffusen Quellen in der Regel auf Schätzungen. Bei den Anlagenbetreibern liegen für diffuse Quellen in nur sehr geringem Umfang Ergebnisse aus Messungen vor. Auch sind diese Ergebnisse mit einer sehr großen Unsicherheit behaftet und gelten nur für die jeweils vermessene spezifische Einzelquelle. Aufgrund der sehr unterschiedlichen örtlichen Gegebenheiten sind Angaben zu den Emissionen einzelner diffuser Quellen grundsätzlich nicht auf andere Anlagen übertragbar. Es ist daher nicht möglich, Unsicherheiten für die in Teilvorhaben 01 gemittelten Emissionsfaktoren diffuser Quellen zu ermitteln.

Für die im Weiteren betrachteten geführten Quellen ergeben sich für die Emissionsfaktoren, in Abhängigkeit von der Ermittlungsart, unterschiedliche Unsicherheiten. Bei den messtechnischen Unsicherheiten werden folgende Faktoren berücksichtigt:

- Messunsicherheiten des Analyseverfahrens für die jeweilige Schadgaskomponente
- Unsicherheiten bei der Bestimmung der Abgasvolumenströme
- Unsicherheiten bei der Ermittlung der korrespondierenden Produktionsmengen

Zur Ermittlung der absoluten Messunsicherheit eines Emissionsfaktors einer geführten Quelle wurde das Verfahren der linearen Fehlerfortpflanzung angewendet, da die einzelnen Unsicherheiten aus unterschiedlichen Quellen (Verordnungen, Richtlinien und Expertenschätzungen) stammen. Es handelt sich nicht ausschließlich um statistische Werte, die üblicherweise nach der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung zu berechnen wären. Des Weiteren ist die lineare Fehlerfort-

pflanzung der Gauß'schen Fehlerfortpflanzung vorzuziehen, da sich die Messunsicherheiten der einzelnen Messgrößen erheblich unterscheiden. Die absolute Messunsicherheit eines Emissionsfaktors einer geführten Quelle berechnet sich demnach durch Multiplikation des jeweiligen Emissionsfaktors der Quelle mit der Summe der relativen Unsicherheiten aus der Ermittlung der Emissionskonzentration, des Abgasvolumenstroms und der Produktionsmenge.

$$\sigma_{geführt,gemessen}(U,P,Q,S) = E_{geführt,gemessen}(U,P,Q,S) \cdot \left(x_{\dot{V}} + x_{m_U} + x(S)_c\right) \quad (4)$$

mit:

$\sigma_{geführt,gemessen}$: Absolute Unsicherheit eines über Messungen ermittelten Emissionsfaktors einer geführten Quelle

$x_{\dot{V}}$: relative Unsicherheit der Volumenstrommessung

x_m : relative Unsicherheit der Jahresproduktion

$x(S)_c$: relative Unsicherheit der Konzentrationsmessung

Der Abgasvolumenstrom einer Quelle wird in den Unternehmen entweder mittels kontinuierlicher Messverfahren, die i.d.R. auf dem Ultraschall-Verfahren basieren, oder auch im Rahmen diskontinuierlicher Emissionsmessungen mit Hilfe von Prandtl- oder Zylindersonden ermittelt. Für die Berechnungen der Unsicherheiten der Volumenstrommessung wird nach Expertenangaben ein Wert von 5% angesetzt. Die Unsicherheit bei der Bestimmung der Produktionsmengen liegt nach Expertenangaben aus den beteiligten Unternehmen zwischen 1 und 3 %. Als konservative Abschätzung wird die Unsicherheit der Produktionsmenge zu 3 % angesetzt. Die Unsicherheit bei der Bestimmung der Emissionskonzentration wird für die Ermittlungsart "wiederkehrende Messung" unter Verwendung der 13. BImSchV [12] und 17. BImSchV [13] sowie der gültigen Normen ermittelt. Aus der 13. und 17. BImSchV werden für die Komponenten CO, NO_x, SO_x, HF, HCl, Staub und organisch gebundener Gesamtkohlenstoff die angegeben Maximalwerte des 95%-Konfidenzintervalls als Unsicherheit herangezogen. Bei den übrigen betrachteten Komponenten werden die in den Normen angegebenen, aus Versuchsmessungen ermittelten 95%-Konfidenzintervalle als Unsicherheit zugrunde gelegt. Existieren keine Versuchsmessungen für eine Komponente, wird die Unsicherheit einer vergleichbaren Komponente, die nach demselben

Verfahren gemessen wird, angenommen. Als konservative Abschätzung wird eine Messhäufigkeit von einer Messreihe pro Jahr, bestehend aus drei Einzelmessungen, angenommen. In **Tabelle 3** sind die angesetzten Unsicherheiten für die einzelnen Komponenten zusammengestellt.

Tabelle 3: Relative Unsicherheiten der Emissionskonzentrationen

Schadstoff	Unsicherheit	Literaturquelle
NOx	12%	13. BImSchV [12]
CO	6%	13. BImSchV [12]
SOx	12%	13. BImSchV [12]
H2S	12%	vgl. SOx
HF	23%	17. BImSchV [13]
HCl	23%	17. BImSchV [13]
NH3	23%	vgl. HCl
Staub	17%	13. BImSchV [12]
PM10	19%	DIN EN ISO 23210 [14]
Hg	23%	13. BImSchV [12]
Pb	105%	DIN EN 14385 [15]
Cd	159%	DIN EN 14385 [15]
Mn	150%	DIN EN 14385 [15]
Cr	429%	DIN EN 14385 [15]
Ni	363%	DIN EN 14385 [15]
NMVOC	17%	vgl. Cges org.
CH4	17%	vgl. Cges org.
Cges org.	17%	13. BImSchV [12] DIN EN 12619 [16]
PAK	62%	DIN ISO 11338 [17]
BaP	62%	vgl. PAK
Benzol	17%	vgl. Cges org.
Dioxine	30%	DIN EN 1948-3 [18]

Die Unsicherheit der Emissionskonzentration für die Ermittlungsart "kontinuierliche Messung" ist aufgrund der Vielzahl der Messwerte im Vergleich zur jährlich wiederkehrenden Messung zu vernachlässigen. Dies ergibt sich aus dem mathematischen Zusammenhang für die Grenzen des Konfidenzintervalls um den wahren Mittelwert der Grundgesamtheit bei unbekannter Varianz:

$$\overline{x} \pm t_{\left(1-\frac{\alpha}{2};n-1\right)} \frac{s}{\sqrt{n}} \qquad (5)$$

mit:

$\overline{x}$: arithmetisches Mittel der Stichprobe

t : Student-t-Faktor

α : Irrtumsniveau (5%)

n : Anzahl Messwerte

s : Standardabweichung der Stichprobe

Die Unsicherheiten, die den berechneten Emissionskonzentrationen der Unternehmen zu Grunde liegen, sind aus den Daten der Emissionserklärung nicht abzuleiten. Sie sind für jede Komponente einer Quelle abhängig vom gewählten Rechenansatz sowie den jeweils gewählten Randbedingungen für die Berechnung. Gleiches gilt für die durch Schätzung ermittelten Emissionskonzentrationen. Auch hier sind die Grundlagen der Schätzung der jeweiligen Emissionskonzentration nicht bekannt. Im Einzelfall kann die Unsicherheit der Rechnung bzw. Schätzung der Emissionskonzentration oberhalb oder auch unterhalb der Unsicherheit einer Messung liegen. Unsicherheiten, die sich aus der Berechnung bzw. Schätzung von Emissionsfaktoren ergeben werden daher nicht berücksichtigt.

Bei der Berechnung der gewichteten absoluten Unsicherheit einer geführten Quelle werden alle Unsicherheiten aus der Ermittlungsart "kontinuierliche Messung" und "wiederkehrende Messung" berücksichtigt, die statistischer Natur sind.

Systematische Fehler durch fehlerhaft durchgeführte Messungen, Inhomogenität des zu messenden Mediums oder nicht berücksichtigte Umgebungsparameter sind auf Basis der zur Verfügung stehenden Daten nicht bestimmbar.

$$\overline{\sigma_{geführt,gemessen}}(P,Q,S)=\frac{\sum_{w=1}^{Anzahl\,Werte}\sigma_{geführt,gemessen}(P,Q,S)_w\cdot m_{Produktion}(U,P)_w}{\sum_{w=1}^{Anzahl\,Werte}m_{Produktion}(U,P)_w} \quad (6)$$

mit:

$\overline{\sigma_{geführt,gemessen}}$: gewichtete absolute Unsicherheit eines über Messungen ermittelten Emissionsfaktors einer geführten Quelle

Für die Berechnung der gewichteten relativen Unsicherheit eines Emissionsfaktors einer Prozessstufe folgt entsprechend:

$$\overline{x}(P,S)=\frac{\sum_{q=1}^{Anzahl\,Quellen}\overline{\sigma}(S)_{geführt,gemessen,q}}{\overline{E}(P,S)_{geführt,gemessen}} \quad (7)$$

$$\overline{X}(P,S)=\frac{\sum_{q=1}^{Anzahl\,Quellen}\overline{\sigma}(S)_{geführt,gemessen,q}}{\overline{E}(P,S)_{geführt,gemessen}}\cdot 100\% \quad (8)$$

mit:

$\overline{x}$: relative Unsicherheit eines über Messungen ermittelten Emissionsfaktors

$\overline{X}$: relative prozentuale Unsicherheit eines über Messungen ermittelten Emissionsfaktors

Diese auf der Basis von Konfidenzintervallbetrachtungen "kontinuierlicher Messungen" und "wiederkehrender Messungen" ermittelte Unsicherheit wird im Weiteren für die Angabe der Unsicherheit der Emissionsfaktoren geführter Quellen einer Prozessstufe herangezogen. Eine Einbeziehung der Unsicherheiten aus Berechnungen und Schätzungen ist aus den beschriebenen Gründen nicht möglich.

Der minimale, bzw. maximale Emissionsfaktor einer geführten Quelle berechnet sich für den jeweils betrachteten Schadstoff wie folgt:

$$\overline{E_{\text{geführt, min}}}(P,S) = \frac{\overline{E_{\text{geführt}}}(P,S)}{\left(1+\bar{x}\left(P,S\right)\right)} \tag{9}$$

$$\overline{E_{\text{geführt, max}}}(P,S) = \overline{E_{\text{geführt}}}(P,S) \cdot \left(1+\bar{x}\left(P,S\right)\right) \tag{10}$$

3 Emissionsfaktoren der Eisen- und Stahlindustrie nach Prozessstufen

Im Folgenden werden für die einzelnen Prozessstufen der Eisen- und Stahlindustrie die wesentlichen Emissionsquellen - Emissionsquellen, die 95 % der Gesamtemission der jeweiligen Prozessstufe ausmachen - aufgeführt sowie die Datenbasis, die der Berechnung der Emissionsfaktoren der Prozessstufen zugrunde liegt, beschrieben. Die Emissionsfaktoren werden für jede relevante Komponente einer Prozessstufe untergliedert nach geführter und diffuser Emission angegeben. Für geführte Emissionsfaktoren wird zusätzlich eine Unsicherheit angegeben.

3.1 Kokereien

In den Kokereien der Hüttenwerke wird durch Verkokung gemahlener Kohlemischungen Koks für den Hochofenbetrieb hergestellt. Der Koks dient im Hochofenprozess der Reduktionsgaserzeugung und damit der Reduktion der Eisenoxide zu metallischem Eisen sowie der Aufkohlung des Roheisens. Gleichzeitig bildet er das Stützgerüst im Hochofenschacht und gewährleistet hierdurch eine gute Durchgasung der Möllersäule.

Die bei der Verkokung der Kohle freiwerdenden flüchtigen Komponenten Teer, Benzol, Schwefelwasserstoff und Ammoniak werden zu Grundstoffen der chemischen Industrie aufbereitet. Das Koksofengas wird prozessintern zur Unterfeuerung der Koksofenbatterien, zur Befeuerung von Öfen in anderen Prozessstufen sowie zur Stromerzeugung in den Kraftwerken verwendet.

Die deutschen Hüttenkokereien sind sehr ähnlich aufgebaut. Die wesentlichen Emissionsquellen sind in allen Anlagen vorhanden. Da das Produkt Koks in seinen physikalischen und chemischen Eigenschaften auf die Anforderungen des Hochofenprozess abgestimmt ist, gibt es auch hier nur unwesentliche Unterschiede. Die Zusammensetzung und Höhe der Emissionen kann in Abhängigkeit von der eingesetzten Anlagentechnik sowie der Qualität der eingesetzten Kohlemischungen variieren.

3.1.1 Wesentliche Emissionsquellen des Kokereiprozesses

Bild 1 zeigt den Quellenplan des Kokereiprozesses mit allen wesentlichen geführten und diffusen Emissionsquellen. Die wesentlichen geführten Quellen beim Kokereiprozess betreffen den Löschturm (1), die Unterfeuerung der Koksbatterien (2), die Schwefelsäureanlage (3), die Kokssieberei (7.2) und den Koksausstoß (8). Diffuse Emissionen treten oberhalb der Batterien (5), am Füllwagen (4), beim Löschwagentransport (6) und in der Kokssieberei (7.1) auf.

Bei der Prozessstufe "Kokerei" wird die Rohstoffaufbereitung und der Transport der Rohstoffe bei der Ermittlung der Emissionsfaktoren nicht berücksichtigt.

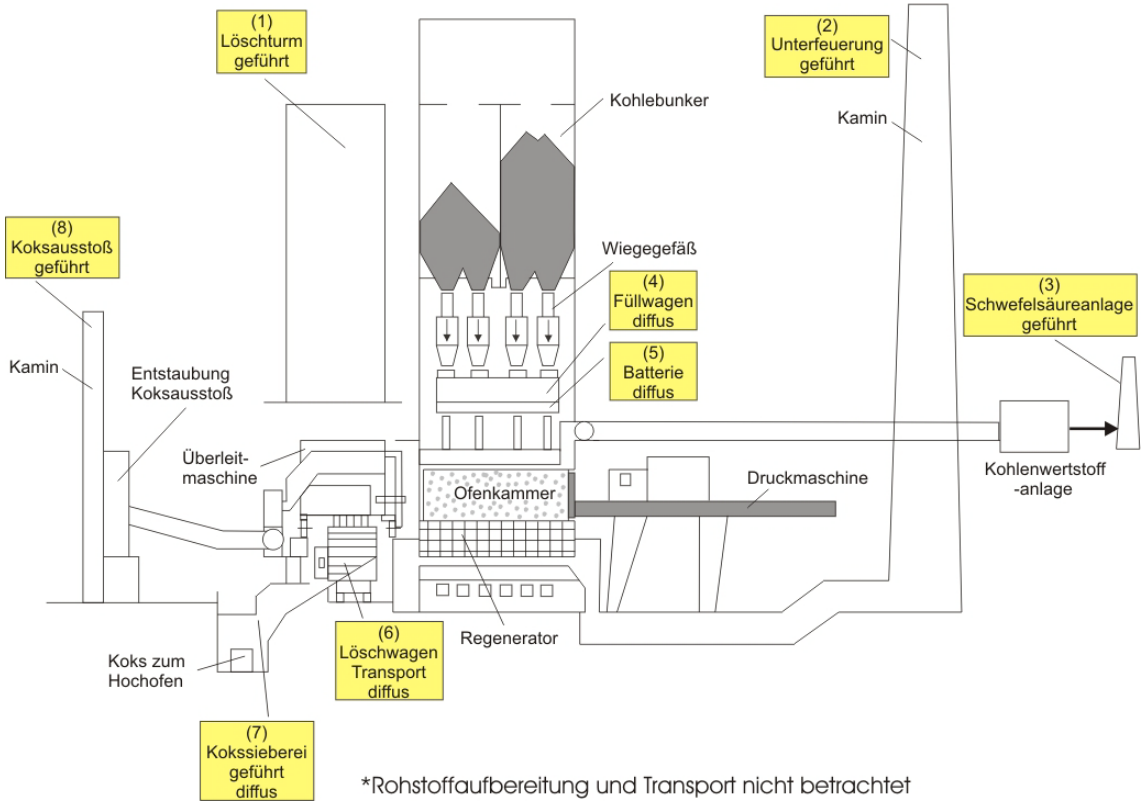


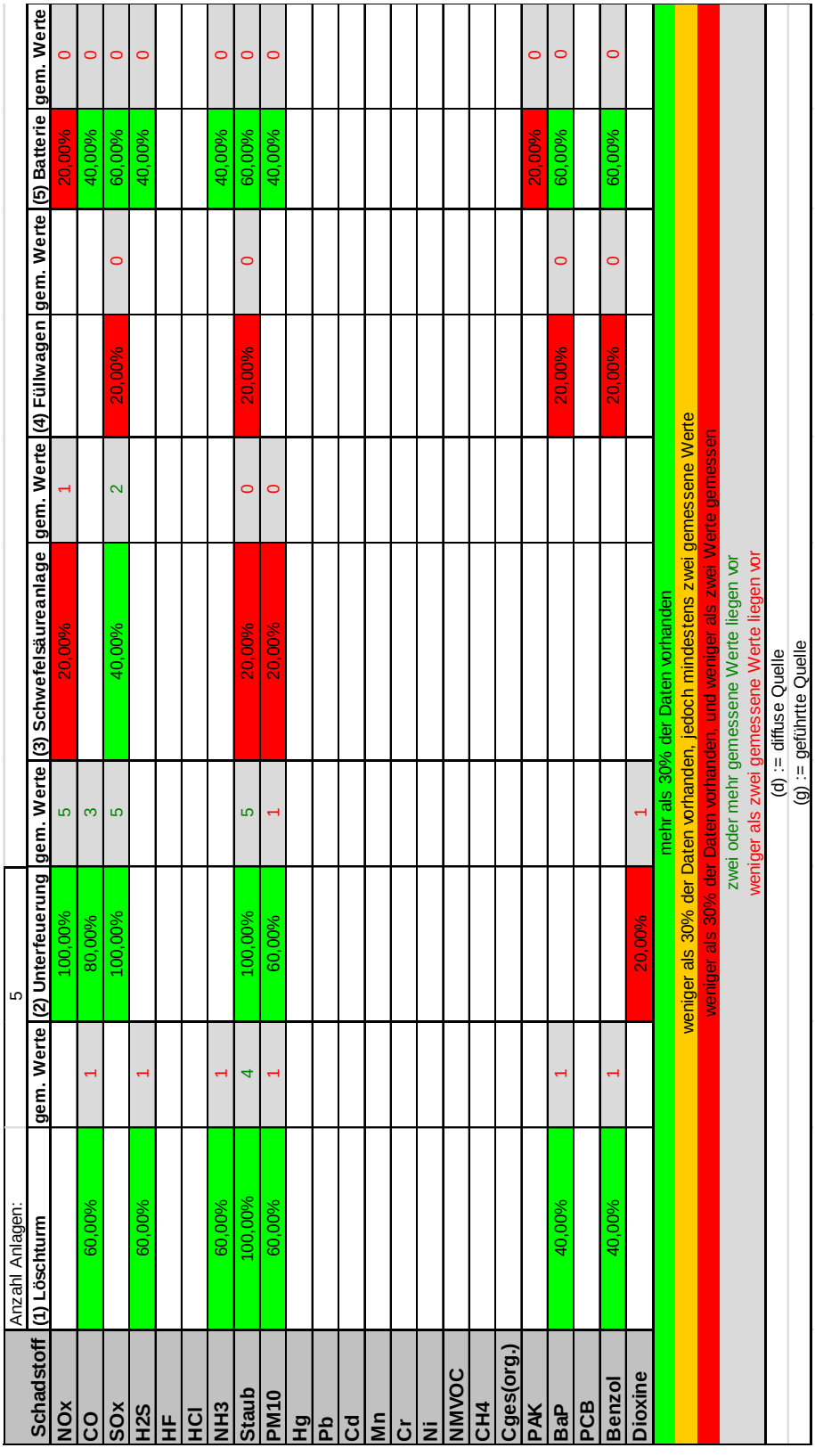
Bild 1: Quellenplan der Prozessstufe "Kokerei"

3.1.2 Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten für den Kokereiprozess

Aus der Zusammenstellung in den **Tabellen 4** und **5** geht hervor, welche Emissionsdaten der einzelnen Quellen der Prozessstufe "Kokerei" in die Berechnung der prozessbedingten Emissionsfaktoren eingehen. Eine gute Datenbasis liegt für die geführten Quellen Löschturm (1) und Unterfeuerung (2) sowie für die diffuse Quelle Koksofenbatterie (5) vor. Der Umfang der Emissionsdaten zu den Quellen (4) und (7.1) erfüllen die gestellten Anforderungen für eine Berücksichtigung bei der Auswertung nicht. Eine Überprüfung der zu diesen Quellen vorliegenden Emissionsdaten ergab, dass diese Quellen auch aufgrund der geringen Emissionen bei der Berechnung des Emissionsfaktors der gesamten Prozessstufe vernachlässigbar sind.

In **Tabelle 6** sind die Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Kokerei" zusammengestellt. Bei der Auswertung der Emissionsfaktoren geführter Quellen werden, entsprechend der gewählten Kriterien für die Qualität der Datengrundlage, die Komponenten NO_x, CO, SO_x, H_2S, NH_3, BaP und Benzol, Staub, PM 10, Schwermetalle, C_{ges} (org) und Dioxine berücksichtigt. Die nicht berücksichtigten Schadstoffe werden für diese Quellen als nicht relevant eingestuft. Mit Ausnahme von NO_x werden für diese Schadstoffe auch Emissionsfaktoren für die ausgewählten diffusen Quellen angegeben. Bei den geführten Quellen beträgt der Anteil von PM 10 am Gesamtstaub 46 % und bei den diffusen Quellen 40 %. Für die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren geführter Quellen werden, in Abhängigkeit von der jeweiligen Komponente, Werte im Bereich zwischen 12 und 70 % angegeben.

Tabelle 4: Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Kokerei"

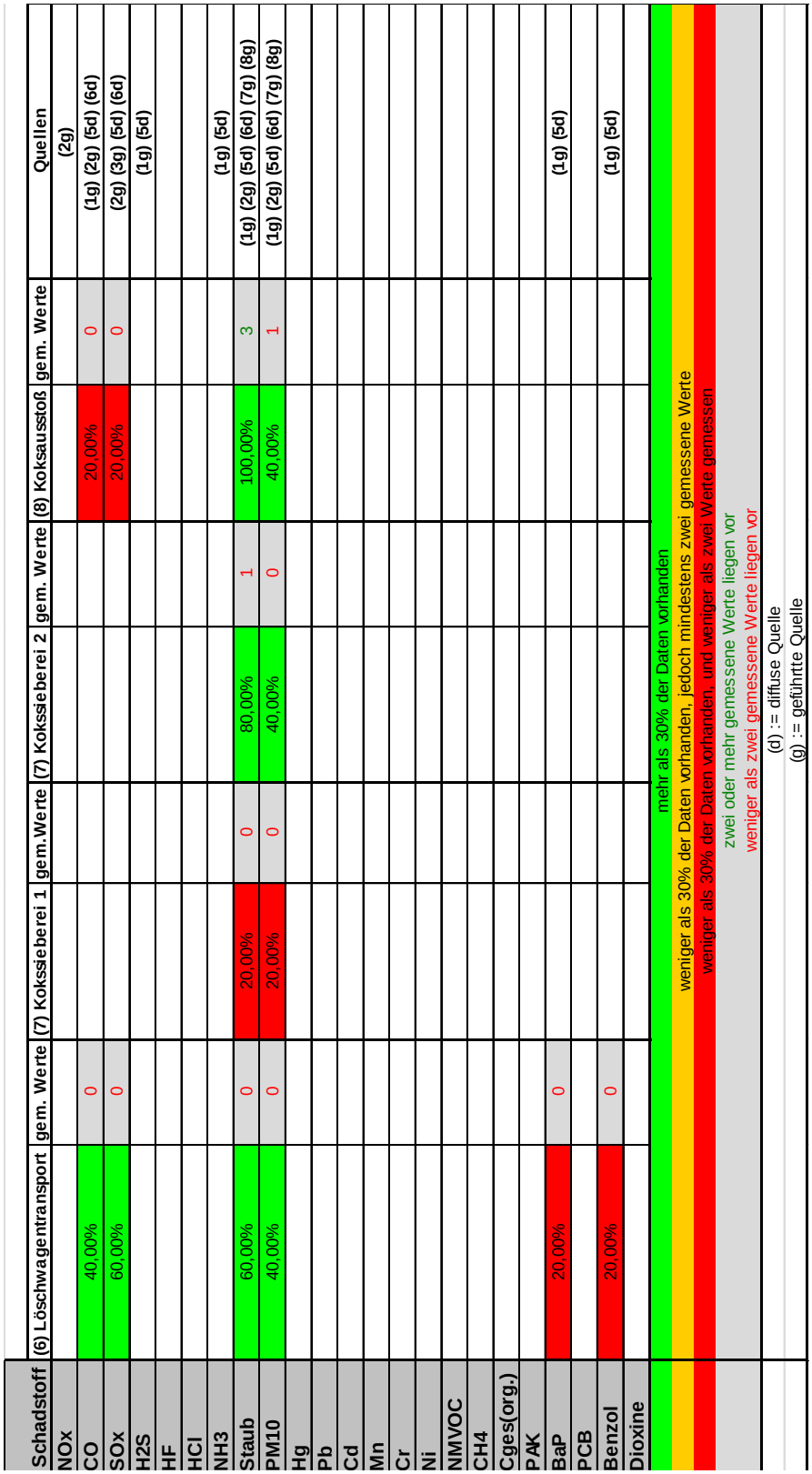


Schadstoff	Anzahl Anlagen: 5											
	(1) Löschturm	gem. Werte	(2) Unterfeuerung	gem. Werte	(3) Schwefelsäureanlage	gem. Werte	(4) Füllwagen	gem. Werte	(5) Batterie	gem. Werte
NOx			100,00%	5	20,00%	1			20,00%	0
CO	60,00%	1	80,00%	3					40,00%	0
SOx			100,00%	5	40,00%	2	20,00%	0	60,00%	0
H2S	60,00%	1							40,00%	0
HF										
HCl										
NH3	60,00%	1							40,00%	0
Staub	100,00%	4	100,00%	5	20,00%	0	20,00%	0	60,00%	0
PM10	60,00%	1	60,00%	1	20,00%	0			40,00%	0
Hg										
Pb										
Cd										
Mn										
Cr										
Ni										
NMVOC										
CH4										
Cges(org.)										
PAK									20,00%	0
BaP	40,00%	1					20,00%	0	60,00%	0
PCB										
Benzol	40,00%	1					20,00%	0	60,00%	0
Dioxine			20,00%	1						

mehr als 30% der Daten vorhanden
weniger als 30% der Daten vorhanden, jedoch mindestens zwei gemessene Werte
weniger als 30% der Daten vorhanden, und weniger als zwei Werte gemessen
zwei oder mehr gemessene Werte liegen vor
weniger als zwei gemessene Werte liegen vor

(d) := diffuse Quelle
(g) := geführte Quelle

Tabelle 5: Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Kokerei" (Forts.)



Schadstoff	(6) Löschwagentransport	gem. Werte	(7) Koksseberei 1	gem.Werte	(7) Koksseberei 2	gem. Werte	(8) Koksausstoß	gem. Werte	Quellen
									(2g)
NOx									
CO	40,00%	0					20,00%	0	(1g) (2g) (5d) (6d)
SOx	60,00%	0					20,00%	0	(2g) (3g) (5d) (6d)
H2S									(1g) (5d)
HF									
HCl									
NH3									(1g) (5d)
Staub	60,00%	0	20,00%	0	80,00%	1	100,00%	3	(1g) (2g) (5d) (6d) (7g) (8g)
PM10	40,00%	0	20,00%	0	40,00%	0	40,00%	1	(1g) (2g) (5d) (6d) (7g) (8g)
Hg									
Pb									
Cd									
Mn									
Cr									
Ni									
NMVOC									
CH4									
Cges(org.)									
PAK									
BaP	20,00%	0							(1g) (5d)
PCB									
Benzol	20,00%	0							(1g) (5d)
Dioxine									

mehr als 30% der Daten vorhanden
weniger als 30% der Daten vorhanden, jedoch mindestens zwei gemessene Werte
weniger als 30% der Daten vorhanden, und weniger als zwei Werte gemessen
zwei oder mehr gemessene Werte liegen vor
weniger als zwei gemessene Werte liegen vor
(d) := diffuse Quelle
(g) := geführte Quelle

Tabelle 6: Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Kokerei"

Schadstoff	Quellen	Emissionsfaktor geführter Quellen		Unsicherheit + / -		Emissionsfaktor diffuser Quellen	
NOx	(2g)	529,9E-03	kg/t	15	%		kg/t
CO	(1g) (2g) (5d) (6d)	828,2E-03	kg/t	12	%	15,1E-03	kg/t
SOx	(2g) (3g) (5d) (6d)	220,5E-03	kg/t	14	%	3,7E-03	kg/t
H2S	(1g) (5d)	40,1E-03	kg/t	20	%	64,4E-06	kg/t
HF			kg/t		%		kg/t
HCl			kg/t		%		kg/t
NH3	(1g) (5d)	1,9E-03	kg/t	31	%	243,3E-06	kg/t
Staub	(1g) (2g) (5d) (6d) (7g) (8g)	25,9E-03	kg/t	14	%	11,0E-03	kg/t
PM10	(1g) (2g) (5d) (6d) (7g) (8g)	12,1E-03	kg/t	27	%	4,3E-03	kg/t
Hg			kg/t		%		kg/t
Pb			kg/t		%		kg/t
Cd			kg/t		%		kg/t
Mn			kg/t		%		kg/t
Cr			kg/t		%		kg/t
Ni			kg/t		%		kg/t
NMVOC			kg/t		%		kg/t
CH4			kg/t		%		kg/t
Cges(org.)			kg/t		%		kg/t
PAK			kg/t		%		kg/t
BaP	(1g) (5d)	7,2E-09	kg/t	70	%	4,9E-06	kg/t
PCB			kg/t		%		kg/t
Benzol	(1g) (5d)	36,2E-06	kg/t	25	%	874,0E-06	kg/t
Dioxine			kg/t		%		kg/t
(d) := diffuse Quelle							
(g) := geführte Quelle							

3.2 Sinteranlagen

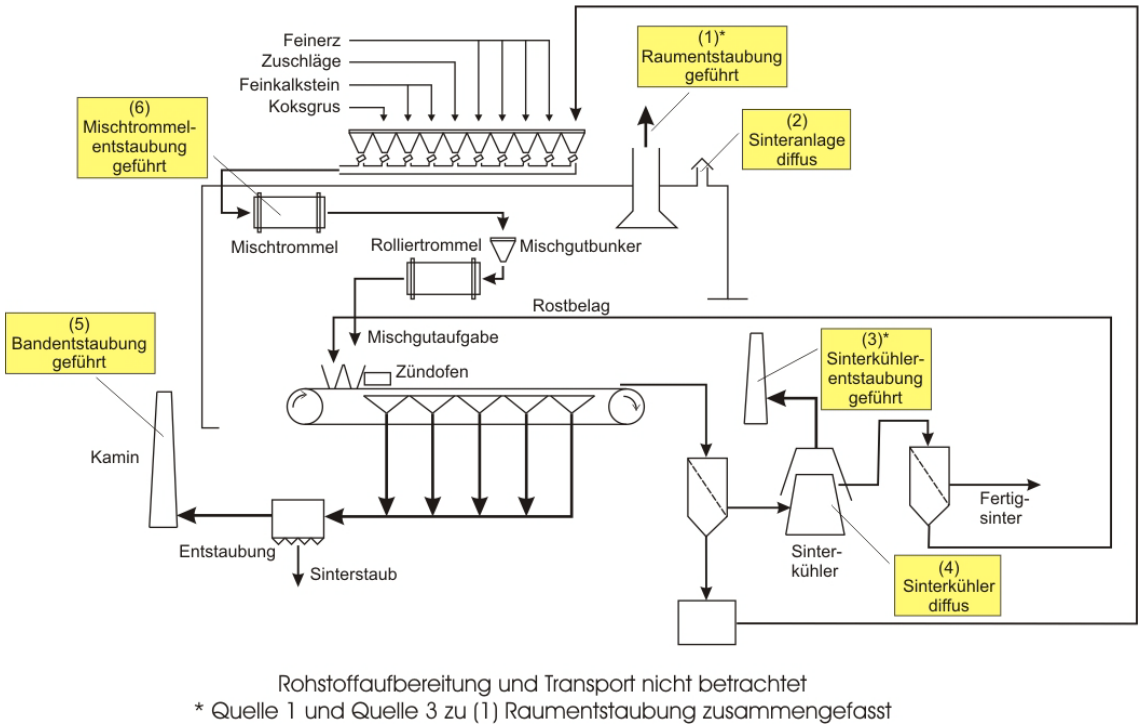
In den Sinteranlagen wird aus einer Mischung von Feinerz, anderen eisenhaltigen Roh- und Kreislaufstoffen, Koksgrus sowie und Zuschlägen, wie z.B. Kalkstein, Branntkalk und Dolomit, Fertigsinter für den Einsatz im Hochofenprozess hergestellt. Die Mischung wird hierzu auf ein umlaufendes Band gegeben, von oben mit einem gasbeheizten Zündofen gezündet und durch Anlegen eines Unterdrucks auf der Sinterbandunterseite mit Luft durchströmt. Während des Transportes auf dem Sinterband wandert die Brennfront von oben nach unten durch die Sintermischung, wobei in Folge partiellen Schmelzens ein Konglomerat entsteht. Durch grobes Brechen, Absieben und Kühlen wird daraus der Fertigsinter für den direkten Einsatz im Hochofenprozess hergestellt.

Ähnlich wie die Kokereien sind auch die Sinteranlagen der deutschen Hüttenwerke vom Prozessablauf nahezu identisch aufgebaut. Unterschiede gibt es bei den mechanischen Verfahren der Vorbereitung der Sintermischung, bei der Abgasführung am Sinterband sowie der Verwendung unterschiedlicher technischer Ausführungen an Sinterkühlern. Die Qualitätsanforderungen von Fertigsinter beziehen sich im Wesentlichen auf die chemische Zusammensetzung und den Kornaufbau. Diese unterliegen sehr engen Toleranzen, sodass in den Sinteranlagen der Unternehmen ein nahezu identisches Produkt hergestellt wird. Die Zusammensetzung der Emissionen kann in Abhängigkeit von der Qualität der eingesetzten Rohstoffe variieren.

3.2.1 Wesentliche Emissionsquellen des Sinterprozesses

Bild 2 zeigt den Quellenplan der Prozessstufe "Sinteranlage". Die wesentlichen geführten Quellen sind die Mischtrommelentstaubung (6), die Bandentstaubung (5), die Sinterkühlerentstaubung (3) und die Raumentstaubung (1). Bei den diffusen Emissionen wird zwischen den Emissionen von Sinteranlage (2) und den Emissionen aus dem Sinterkühler (4) unterschieden. Bei der Berechnung der Emissionsfaktoren wurden die Quellen (1) und (3) gemeinsam betrachtet, da diese beiden Quellen in einigen Unternehmen gemeinsam entstaubt werden.

Bei der Prozessstufe "Sinteranlage" wird, in Analogie zum Kokereiprozess, die Rohstoffaufbereitung und der Transport der Rohstoffe nicht betrachtet.



Rohstoffaufbereitung und Transport nicht betrachtet
* Quelle 1 und Quelle 3 zu (1) Raumentstaubung zusammengefasst

Bild 2: Quellenplan der Prozessstufe "Sinteranlage"

3.2.2 Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten für den Sinterprozess

In **Tabelle 7** ist zusammengestellt, welche Emissionsdaten der einzelnen Quellen der Prozessstufe "Sinteranlage" in die Berechnung der prozessbedingten Emissionsfaktoren eingehen. Die geführten Quellen Raumentstaubung und Sinterkühlerentstaubung sind unter Quelle (1), Raumentstaubung, zusammengefasst. Die umfangreichsten Emissionsdaten liegen erwartungsgemäß für die Quelle Sinterbandentstaubung vor. Für Quelle (2), Sinteranlagenhalle, sind die vorliegenden Emissionsdaten von unzureichender Qualität, sodass diese Quelle bei der Ermittlung des Emissionsfaktors diffuser Quellen nicht berücksichtigt wird.

In **Tabelle 8** werden für die Prozessstufe Sinteranlage Emissionsfaktoren geführter Quellen zu den Schadstoffen NO_x, CO, SO_x, HF, HCl, Staub, PM 10, Schwermetalle, C_{ges} (org) und Dioxinen aufgeführt. Die nicht berücksichtigten Schadstoffe werden für diese Quellen als nicht relevant eingestuft. Die Emissionen der bedeutendsten geführten Quelle (5), Bandentstaubung, gehen in die Berechnung der Emissionsfaktoren aller freigesetzten Schadstoffe ein. Diffuse Emissionen in Form von Staub beziehen sich, wie bereits erläutert, nur auf den Sinterkühler. Bei den geführten Quellen beträgt der Anteil von PM 10 am Gesamtstaub 78 % und bei den diffusen Quellen 35 %. Für die Emissionsfaktoren der geführten Quellen ergibt sich für anorganische Schadgaskomponenten eine maximale Unsicherheit von nur 20 %. Für die Emissionsfaktoren der Schwermetalle werden sehr hohe Unsicherheiten von über 400 % berechnet. Ursache hierfür ist die hohe Unsicherheit bei der Konzentrationsbestimmung von Schwermetallen nach DIN EN 14385 [15].

Tabelle 7: Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Sinteranlage"

Anzahl Anlagen: 8

Schadstoff	(1) Raumentstaubung	gem. Werte	(2) Sinteranlage	gem. Werte	(3) Sinterkühlerentstaubung	gem. Werte	(4) Sinterkühler	gem. Werte	(5) Bandentstaubung	gem. Werte	(6) Mischtrommelentstaubung	gem. Werte	Quellen
NOx									100,00%	7	8,33%	0	(5g)
CO									62,50%	4			(5g)
SOx									100,00%	7			(5g)
H2S													
HF									75,00%	6			(5g)
HCl									100,00%	8			(5g)
NH3													
Staub	100,00%	8	25,00%	0			62,50%	4	100,00%	8	62,50%	4	(1g) (4d) (5g) (6g)
PM10	62,50%	1	25,00%	0			37,50%	1	62,50%	1	37,50%	1	(1g) (4d) (5g) (6g)
Hg	20,83%	1	12,50%	0			12,50%	1	37,50%	3	12,50%	1	(5g)
Pb	37,50%	3	12,50%	0			12,50%	1	50,00%	4	37,50%	3	(1g) (5g) (6g)
Cd	25,00%	2	12,50%	0			12,50%	1	37,50%	3	37,50%	3	(1g) (5g) (6g)
Mn	25,00%	2	12,50%	0			12,50%	1	37,50%	3	12,50%	1	(1g) (5g)
Cr	33,33%	2	12,50%	0			12,50%	1	37,50%	3	37,50%	3	(1g) (5g) (6g)
Ni	37,50%	3	12,50%	0			12,50%	1	37,50%	3	37,50%	3	(1g) (5g) (6g)
NMVOC									12,50%	1			
CH4									12,50%	1			
Cges(org.)									37,50%	2			(5g)
PAK													
BaP													
PCB													
Benzol													
Dioxine									100,00%	7			(5g)

mehr als 30% der Daten vorhanden
weniger als 30% der Daten vorhanden, jedoch mindestens zwei gemessene Werte
weniger als 30% der Daten vorhanden, und weniger als zwei Werte gemessen
zwei oder mehr gemessene Werte liegen vor
weniger als zwei gemessene Werte liegen vor

(d) := diffuse Quelle
(g) := geführte Quelle

Tabelle 8: Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Sinteranlage"

Schadstoff	Quellen	Emissionsfaktor geführter Quellen		Unsicherheit + / -		Emissionsfaktor diffuser Quellen	
NOx	(5g)	401,3E-03	kg/t	8	%		kg/t
CO	(5g)	14,4E+00	kg/t	8	%		kg/t
SOx	(5g)	690,5E-03	kg/t	8	%		kg/t
H2S			kg/t		%		kg/t
HF	(5g)	1,5E-03	kg/t	15	%		kg/t
HCl	(5g)	11,1E-03	kg/t	20	%		kg/t
NH3			kg/t		%		kg/t
Staub	(1g) (4d) (5g) (6g)	95,5E-03	kg/t	11	%	45,7E-03	kg/t
PM10	(1g) (4d) (5g) (6g)	74,6E-03	kg/t	16	%	15,9E-03	kg/t
Hg	(5g)	5,2E-06	kg/t	31	%		kg/t
Pb	(1g) (5g) (6g)	1,7E-03	kg/t	113	%		kg/t
Cd	(1g) (5g) (6g)	17,2E-06	kg/t	167	%		kg/t
Mn	(1g) (5g)	163,6E-06	kg/t	158	%		kg/t
Cr	(1g) (5g) (6g)	19,9E-06	kg/t	437	%		kg/t
Ni	(1g) (5g) (6g)	15,3E-06	kg/t	371	%		kg/t
NMVOC			kg/t		%		kg/t
CH4			kg/t		%		kg/t
Cges(org.)	(5g)	70,4E-03	kg/t	25	%		kg/t
PAK			kg/t		%		kg/t
BaP			kg/t		%		kg/t
PCB			kg/t		%		kg/t
Benzol			kg/t		%		kg/t
Dioxine	(5g)	868,2E-12	kg/t	38	%		kg/t
(d) := diffuse Quelle							
(g) := geführte Quelle							

3.3 Hochöfen

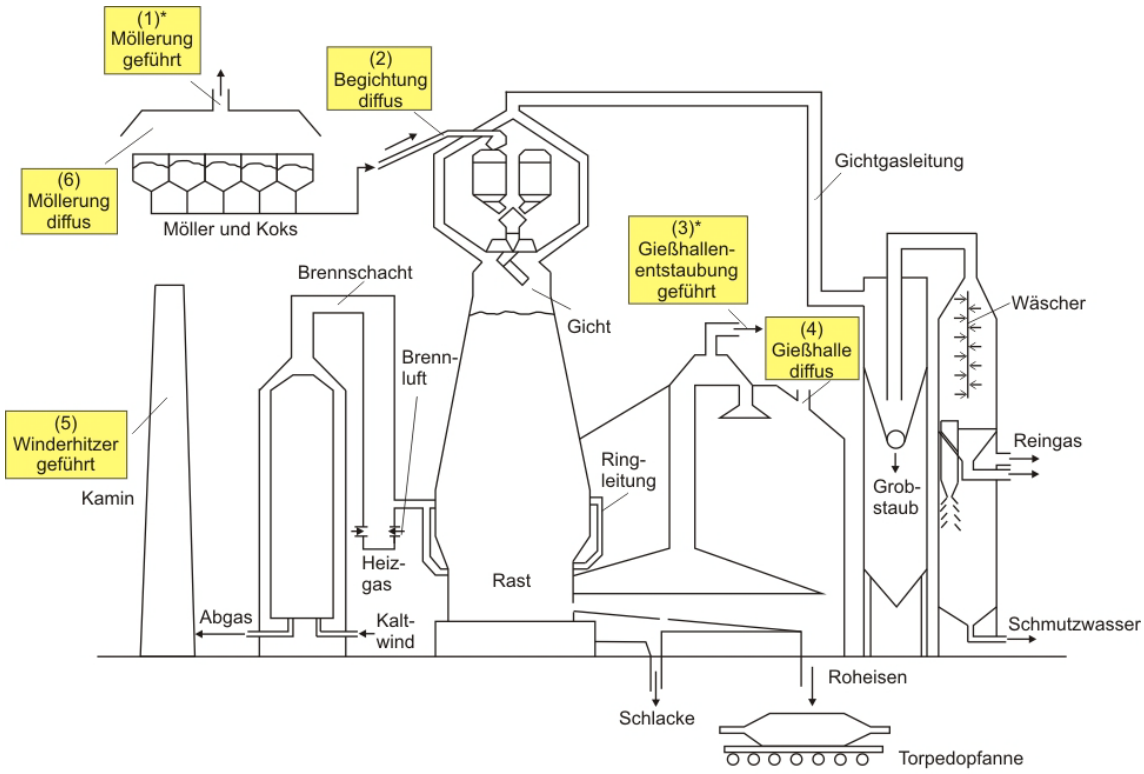
Im Hochofen werden die im Sinter bzw. in den Eisenerzen enthaltenen Oxide reduziert sowie unerwünschte Begleitelemente aus dem Roheisen in die Schlacke abgetrennt. Die erforderliche Energie für den Reduktions- und Schmelzprozess wird durch Koks sowie weiterer Reduktionsmittel wie Kohle, Öl oder Gas bereitgestellt. Das erzeugte Produkt ist flüssiges Roheisen, das in den Oxygenstahlwerken entkohlt und zu Flüssigstahl weiter verarbeitet wird. Als Nebenprodukt wird Gichtgas erzeugt, das nach zweistufiger Entstaubung zur Beheizung der Winderhitzer und zur Stromerzeugung im Kraftwerk genutzt wird. Die Hochofenschlacke wird nach der Aufbereitung als Zuschlagsstoff in der Zementindustrie oder als Stückschlacke im Straßenbau verwendet.

Die Emissionen der Hochofenwerke sind abhängig von der eingesetzten Anlagentechnik und deren Betriebsweise sowie von der Qualität der eingesetzten Rohstoffe.

3.3.1 Wesentliche Emissionsquellen des Hochofenprozesses

Die bei der Berechnung der Emissionsfaktoren berücksichtigten Quellen der Prozessstufe "Hochofen" sind in **Bild 3** dargestellt. Die wesentlichen geführten Quellen der Prozessstufe "Hochofen" sind die Winderhitzer (5), die Gießhallenentstaubung (3) und die Möllerung (1). Bei der Berechnung der Emissionsfaktoren wurden die Quellen Gießhallenentstaubung (3) und Möllerung (1) zusammengefasst. Diese Quellen werden von einzelnen Unternehmen gemeinsam geführt, sodass eine getrennte Bewertung der Emissionen bei der Berechnung der Emissionsfaktoren nicht möglich ist. Bei der Ermittlung der diffusen Emissionen werden die Quellen Gießhalle (4), Möllerung (6) und Begichtung (2) als relevant eingestuft.

Emissionen, die die Schlackenwirtschaft betreffen, werden nicht in die Betrachtungen mit einbezogen.



Schlackenwirtschaft wird nicht betrachtet
*Quelle 1 und Quelle 3 zu (3) Gießhallenentstaubung zusammengefasst

Bild 3: Quellenplan der Prozessstufe "Hochofen"

3.3.2 Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten für den Hochofenprozess

Welche Emissionsdaten der einzelnen Quellen der Prozessstufe "Hochofen" in die Berechnung der prozessbedingten Emissionsfaktoren eingehen ist in **Tabelle 9** zusammengestellt. Die geführten Quellen Möllerung (1) und Gießhallenentstaubung (3) sind unter Quelle (3), Gießhallenentstaubung, zusammengefasst. Die Datenverfügbarkeit zu anorganischen Schadgaskomponenten und Schwermetallen ist im Vergleich zu den organischen Schadgaskomponenten sehr umfangreich. Sehr umfangreiche Daten liegen für Staub und PM 10 zu allen betrachteten Quellen vor.

In **Tabelle 10** sind die Emissionsfaktoren der Prozessstufe Hochofen zusammengestellt. Es liegen Emissionsfaktoren für die geführten Quellen für alle anorganischen Schadgaskomponenten mit Ausnahme von NH3, für Staub und PM 10, sowie für alle Schwermetalle und die organischen Komponenten BaP und Dioxin vor. Bei den diffusen Quellen werden neben Staub und PM 10 sowie anorganischen Schadgaskomponenten auch Angaben zu Emissionen von Schwermetallen gemacht.

Bei den geführten Quellen beträgt der Anteil von PM 10 am Gesamtstaub 69 % und bei den diffusen Quellen 44 %. Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren geführter Quellen liegen in dem gleichen Größenbereich wie bei der Prozessstufe "Sinteranlage".

Tabelle 9: Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Hochofen"

Anzahl Anlagen: 15

Schadstoff	(1) Möllerung 1	gem. Werte	(2) Begichtung	gem. Werte	(3) Gießhallenentstaubung	gem. Werte	(4) Gießhalle	gem. Werte	(5) Winderhitzer	gem. Werte	(6) Möllerung 2	gem. Werte	Quellen
NOx			13,33%	2			6,67%	0	100,00%	11			(2d) (5g)
CO			60,00%	3	33,33%	0	26,67%	0	86,67%	9			(2d) (3g) (5g)
SOx			20,00%	2	66,67%	7	33,33%	0	93,33%	11			(2d) (3g) (4d) (5g)
H2S			13,33%	2	13,33%	2			20,00%	3			(2d) (3g) (5g)
HF					20,00%	3			26,67%	4			(3g) (5g)
HCl									13,33%	2			(5g)
NH3													
Staub			60,00%	0	100,00%	15	60,00%	2	100,00%	10	46,67%	0	(2d) (3g) (4d) (5g) (6d)
PM10			46,67%	0	66,67%	4	60,00%	2	66,67%	0	46,67%	0	(2d) (3g) (4d) (5g) (6d)
Hg			13,33%	2	26,67%	4					13,33%	0	(2d) (3g)
Pb			46,67%	2	66,67%	10	33,33%	2	20,00%	3	33,33%	0	(2d) (3g) (4d) (5g) (6d)
Cd			20,00%	2	53,33%	8	26,67%	2	20,00%	3	20,00%	0	(2d) (3g) (4d) (5g)
Mn			33,33%	1	60,00%	9	26,67%	2	13,33%	2	26,67%	0	(2d) (3g) (4d) (5g)
Cr			33,33%	2	40,00%	6	26,67%	2			26,67%	0	(2d) (3g) (4d)
Ni			46,67%	2	40,00%	6	26,67%	2	6,67%	1	33,33%	0	(2d) (3g) (4d) (6d)
NMVOC													
CH4													
Cges(org.)									6,67%	1			
PAK													
BaP					13,33%	2			6,67%	0			(3g)
PCB													
Benzol													
Dioxine					6,67%	1			53,33%	4			(5g)

mehr als 30% der Daten vorhanden
weniger als 30% der Daten vorhanden, jedoch mindestens zwei gemessene Werte
weniger als 30% der Daten vorhanden, und weniger als zwei Werte gemessen
zwei oder mehr gemessene Werte liegen vor
weniger als zwei gemessene Werte liegen vor

(d) := diffuse Quelle
(g) := geführte Quelle

Tabelle 10: Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Hochofen"

Schadstoff	Quellen	Emissionsfaktor geführter Quellen		Unsicherheit + / -		Emissionsfaktor diffuser Quellen	
NOx	(2d) (5g)	51,7E-03	kg/t	16	%	826,3E-09	kg/t
CO	(2d) (3g) (5g)	491,1E-03	kg/t	9	%	398,0E-03	kg/t
SOx	(2d) (3g) (4d) (5g)	241,8E-03	kg/t	19	%	40,1E-03	kg/t
H2S	(2d) (3g) (5g)	2,4E-03	kg/t	20	%	38,3E-06	kg/t
HF	(3g) (5g)	457,7E-06	kg/t	31	%		kg/t
HCl	(5g)	1,4E-03	kg/t	31	%		kg/t
NH3			kg/t		%		kg/t
Staub	(2d) (3g) (4d) (5g) (6d)	8,3E-03	kg/t	11	%	16,4E-03	kg/t
PM10	(2d) (3g) (4d) (5g) (6d)	5,7E-03	kg/t	25	%	7,2E-03	kg/t
Hg	(2d) (3g)	3,3E-09	kg/t	31	%	4,8E-09	kg/t
Pb	(2d) (3g) (4d) (5g) (6d)	21,5E-06	kg/t	113	%	10,5E-06	kg/t
Cd	(2d) (3g) (4d) (5g)	3,6E-06	kg/t	167	%	202,7E-09	kg/t
Mn	(2d) (3g) (4d) (5g)	17,2E-06	kg/t	158	%	54,0E-06	kg/t
Cr	(2d) (3g) (4d)	999,6E-09	kg/t	437	%	7,9E-06	kg/t
Ni	(2d) (3g) (4d) (6d)	760,4E-09	kg/t	371	%	8,2E-06	kg/t
NMVOC			kg/t		%		kg/t
CH4			kg/t		%		kg/t
Cges(org.)			kg/t		%		kg/t
PAK			kg/t		%		kg/t
BaP	(3g)	49,9E-09	kg/t	70	%		kg/t
PCB			kg/t		%		kg/t
Benzol			kg/t		%		kg/t
Dioxine	(5g)	3,8E-12	kg/t	38	%		kg/t
(d) := diffuse Quelle							
(g) := geführte Quelle							

3.4 Stahlwerke

3.4.1 Oxygenstahlwerke

Das Roheisen aus dem Hochofenprozess wird im Oxygenstahlwerk zunächst zur Entfernung unerwünschter Begleitelemente vorbehandelt. Wesentlicher Verfahrensschritt ist hierbei die Roheisenentschwefelung, bei der unerwünschter Schwefel in die Entschwefelungsschlacke eingebunden wird. Im Konverter wird das vorbehandelte Roheisen unter Zugabe von Kühlschrott und Zuschlägen durch Einblasen von Sauerstoff entkohlt und zu Rohstahl weiterverarbeitet. Das im Konverterprozess erzeugte CO-haltige Konvertergas wird zur energetischen Nutzung in das Gasverbundnetz der Hüttenwerke eingespeist. Bei Anlagen, die über keinen Gasspeicher verfügen, wird das Konvertergas im Kessel oberhalb des Konvertergefäßes vollständig verbrannt und somit ebenfalls energetisch genutzt. Im Konverter erzeugter Rohstahl wird im Bereich der Sekundärmetallurgie, in Abhängigkeit von den gewünschten Produkteigenschaften, weiter veredelt. Hierzu werden Pfannenöfen und unterschiedliche Verfahren der Vakuumbehandlung des Rohstahls eingesetzt. Der in der Sekundärmetallurgie auf die gewünschten Qualitätsanforderungen eingestellte Flüssigstahl wird meist in der Stranggießanlage kontinuierlich zu Brammen, Knüppeln und Profilvorformen gegossen.

3.4.1.1 Wesentliche Emissionsquellen der Oxygenstahlwerke

Bild 4 zeigt den Quellenplan der Prozessstufe "Oxygenstahlwerk". Die wesentlichen geführten Quellen sind die Primärentstaubung (1) und Sekundärentstaubung (3) des Konverters. Die Quelle (3), Sekundärentstaubung, umfasst zusätzlich Emissionen aus der Roheisenentschwefelung, der Sekundärmetallurgie und der Stranggießanlage. Die diffusen Emissionen aus dem Oxygenstahlwerk werden alle gemeinsam betrachtet. Es handelt sich hierbei um Emissionen aus der Konverter-, Mischer- und Stranggießhalle. Eine detailliertere Betrachtung einzelner Quellen ist aufgrund der sehr unterschiedlichen Abgasführung in den Unternehmen nicht möglich.

Emissionen aus der Schlackenwirtschaft werden nicht in die Betrachtungen mit einbezogen.

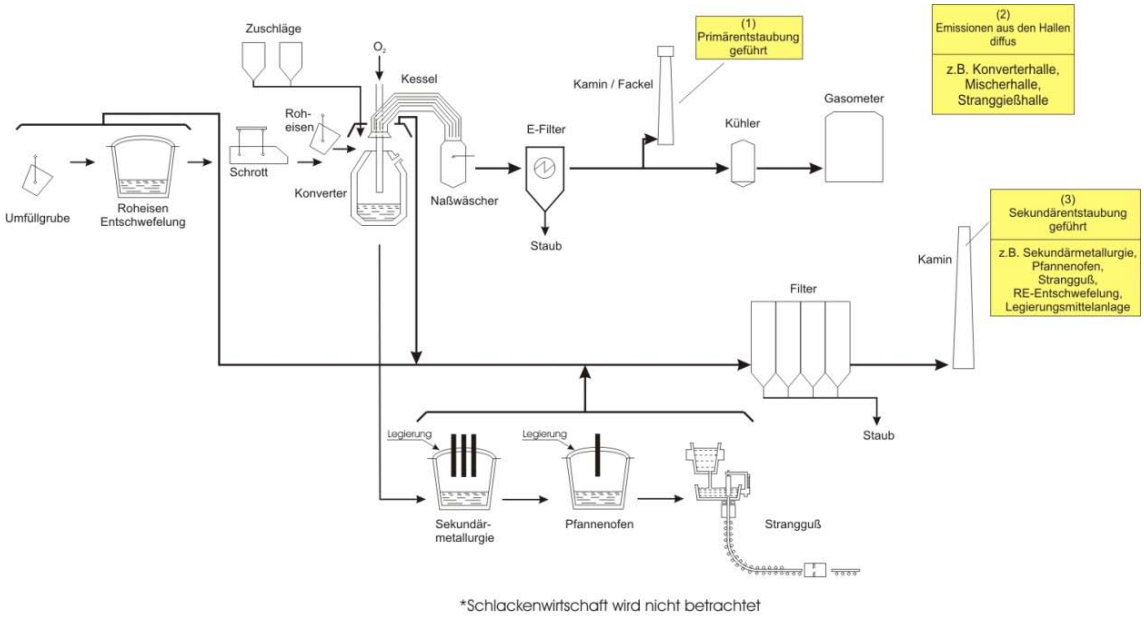


Bild 4: Quellenplan der Prozessstufe "Oxygenstahlwerk"

3.4.1.2 Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten für Oxygenstahlwerke

In **Tabelle 11** ist zusammengestellt, welche Emissionsdaten der einzelnen Quellen der Prozessstufe "Oxygenstahlwerk" in die Berechnung der prozessbedingten Emissionsfaktoren eingehen. Es liegen insbesondere für die Schadstoffe Staub, PM 10 und Schwermetalle sehr umfangreiche Emissionsdaten aus Messungen vor. Dies betrifft sowohl die geführten Quellen der Primärenstaubung (1) und Sekundärentstaubung (3), als auch die diffusen Emissionen aus den Hallenbereichen.

In **Tabelle 12** werden für die Prozessstufe "Oxygenstahlwerk" Emissionsfaktoren geführter Quellen zu den Schadstoffen CO, HF, Staub, PM 10, Dioxin und die betrachteten Schwermetalle, mit Ausnahme von Hg, aufgeführt. Die Emissionen der Quelle (1), Primärentstaubung, gehen mit Ausnahme der Dioxine in die Berechnung der Emissionsfaktoren aller freigesetzten Schadstoffe ein. Emissionsfaktoren diffuser Quellen werden für die Schadstoffen NO_x, SO_x, Staub, PM 10 und die betrachteten Schwermetalle mit Ausnahme von Hg und Cd angegeben. Bei den geführten Quellen beträgt der Anteil von PM 10 am Gesamtstaub 85 % und bei den diffusen Quellen 38 %. Die Unsicherheiten der Emissionsfaktoren geführter Quellen liegen in gleichem Größenbereich wie bei den zuvor betrachteten Prozessstufen. Die nicht berücksichtigten Schadstoffe werden für diese Quellen als nicht relevant eingestuft.

Tabelle 11: Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Oxygenstahlwerk"

	Anzahl Anlagen:	9					
Schadstoff	**(1) Primärentstaubung**	**gem. Werte**	**(2) Hallen**	**gem. Werte**	**(3) Sekundärentstaubung**	**gem. Werte**	**Quellen**
NOx	22,22%	0	44,44%	1			**(2d)**
CO	66,67%	2	11,11%	0			**(1g)**
SOx	11,11%	0	33,33%	1	11,11%	0	**(2d)**
H2S							
HF	33,33%	3	11,11%	0	22,22%	1	**(1g)**
HCl							
NH3							
Staub	100,00%	7	88,89%	2	88,89%	8	**(1g) (2d) (3g)**
PM10	77,78%	0	77,78%	1	66,67%	2	**(1g) (2d) (3g)**
Hg	11,11%	1					
Pb	77,78%	5	44,44%	1	66,67%	6	**(1g) (2d) (3g)**
Cd	22,22%	2			22,22%	2	**(1g) (3g)**
Mn	88,89%	6	55,56%	1	66,67%	6	**(1g) (2d) (3g)**
Cr	55,56%	3	44,44%	1	55,56%	5	**(1g) (2d) (3g)**
Ni	33,33%	3	44,44%	1	44,44%	4	**(1g) (2d) (3g)**
NMVOC							
CH4							
Cges(org.)							
PAK							
BaP							
PCB							
Benzol							
Dioxine					33,33%	2	**(3g)**

mehr als 30% der Daten vorhanden

weniger als 30% der Daten vorhanden, jedoch mindestens zwei gemessene Werte

weniger als 30% der Daten vorhanden, und weniger als zwei Werte gemessen

zwei oder mehr gemessene Werte liegen vor

weniger als zwei gemessene Werte liegen vor

(d) := diffuse Quelle

(g) := geführte Quelle

Tabelle 12: Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Oxygenstahlwerk"

Schadstoff	Quellen	Emissionsfaktor geführter Quellen		Unsicherheit + / -		Emissionsfaktor diffuser Quellen	
NOx	(2d)		kg/t		%	3,7E-03	kg/t
CO	(1g)	10,4E+00	kg/t	8	%		kg/t
SOx	(2d)		kg/t		%	1,2E-03	kg/t
H2S			kg/t		%		kg/t
HF	(1g)	39,5E-06	kg/t	31	%		kg/t
HCl			kg/t		%		kg/t
NH3			kg/t		%		kg/t
Staub	(1g) (2d) (3g)	23,6E-03	kg/t	19	%	48,8E-03	kg/t
PM10	(1g) (2d) (3g)	20,0E-03	kg/t	27	%	18,6E-03	kg/t
Hg			kg/t		%		kg/t
Pb	(1g) (2d) (3g)	188,7E-06	kg/t	113	%	277,7E-06	kg/t
Cd	(1g) (3g)	15,5E-06	kg/t	167	%		kg/t
Mn	(1g) (2d) (3g)	163,7E-06	kg/t	158	%	1,2E-03	kg/t
Cr	(1g) (2d) (3g)	27,5E-06	kg/t	437	%	68,6E-06	kg/t
Ni	(1g) (2d) (3g)	6,4E-06	kg/t	371	%	4,4E-06	kg/t
NMVOC			kg/t		%		kg/t
CH4			kg/t		%		kg/t
Cges(org.)			kg/t		%		kg/t
PAK			kg/t		%		kg/t
BaP			kg/t		%		kg/t
PCB			kg/t		%		kg/t
Benzol			kg/t		%		kg/t
Dioxine	(3g)	69,5E-12	kg/t	38	%		kg/t
(d) := diffuse Quelle							
(g) := geführte Quelle							

3.4.2 Elektrostahlwerke

In den Elektrolichtbogenöfen der Elektrostahlwerke wird Stahlschrott mittels elektrischer Energie zu Rohstahl aufgeschmolzen. Zuschläge, z.B. Kalk, Kohlenstoff und Legierungsmittel, dienen der Einstellung der gewünschten Stahlsorte. Nachdem der Stahlschrott aufgeschmolzen ist wird Sauerstoff zur Reduzierung des Kohlenstoffgehalts in die Schmelze eingeblasen. Hierbei werden auch unerwünschte Begleitelemente oxidiert und in die Schlacke eingebunden. Nach dem Abstich des Rohstahls aus dem Elektroofen folgt die Nachbehandlung in der Sekundärmetallurgie. Es handelt sich hierbei im Wesentlichen um Nachbehandlungsstufen, wie sie auch im Oxygenstahlwerk Anwendung finden. Die erforderlichen Stufen der Sekundärmetallurgie und die Betriebsweise richten sich nach der zu produzierenden Stahlsorte, die von Massenstahlgüten bis hin zu Spezialstählen reicht. Der in der Sekundärmetallurgie auf die gewünschten Qualitätsanforderungen eingestellte Flüssigstahl wird in der Stranggießanlage kontinuierlich zu Brammen, Knüppeln und Profilvorformen vergossen.

Der Einfluss der Elektrostahlproduktion auf die Umwelt ist im Wesentlichen von der erzeugten Stahlsorte abhängig, die den Einsatz unterschiedlicher Einsatzstoffe sowie die Anwendung unterschiedlicher Nachbehandlungsprozesse erfordert.

3.4.2.1 Wesentliche Emissionsquellen der Elektrostahlwerke

Bild 5 zeigt den Quellenplan der Prozessstufe "Elektrostahlwerk". Die wesentlichen geführten Quellen sind die Primärentstaubung (1) und Sekundärentstaubung (2) des Elektroofens. Eine getrennte Betrachtung dieser beiden Quellen ist aufgrund der sehr unterschiedlichen Abgasführung in den Unternehmen nicht möglich. Bei der Berechnung der Emissionsfaktoren wurden daher diese beiden Quellen zu einer einzigen Quelle (2) zusammengefasst. Die Sekundärentstaubung (4) umfasst Emissionen aus der Sekundärmetallurgie und der Stranggießanlage. Die diffusen Emissionen aus den Hallen des Elektrostahlwerks werden in Quelle (3) zusammengefasst. Im Einzelnen betrifft dies insbesondere die diffusen Emissionen aus der Elektroofenhalle und der Stranggießhalle.

Emissionen aus der Schlackenwirtschaft werden nicht in die Betrachtungen mit einbezogen.

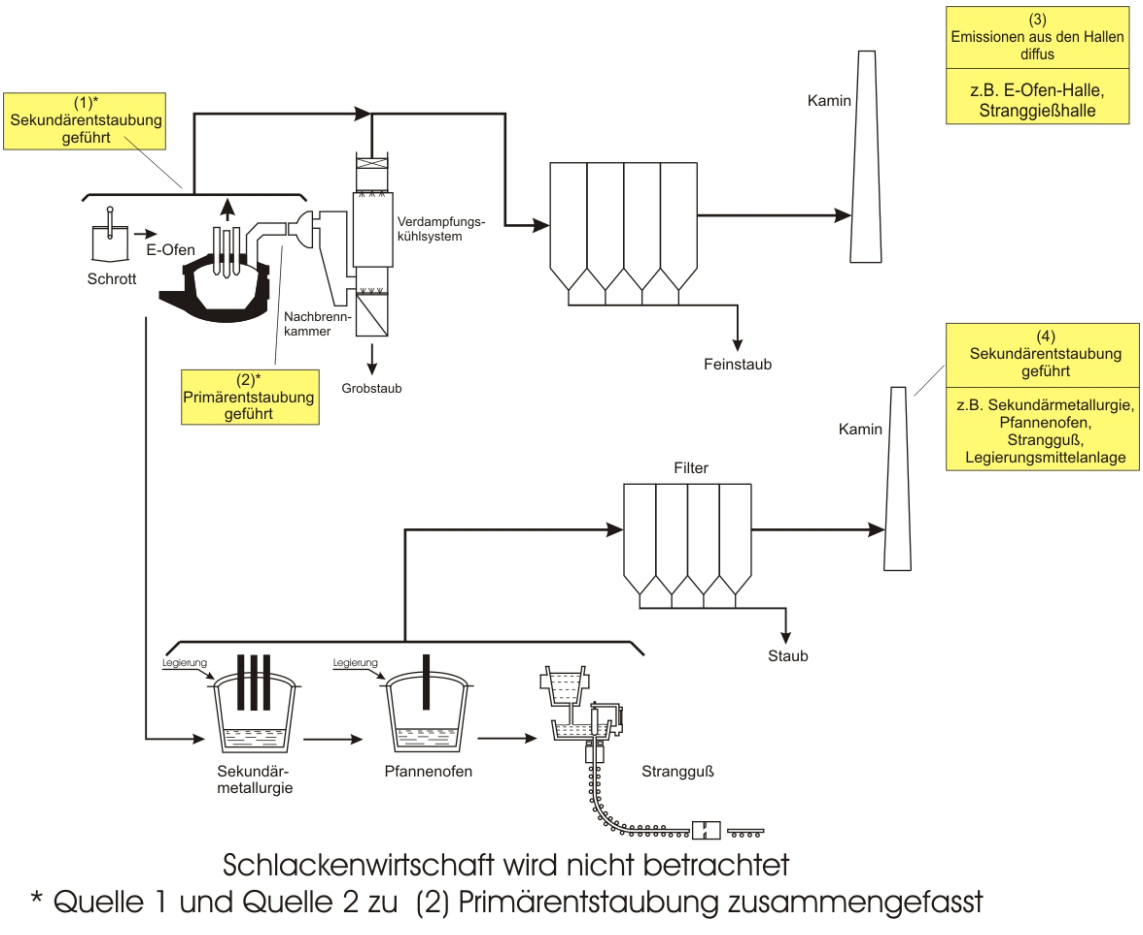


Bild 5: Quellenplan der Prozessstufe "Elektrostahlwerk"

3.4.2.2 Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten für Elektrostahlwerke

In **Tabelle 13** ist zusammengestellt, welche Emissionsdaten der einzelnen Quellen der Prozessstufe "Elektrostahlwerk" in die Berechnung der prozessbedingten Emissionsfaktoren eingehen. Für die Emissionen der Sekundär- und Primarentstaubung, die unter Quelle (2) gemeinsam betrachtet werden, liegen sehr umfangreiche Angaben zu Emissionen einzelner Schadstoffe aus Messungen vor. Zu den diffusen Emissionen aus den Hallen liegen dagegen nur im Einzelfall Emissionsdaten aus Messungen vor. Die Angaben zu den geführten Emissionen der Sekundärentstaubung von Quelle (4) betreffen die Komponenten Staub sowie die Schwermetalle Mn, Cr und Ni.

In **Tabelle 14** sind die Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Elektrostahlwerk" zusammengestellt. Emissionen aus der Primär- und Sekundärentstaubung des Elektroofens gehen in die Berechnung aller ermittelten Emissionsfaktoren für geführte Quellen ein. Die Quelle (4), Sekundärentstaubung, liefert einen Beitrag zur Berechnung der Emissionsfaktoren für die Komponenten Staub, Mn, Cr und Ni. Emissionsfaktoren diffuser Emissionen werden für die Komponenten NO_x, CO, SO_x, Staub, PM 10, Pb, Mn, Cr und Ni angegeben. Diese Komponenten werden aus der Elektroofenhalle und der Stranggießhalle emittiert. Bei den geführten Quellen beträgt der Anteil von PM 10 am Gesamtstaub 71 % und bei den diffusen Quellen 17 %. Die größten Unsicherheiten ergeben sich wiederum für die Emissionsfaktoren der Schwermetalle. PCB Emissionen werden als nicht relevant eingestuft.

Der Emissionsfaktor für CO_2 aus Elektrodenabbrand wurde über den Elektrodenverbrauch in den einzelnen Unternehmen hochgerechnet. Hierbei wurde, entsprechend der Zuteilungsverordnung 2012 [19], ein Kohlenstoffgehalt in den Elektroden von 98 % zugrunde gelegt. Da der Elektrodenverbrauch mit sehr hoher Genauigkeit vorliegt, und die Berechnung des Emissionsfaktors auf der stöchiometrischen Umsetzung von Elektrodenkohlenstoff zu CO_2 basiert, ist von einer sehr geringen Unsicherheit dieses Wertes auszugehen. In Anlehnung an die Bewertung der Unsicherheiten von Produktionsmengen wird auch hier eine Unsicherheit von 3% angesetzt.

Tabelle 13: Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Elektrostahlwerk"

Schadstoff	(1) Sekundärentstaubung	gem. Werte	(2) Primärentstaubung	gem. Werte	(3) Hallen	gem. Werte	(4) Sekundärentstaubung	gem. Werte	Quellen
Anzahl Anlagen:			9						
NOx			77,78%	4	44,44%	0	11,11%	0	(2g) (3d)
CO			66,67%	2	44,44%	0	11,11%	0	(2g) (3d)
SOx			66,67%	4	55,56%	0	11,11%	0	(2g) (3d)
H2S									
HF			88,89%	8	22,22%	1	11,11%	1	(2g)
HCl			33,33%	3	22,22%	0			(2g)
NH3									
Staub			100,00%	9	77,78%	1	44,44%	3	(2g) (3d) (4g)
PM10			66,67%	2	44,44%	0	11,11%	1	(2g) (3d)
Hg			44,44%	4					(2g)
Pb			77,78%	7	44,44%	1	22,22%	1	(2g) (3d)
Cd			55,56%	5	11,11%	1	22,22%	1	(2g)
Mn			88,89%	8	55,56%	1	33,33%	2	(2g) (3d) (4g)
Cr			100,00%	9	77,78%	1	33,33%	2	(2g) (3d) (4g)
Ni			88,89%	8	55,56%	1	33,33%	2	(2g) (3d) (4g)
NMVOC			33,33%	2	22,22%	0	11,11%	0	(2g)
CH4			11,11%	1	22,22%	0			
Cges(org.)			22,22%	2	11,11%	0			(2g)
PAK			33,33%	3					(2g)
BaP			22,22%	2					(2g)
PCB									
Benzol			33,33%	3					(2g)
Dioxine			88,89%	8					(2g)

mehr als 30% der Daten vorhanden
weniger als 30% der Daten vorhanden, jedoch mindestens zwei gemessene Werte
weniger als 30% der Daten vorhanden, und weniger als zwei Werte gemessen
zwei oder mehr gemessene Werte liegen vor
weniger als zwei gemessene Werte liegen vor

(d) := diffuse Quelle
(g) := geführte Quelle

Tabelle 14: Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Elektrostahlwerk"

Schadstoff	Quellen	Emissionsfaktor geführter Quellen		Unsicherheit + / -		Emissionsfaktor diffuser Quellen	
NOx	(2g) (3d)	97,9E-03	kg/t	20	%	13,8E-03	kg/t
CO	(2g) (3d)	366,2E-03	kg/t	14	%	1,2E-03	kg/t
SOx	(2g) (3d)	112,9E-03	kg/t	20	%	3,6E-03	kg/t
H2S			kg/t		%		kg/t
HF	(2g)	1,1E-03	kg/t	31	%		kg/t
HCl	(2g)	18,0E-03	kg/t	31	%		kg/t
NH3			kg/t		%		kg/t
Staub	(2g) (3d) (4g)	18,4E-03	kg/t	16	%	43,0E-03	kg/t
PM10	(2g) (3d)	13,0E-03	kg/t	10	%	7,1E-03	kg/t
Hg	(2g)	70,1E-06	kg/t	31	%		kg/t
Pb	(2g) (3d)	168,9E-06	kg/t	113	%	55,6E-06	kg/t
Cd	(2g)	16,1E-06	kg/t	167	%		kg/t
Mn	(2g) (3d) (4g)	192,7E-06	kg/t	158	%	387,3E-06	kg/t
Cr	(2g) (3d) (4g)	322,9E-06	kg/t	437	%	850,8E-06	kg/t
Ni	(2g) (3d) (4g)	123,9E-06	kg/t	371	%	283,8E-06	kg/t
NMVOC	(2g)	5,5E-03	kg/t	25	%		kg/t
CH4			kg/t		%		kg/t
Cges(org.)	(2g)	38,2E-03	kg/t	25	%		kg/t
PAK	(2g)	3,8E-06	kg/t	70	%		kg/t
BaP	(2g)	270,6E-09	kg/t	70	%		kg/t
PCB			kg/t		%		kg/t
Benzol	(2g)	4,1E-03	kg/t	25	%		kg/t
Dioxine	(2g)	158,0E-12	kg/t	38	%		kg/t
(d) := diffuse Quelle							
(g) := geführte Quelle							
CO2 aus Elektroden-abbrand	2(g)	7,4E+00	kg/t	3	%		kg/t

3.5 Walzwerke

Mittels Warmumformung werden die Brammen, Knüppel und Profilvorformen aus den Strang-gießanlagen der Oxygen- und Elektrostahlwerke üblicherweise in den Warmwalzwerken zu den Endproduktgruppen weiterverarbeitet. In den Warmwalzwerken durchlaufen die Brammen den Ofenbereich, die Walzstraße und die Adjustage. Zur Erwärmung der Brammen werden in der Regel Stoßöfen, Hubbalkenöfen oder Herdwagenöfen eingesetzt. Während in den integrierten Hüttenwerken je nach Verfügbarkeit unterschiedliche Mischungen der intern erzeugten Hüttengase zur Befeuerung der Wärmöfen eingesetzt werden, wird in den Elektrostahlwerken auf Erdgas als Energieträger für die Wärmöfen zurückgegriffen. Da die Zusammensetzung der Emissionen der Wärmöfen wesentlich von dem eingesetzten Brennstoff abhängt, wird bei der Ermittlung der Emissionsfaktoren zwischen Warmwalzwerken in integrierten Hütten und in Elektrostahlwerken unterschieden. Walzwerke ohne eigene Stahlerzeugung werden den Walzwerken in Elektrostahlwerken zugeordnet, da auch hier ausschließlich Erdgas als Energieträger eingesetzt wird.

3.5.1 Wesentliche Emissionsquellen der Walzwerke

Bei der Walzstahlproduktion wurden zwei wesentliche Emissionsquellen betrachtet. Hierbei handelt es sich zum einen um die geführten Emissionen der Wärmöfen und zum anderen um die diffusen Emissionen der gesamten Warmbandstraße (**Bild 6**).

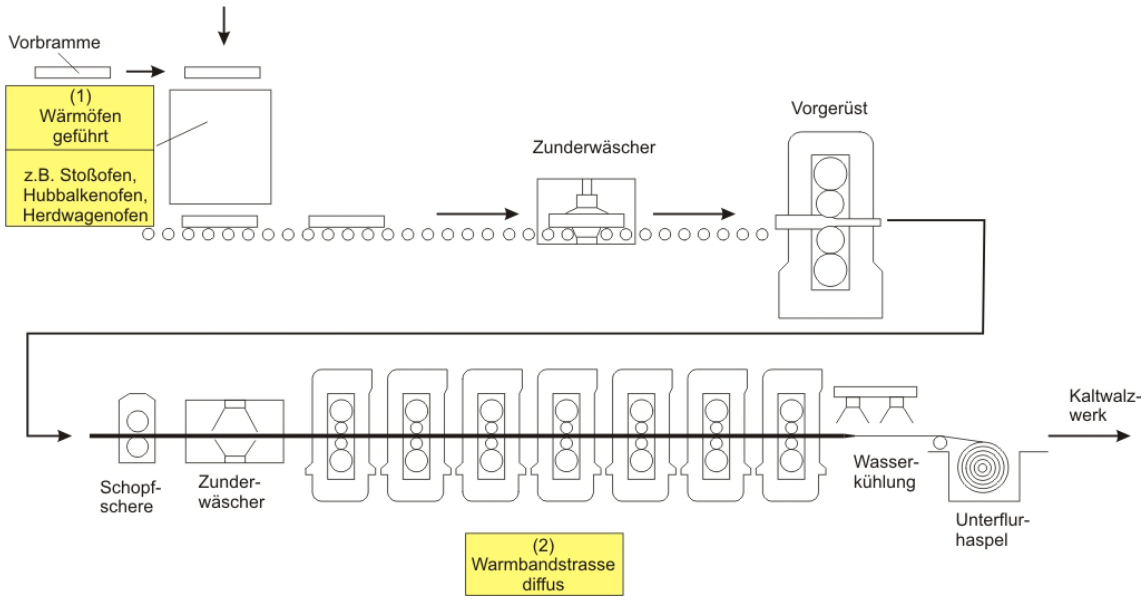


Bild 6: Quellenplan der Prozessstufe "Walzwerk"

3.5.2 Walzwerke in integrierten Hüttenwerken

3.5.2.1 Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten für Walzwerke in den integrierten Hüttenwerken

In **Tabelle 15** ist zusammengestellt, welche Emissionsdaten der einzelnen Quellen der Prozessstufe "Walzwerk in integrierten Hüttenwerken" in die Berechnung der prozessbedingten Emissionsfaktoren eingehen. Zu den geführten Emissionen aus den Wärmöfen der Quelle (1) liegen umfangreiche Daten zu den Schadstoffen NO_x, CO, SO_x, Staub und PM 10 vor. Bei den diffusen Emissionen liegen Angaben zu Emissionen von Staub und PM 10 vor, die auf Rechnungen und Schätzungen basieren. Die nicht benannten Schadstoffe werden als nicht relevant eingestuft.

In **Tabelle 16** sind die Emissionsfaktoren für Walzwerke in integrierten Hüttenwerken zusammengestellt. Für die Wärmöfen sind Emissionsfaktoren zu den Schadstoffen NOx, CO, SOx, Staub und PM 10 angegeben. Emissionsfaktoren der diffusen Quelle (2), Warmbandstraße, werden für Staub und PM 10 aufgeführt. Bei den Emissionen der Wärmöfen beträgt der Anteil von PM 10 am Gesamtstaub 46 % und bei den diffusen Emissionen der Warmbandstraße 43 %. Die Emissionsfaktoren sind für geführte Quellen mit einer maximalen Unsicherheit von 25 % angegeben. Die nicht benannten Schadstoffe werden als nicht relevant eingestuft.

Tabelle 15: Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Walzwerk in integrierten Hüttenwerken"

	Anzahl Anlagen:	8			
Schadstoff	**(1) Wärmöfen**	**gem. Werte**	**(2) Warmbandstraße**	**gem. Werte**	**Gesamt**
NOx	100,00%	5			**(1g)**
CO	50,00%	1			**(1g)**
SOx	87,50%	4			**(1g)**
H2S					
HF					
HCl					
NH3					
Staub	75,00%	2	37,50%	0	**(1g) (2d)**
PM10	50,00%	0	37,50%	0	**(1g) (2d)**
Hg					
Pb			25,00%	0	
Cd					
Mn			25,00%	0	
Cr			25,00%	0	
Ni	12,50%	1	25,00%	0	
NMVOC					
CH4					
Cges(org.)					
PAK					
BaP					
PCB					
Benzol					
Dioxine					

mehr als 30% der Daten vorhanden

weniger als 30% der Daten vorhanden, jedoch mindestens zwei gemessene Werte

weniger als 30% der Daten vorhanden, und weniger als zwei Werte gemessen

zwei oder mehr gemessene Werte liegen vor

weniger als zwei gemessene Werte liegen vor

(d) := diffuse Quelle

(g) := geführte Quelle

Tabelle 16: Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Walzwerk in integrierten Hüttenwerken"

Schadstoff	Quellen	Emissionsfaktor geführter Quellen		Unsicherheit + / -		Emissionsfaktor diffuser Quellen	
NOx	(1g)	196,4E-03	kg/t	15	%		kg/t
CO	(1g)	2,8E-03	kg/t	8	%		kg/t
SOx	(1g)	83,0E-03	kg/t	20	%		kg/t
H2S			kg/t		%		kg/t
HF			kg/t		%		kg/t
HCl			kg/t		%		kg/t
NH3			kg/t		%		kg/t
Staub	(1g) (2d)	2,2E-03	kg/t	25	%	1,3E-03	kg/t
PM10	(1g) (2d)	1,0E-03	kg/t	k.A.	%	558,1E-06	kg/t
Hg			kg/t		%		kg/t
Pb			kg/t		%		kg/t
Cd			kg/t		%		kg/t
Mn			kg/t		%		kg/t
Cr			kg/t		%		kg/t
Ni			kg/t		%		kg/t
NMVOC			kg/t		%		kg/t
CH4			kg/t		%		kg/t
Cges(org.)			kg/t		%		kg/t
PAK			kg/t		%		kg/t
BaP			kg/t		%		kg/t
PCB			kg/t		%		kg/t
Benzol			kg/t		%		kg/t
Dioxine			kg/t		%		kg/t
(d) := diffuse Quelle							
(g) := geführte Quelle							

3.5.3 Walzwerke in Elektrostahlwerken

3.5.3.1 Emissionsfaktoren und deren Unsicherheiten für Walzwerke in den Elektrostahlwerken

In **Tabelle 17** ist zusammengestellt, welche Emissionsdaten der einzelnen Quellen der Prozessstufe "Walzwerk in Elektrostahlwerken" in die Berechnung der prozessbedingten Emissionsfaktoren eingehen. Wie bei den Walzwerken in den integrierten Hüttenwerken liegen für die Wärmöfen der Quelle (1) umfangreiche Daten zu den relevanten Schadstoffen NO_x, CO, SO_x, Staub und PM 10 vor. Zusätzlich wird ein Emissionsfaktor für die Komponente CH_4 angegeben, der sich jedoch aus Emissionsdaten die auf Rechnungen und Schätzungen der Unternehmen basieren, berechnet. Bei den diffusen Emissionen liegen ebenfalls Angaben zu Emissionen von Staub und PM 10 vor. Diese beruhen ebenfalls auf Rechnungen und Schätzungen.

In **Tabelle 18** sind die Emissionsfaktoren für Walzwerke in Elektrostahlwerken zusammengestellt. Die Emissionen betreffen die gleichen Komponenten wie bei den Walzwerken in integrierten Hüttenwerken. Zusätzlich wird für die Quelle (1), Wärmöfen; ein Emissionsfaktor für die Komponente CH_4 angegeben. Da die Wärmöfen in Elektrostahlwerken mit Erdgas betrieben werden, sind die Emissionsfaktoren für NO_x, SO_x, Staub und PM 10 erwartungsgemäß deutlich geringer als bei den Wärmöfen in integrierten Hüttenwerken, die üblicherweise mit Hüttengasen befeuert werden. Die diffusen Emissionen liegen im gleichen Größenbereich wie bei den Walzwerken in integrierten Hüttenwerken. Bei den Emissionen der Wärmöfen beträgt der Anteil von PM 10 am Gesamtstaub 14 % und bei den diffusen Emissionen der Warmbandstraße 51 %.

Tabelle 17: Datenbasis zur Ermittlung der Emissionsfaktoren für die Prozessstufe "Walzwerk in Elektrostahlwerken"

	Anzahl Anlagen:	10			
Schadstoff	**(1) Wärmöfen**	**gem. Werte**	**(2) Warmbandstraße**	**gem. Werte**	**Quellen**
NOx	100,00%	4			**(1g)**
CO	90,00%	3			**(1g)**
SOx	70,00%	2			**(1g)**
H2S					
HF					
HCl					
NH3					
Staub	70,00%	2	30,00%	0	**(1g) (2d)**
PM10	60,00%	1	30,00%	0	**(1g) (2d)**
Hg					
Pb			10,00%	0	
Cd					
Mn			10,00%	0	
Cr			10,00%	0	
Ni			10,00%	0	
NMVOC	10,00%	0			
CH4	30,00%	0			**(1g)**
Cges(org.)	20,00%	0			
PAK					
BaP					
PCB					
Benzol					
Dioxine					

mehr als 30% der Daten vorhanden

weniger als 30% der Daten vorhanden, jedoch mindestens zwei gemessene Werte

weniger als 30% der Daten vorhanden, und weniger als zwei Werte gemessen

zwei oder mehr gemessene Werte liegen vor

weniger als zwei gemessene Werte liegen vor

(d) := diffuse Quelle

(g) := geführte Quelle

Tabelle 18: Emissionsfaktoren der Prozessstufe "Walzwerk in Elektrostahlwerken"

Schadstoff	Quellen	Emissionsfaktor geführter Quellen		Unsicherheit + / -		Emissionsfaktor diffuser Quellen	
NOx	(1g)	115,5E-03	kg/t	20	%		kg/t
CO	(1g)	5,3E-03	kg/t	14	%		kg/t
SOx	(1g)	5,1E-03	kg/t	20	%		kg/t
H2S			kg/t		%		kg/t
HF			kg/t		%		kg/t
HCl			kg/t		%		kg/t
NH3			kg/t		%		kg/t
Staub	(1g) (2d)	1,1E-03	kg/t	25	%	1,3E-03	kg/t
PM10	(1g) (2d)	156,9E-06	kg/t	27	%	662,8E-06	kg/t
Hg			kg/t		%		kg/t
Pb			kg/t		%		kg/t
Cd			kg/t		%		kg/t
Mn			kg/t		%		kg/t
Cr			kg/t		%		kg/t
Ni			kg/t		%		kg/t
NMVOC			kg/t		%		kg/t
CH4	(1g)	5,1E-03	kg/t	k.A.	%		kg/t
Cges(org.)			kg/t		%		kg/t
PAK			kg/t		%		kg/t
BaP			kg/t		%		kg/t
PCB			kg/t		%		kg/t
Benzol			kg/t		%		kg/t
Dioxine			kg/t		%		kg/t
(d) := diffuse Quelle							
(g) := geführte Quelle							

4 Fazit

Im Projekt wurden für das zentrale System Emissionen (ZSE) des UBA aktuelle Emissionsfaktoren für alle wesentlichen und üblicherweise in Deutschland vorliegenden Prozessstufen der Eisen- und Stahlindustrie auf Basis der Emissionserklärung 2008 ermittelt. Aus den Arbeiten, die im Rahmen der beiden Forschungsvorhaben durchgeführt wurden, resultieren folgende wesentliche Erkenntnisse:

- Emissionserklärungen der Unternehmen liefern "anlagenscharfe Auskünfte" zu den Emissionen und bieten daher die geeignete Grundlage zur Berechnung von Emissionsfaktoren
- Die Einbeziehung der ausgewählten Unternehmen mit unterschiedlichen Anlagenkonfigurationen, Betriebsweisen und Produktgüten sichert eine repräsentative Abbildung der durchschnittlichen Emissionssituation. Dies führt dazu, dass realistische Min/Maxwerte einzelner Werke bei der Bestimmung des gemeinsamen Mittelwertes für Deutschland ausgeglichen werden.
- Emissionen aus der Eisen- und Stahlindustrie sind als prozessbedingte Emissionen zu betrachten. Aufgrund der wechselnden Zusammensetzung der Brennstoffe (Hüttengase), ist es nicht möglich, repräsentative energiebedingte Emissionsfaktoren für die Prozessstufen zu ermitteln.
- Aufgrund der sehr unterschiedlichen Datenqualität sind Emissionen geführter und diffuser Quellen getrennt voneinander zu betrachten.
- Die im Rahmen des Projektes entwickelte Methodik zur Berechnung der Emissionsfaktoren berücksichtigt sowohl die unterschiedlichen Produktionsmengen als auch die verschiedenen Verfahrensvarianten.
- Um eine konsistente Fortschreibung der Zeitreihen sicherzustellen, sollte die Methodik, bei weiterer Aktualisierung der Emissionsfaktoren im ZSE, nicht geändert werden.
- Zur Dokumentation der Datenqualität, sollten für geführte Quellen Unsicherheiten zu den Emissionsfaktoren angegeben werden. Eine geeignete Methodik wurde im Rahmen des Projektes entwickelt.

Zur Erzeugung konsistenter Zeitreihen im ZSE wird empfohlen, die Ermittlung der Emissionsfaktoren, unter Anwendung der im Rahmen dieses Projektes entwickelten Methodik, alle vier Jahre parallel zur Erstellung der Emissionserklärungen vorzunehmen.

Zusammenfassung

Emissionsfaktoren bedeutsamer Emittentengruppen der Eisen- und Stahlindustrie werden vom Umweltbundesamt (UBA) seit dem Jahr 1990 im "zentralen System Emissionen" (ZSE) erfasst. Die Daten aus dem ZSE werden vom UBA zur Berechnung von Emissionsinventaren genutzt. Sie dienen insbesondere zur Erstellung von Prognosen, Emissionsberechnungen anderer Einrichtungen sowie zur Bewertung möglicher Minderungsmaßnahmen. Hierdurch wird es möglich, zukünftige Problem- und Handlungsfelder besser zu identifizieren und zu bewerten.

In Folge stetig steigender Anforderungen an die Datenqualität und an die Qualitätssicherung und –kontrollprozeduren ergab sich die Notwendigkeit, das ZSE mit repräsentativen, belastbaren Emissionsdaten zu aktualisieren und so ein für Deutschland repräsentatives Bild der emissionsrelevanten Schritte der Eisen- und Stahlindustrie wiederzugeben.

Das VDEh-Betriebsforschungsinstitut (BFI) wurde daher im Jahr 2008 beauftragt, aktuelle Emissionsfaktoren für folgende wesentlichen Prozessstufen der Eisen- und Stahlindustrie zu ermitteln:

- Sinteranlagen
- Kokereien
- Hochöfen
- Stahlerzeugung (unterschieden nach Oxygenstahl- und Elektrostahlerzeugung)
- Walzstahlproduktion

Da die Emissionsdaten generell in sehr unterschiedlicher Qualität vorliegen, wurde ein Folgeprojekt zur Ermittlung der den Emissionsfaktoren zugrundeliegenden Unsicherheiten in das laufende Vorhaben integriert. Dies ist die Voraussetzung zur Erstellung belastbarer Emissionsprognosen und zur Erfüllung der nationalen und internationalen Berichtspflichten.

Das Gesamtprojekt wurde von 18 Unternehmen der deutschen Eisen- und Stahlindustrie fachlich begleitet. Es wurden insgesamt 40 relevante Emissionsquellen in den zu betrachtenden fünf Prozessstufen ausgemacht. Die Emissionsdaten für die im ZSE zu dokumentierenden organischen und anorganischen Schadgaskomponenten, Schwermetalle und Stäube wurden für das Jahr 2008 aus den Emissionserklärungen der beteiligten Unternehmen für insgesamt 64 Anla-

gen zusammengetragen. Aufgrund der sehr unterschiedlichen Datenqualität wurden die Emissionen geführter und diffuser Quellen hierbei durchgehend getrennt behandelt.

Bei der Betrachtung der einzelnen Quellen der Prozessstufen ergab sich, dass die Emissionen der Eisen- und Stahlindustrie vollständig den prozessbedingten Emissionen zuzuordnen sind. Die Ermittlung energiebedingter Emissionsfaktoren ist nicht möglich, da die Anlagen in den verschiedenen Unternehmen, entsprechend der verfügbaren Hüttengase, mit unterschiedlichem Brennstoffmix betrieben werden. Hieraus folgt, dass die Schadstoffemissionen den unterschiedlichen Brennstoffen nicht eindeutig zuzuordnen sind.

Anhand der Verfügbarkeit und Qualität der Emissionsdaten wurde eine Auswahl zur Berechnung der Emissionsfaktoren getroffen. Zur Ermittlung der Emissionsfaktoren wurde eine geeignete Methodik entwickelt, die sowohl die unterschiedlichen Produktionsmengen als auch die verschiedenen Verfahrensvarianten in den betrachteten Unternehmen berücksichtigt.

Während für die geführten Emissionen ausreichende Kenntnisse und Messergebnisse vorliegen, beruhen die einzelnen Angaben zu den Emissionsdaten aus diffusen Quellen in der Regel auf Schätzungen. Aufgrund der sehr unterschiedlichen örtlichen Gegebenheiten sind Angaben zu den Emissionen einzelner diffuser Quellen grundsätzlich nicht auf andere Anlagen übertragbar. Es ist daher nicht möglich, Angaben zu Unsicherheiten von Emissionsfaktoren diffuser Quellen zu machen, die über unterschiedliche Anlagen gemittelt wurden.

Für geführte Emissionsfaktoren wurde eine Methodik zur Berechnung der Unsicherheiten entwickelt.

Für das ZSE des UBA werden aktuelle Emissionsfaktoren für alle wesentlichen Prozessstufen der Eisen- und Stahlindustrie auf der Basis der Emissionserklärung 2008 bereitgestellt. Für geführte Quellen werden zusätzlich Angaben zu den Unsicherheiten der Emissionsfaktoren gemacht. Zur Erzeugung konsistenter Zeitreihen wird empfohlen, die Ermittlung der Emissionsfaktoren, unter Anwendung der im Rahmen dieses Projektes entwickelten Methodik, alle vier Jahre parallel zur Erstellung der Emissionserklärungen vorzunehmen.

Executive Summary

The German Umweltbundesamt (UBA) records emission factors of important groups of emitters of the iron- and steelmaking industry in a central database named "Zentrales System Emissionen" (ZSE) since 1990. This data is being used for calculations of emission inventories. The main purposes are the generation of forecasts, calculating emissions of other plants and the appraisal of potential measures for reduction of pollution. This makes it possible to identify and appraise future problems and measures.

Because of steadily increasing requirements to data quality and quality assurance, it became necessary to update the ZSE with characteristical emission data in order to give a representative view of relevant stages in the iron- and steelmaking industry with respect to emissions.

In 2008, the VDEh-Betriebsforschungsinstitut (BFI) was assigned to determine up-to-date emission factors for the following relevant stages in the iron- and steelmaking industry:

- sintering plant
- coking plant
- blast furnace
- steel making (differentiated between oxygen and electric steel making)
- production of rolled steel

Due to a wide diversity of data quality, a consecutive project to determine the corresponding uncertainty of the emission factors was integrated into the ongoing project. This is necessary to create reliable forecasts of emissions and to meet national and international duties of reporting.

The project was supported by 18 companies of the German iron- and steelmaking industry. A total of 40 relevant sources of emissions were identified within the five stages of steelmaking and taken into consideration. The emission data for documenting organic and inorganic components of harmful gas, heavy metals and air borne dusts in the ZSE was taken from the reports of emissions 2008 of the supporting companies and made up for a total of 63 plants. Due to a wide variety of data quality the emissions of point sources and diffuse sources are treated separately.

While considering the various emission sources of the process stages, it appeared that the emissions of the iron- and steelmaking industry are to be assigned to process-related emissions completely. The determination of energy-related emission factors is not possible because the equipment in the different companies, according to the available cabin gases, is operated with different fuel mixes. Consequently, the pollutants cannot definitely be assigned to the different fuels.

Based on the availability and quality of emissions data, a choice for calculating the emission factors has been made. To determine the emission factors, an appropriate methodology has been developed, considering both the different production output and the various plant designs of the supporting companies.

While there is sufficient knowledge and measurement data of channelled emissions, the individual emission data concerning diffuse sources are usually based on estimations. Due to the very different local conditions, statements on the emissions of individual diffuse sources are generally not transferable to other plants. Therefore, it is not possible to provide uncertainties of emission factors of diffuse sources, which were averaged over different plants. For emissions factors for point sources, a methodology for calculating the uncertainty has been developed.

For the ZSE database of the UBA, up-to-date emission factors for all major process stages of the iron- and steelmaking industry are provided, based on the reports of emissions 2008. Additionally, statements about the uncertainty of emission factors of point sources are provided. To produce consistent time series, it is recommended, that the determination of emission factors, based on the methodology developed in this project, is carried out every four years in parallel to the creation of the reports of emissions.

Literaturverzeichnis

[1] European Environment Agency, EMEP-CORINAIR Emission Inventory Guidebook -2007, Technical report No. 16/2007, 2007

[2] NEC-Richtlinie 2001/81/EG des europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2001 über nationale Emissionshöchstmengen von bestimmten Luftschadstoffen

[3] Roedere, C.; Gourtsoyannis, L.: Coordinated Study "Steel-Environment", Final Report EUR 16955 EN, 1996

[4] Theobald, W.: Ermittlung und Verminderung der Emissionen von halogenierten Dioxinen und Furanen aus thermischen Prozessen: Untersuchung der Emissionen polychlorierter Dibenzodioxine und –furane und von Schwermetallen aus Anlagen der Stahlerzeugung, Abschlußbericht 104 03 365/01 im Auftrag des Umweltbundesamtes, November (1995)

[5] Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Emissionserklärungen) (11. BImSchV)

[6] Stahlfiebel, Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf, 2007

[7] Umweltbundesamt, Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC), Best Available Techniques Reference Document on the Production of Iron and Steel, Dezember 2001

[8] Rentz, O.; Hähre, S.; Jochum, R.; Geldermann, J.; Krippner, M.; Schultmann, F.: Exemplarische Untersuchung zum Stand der praktischen Umsetzung des integrierten Umweltschutzes in der Metallindustrie und Entwicklung von generellen Anforderungen, Umweltforschungsplan des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Forschungsprojekt 296 94 006, 1999

[9] Statistisches Jahrbuch der Stahlindustrie 2009/2010, Wirtschaftsvereinigung Stahl Stahlinstitut VDEh, Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf (2009)

[10] 8. CO2-Monitoring-Fortschrittsbericht der Stahlindustrie in Deutschland, Berichtsjahr 2008, Stahlinstitut VDEh, Düsseldorf (2008)

[11] Elfte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Emissionserklärungen) (11. BImSchV)

[12] Dreizehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über Großfeuerungs- und Gasturbinenanlagen) (13. BImSchV)

[13] Siebzehnte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über die Verbrennung und die Mitverbrennung von Abfällen - 17. BImSchV)

[14] DIN EN ISO 23210: Emissionen aus stationären Quellen - Ermittlung der Massenkonzentration von PM10/PM2,5 im Abgas - Messung bei niedrigen Konzentrationen mit Impaktoren (ISO 23210:2009); Deutsche Fassung EN ISO 23210:2009

[15] DIN EN 14385: Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Gesamtemission von As, Cd, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Tl und V; Deutsche Fassung EN 14385:2004

[16] DIN EN 12619: Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration des gesamten gasförmigen organisch gebundenen Kohlenstoffs in geringen Konzentrationen in Abgasen - Kontinuierliches Verfahren unter Verwendung eines Flammenionisationsdetektors; Deutsche Fassung EN 12619:1999

[17] DIN ISO 11338: Emissionen aus stationären Quellen - Bestimmung der Massenkonzentration an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen

[18] DIN EN 1948-3: Emissionen aus stationären Quellen – Bestimmung der Massenkonzentration von PCDD/PCDF und dioxin-ähnlichen PCB – Teil 3: Identifizierung und Quantifizierung von PCDD/PCDF; Deutsche Fassung EN 1948-3:2006

[19] Verordnung über die Zuteilung von Treibhausgas-Emissionsberechtigungen in der Zuteilungsperiode 2008 bis 2012 (ZuV 2012), August 2007