

# Roadmap Feuerverzinken 2045: Der Weg zum treibhausgasneutralen Feuerverzinken in Deutschland

Endfassung

Freiburg, 04.05.2026

**Studie der Öko-Institut Consult GmbH**

**Autorinnen und Autoren**

Carl-Otto Gensch  
Hannah Lorösch  
Moritz Vogel  
Öko-Institut Consult GmbH

Christoph Heinemann  
Öko-Institut e.V.

**Öko-Institut Consult GmbH**

[info@oeko-consult.de](mailto:info@oeko-consult.de)  
[oeko-consult.de](https://www.oeko-consult.de)

**Büro Freiburg**

Merzhauser Straße 173  
79100 Freiburg  
Telefon +49 761 45295-0

**Büro Berlin**

Borkumstraße 2  
13189 Berlin  
Telefon +49 30 405085-0

**Büro Darmstadt**

Rheinstraße 95  
64295 Darmstadt  
Telefon +49 6151 8191-0



# Inhaltsverzeichnis

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>4</b>	
<b>Tabellenverzeichnis</b>	<b>4</b>	
<b>Abkürzungsverzeichnis</b>	<b>5</b>	
<b>Zusammenfassung</b>	<b>6</b>	
<b>1</b>	<b>Vorwort des Bundesverbandes Feuerverzinken e.V.</b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>Zielsetzung, Rahmen und Adressaten der Roadmap</b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b>Methodischer Rahmen und Datengrundlagen im Überblick</b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>Fokus Treibhausgasemissionen</b>	<b>11</b>
<b>3.2</b>	<b>Ursachen von und Ansätze zur Minderung von industriellen THG-Emissionen</b>	<b>11</b>
<b>3.3</b>	<b>Festlegung der Systemgrenze der Roadmap</b>	<b>13</b>
<b>3.4</b>	<b>Datenmodell und Datengrundlagen der Roadmap</b>	<b>14</b>
3.4.1	Komponente „Feuerverzinkung in Deutschland“	15
3.4.2	Komponente „Vorkette Brennstoffe“	15
3.4.3	Komponente „Vorkette Strom“	15
3.4.4	Komponente „Vorkette Zink“	17
<b>3.5</b>	<b>Bündelung der projizierten Entwicklung in zwei Szenarien</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Ergebnisse</b>	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>Emissionsentwicklung aus der Energiebereitstellung</b>	<b>19</b>
<b>4.2</b>	<b>Emissionsentwicklung aus der Zinkbereitstellung</b>	<b>20</b>
<b>4.3</b>	<b>Gesamtentwicklung der THG-Emissionen des Feuerverzinkens</b>	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen und Empfehlungen</b>	<b>26</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 3-1:	Komponenten des Datenmodells	14
Abbildung 3-2:	Projizierte Nettostromerzeugung im Szenario „Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)“ für den Zeitraum 2025-2050 nach den Treibhausgas-Projektionen 2025 für Deutschland (Projektionsbericht 2025)	16
Abbildung 4-1:	Jährliche THG-Emissionen aus der Energiebereitstellung für das Feuerverzinken in Deutschland	19
Abbildung 4-2:	Spezifische THG-Emissionen aus der Energiebereitstellung für das Feuerverzinken in Deutschland	20
Abbildung 4-3:	Jährliche THG-Emissionen aus der Vorkette Zink für das Feuerverzinken in Deutschland	21
Abbildung 4-4:	Spezifische THG-Emissionen aus der Vorkette Zink für das Feuerverzinken in Deutschland	22
Abbildung 4-5:	Jährliche THG-Emissionen für das Feuerverzinken in Deutschland	23
Abbildung 4-6:	Spezifische THG-Emissionen für das Feuerverzinken in Deutschland	24
Abbildung 4-7:	Kumulierte THG-Mehremissionen im Szenario A im Vergleich zu Szenario B	25

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1:	Ursachen von industriellen THG-Emissionen und Minderungsansätze in der feuerverzinkenden Industrie	12
--------------	--	----

## Abkürzungsverzeichnis

CAPEX	Capital Expenditures / Investitionsausgaben
CCU	Carbon Capture and Utilization
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid
EE	Erneuerbare Energie(n)
GEMIS	Globales Emissions-Modell integrierter Systeme
GHG	Greenhouse Gas
GWP	Global Warming Potential
ICMM	International Council for Mining and Metals
KSG	Klimaschutz-Gesetz
MMS	Mit-Maßnahmen-Szenario
MTF	Mittelstandsfond
MWMS	Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario
OPEX	Operating Expenditures / Laufende Aufwendungen
PV	Photovoltaik
SHG Zinc	Special High Grade Zinc / Sehr hochreines Zink
THG	Treibhausgas(e)
WBGU	Wissenschaftlicher Beirat globale Umweltveränderungen (der Bundesregierung)

## Zusammenfassung

### Zielsetzung und Rahmen

Deutschland hat sich mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) einen gesetzlichen Rahmen für seine Klimaschutzziele gegeben. Das Gesetz konkretisiert für Deutschland die Verpflichtungen aus dem Übereinkommen von Paris. Mit dieser Übereinkunft soll sichergestellt werden, dass der Anstieg der globalen Durchschnittstemperatur auf deutlich unter 2°C und möglichst auf 1,5°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau begrenzt wird, um die Auswirkungen des weltweiten Klimawandels so gering wie möglich zu halten. Nach dem KSG sollen in Deutschland die Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) um mindestens 65 % gegenüber dem Vergleichsjahr 1990 reduziert werden. Dieses Ziel wurde in Jahresemissionsmengen für jeden Sektor heruntergebrochen und in Jahresemissionsgesamtmengen übersetzt. Bis zum Jahr 2040 sollen die Treibhausgasemissionen der Sektoren um 88 % reduziert werden und bis zum Jahr 2045 soll unter Berücksichtigung der natürlichen und technischen Senken Netto-Treibhausgasneutralität erreicht werden. Unter den Sektoren hat die deutsche Industrie mit knapp 24 % oder 153 Mio. t CO<sub>2</sub>-Äquivalenten nach der Energiewirtschaft den zweithöchsten Beitrag an den gesamten THG-Emissionen in Deutschland.

Der Bundesverband Feuerverzinken hat das Öko-Institut mit der Erstellung einer Roadmap beauftragt. Diese Roadmap zeigt auf, wie die deutsche Feuerverzinkungsindustrie bis zum Jahr 2045 treibhausgasneutral werden kann. Feuerverzinken ist das bedeutendste Verfahren zum Korrosionsschutz von verschiedensten Stahlanwendungen. Mit Zink überzogene Stahlteile werden in den unterschiedlichsten Branchen eingesetzt, Schwerpunkte sind private, gewerbliche und industrielle Bauten, der Fahrzeug- und Maschinenbau, die Landwirtschaft und viele andere mehr. Die Roadmap richtet sich sowohl nach innen als Orientierung für die Mitglieds- und Partnerunternehmen des Bundesverbands als auch nach außen an die allgemeine Öffentlichkeit und an Politikakteure.

Vergleichbar zu Initiativen anderer Branchen legt die vorliegende Roadmap den Blick auf konkrete Maßnahmen zur Rohstoff- und Energieversorgung, Effizienzsteigerung und Umgestaltung industrieller Prozesse, hier im Bereich des Feuerverzinkens. Die Roadmap geht somit weit hinaus über die viele Jahre dominierende Diskussion um Kompensationen als häufig zentraler Bestandteil der Zertifizierung von klimaneutralen Unternehmen. Um die Entwicklung der Branche umfassend zu beschreiben, wird nicht nur eine Projektion der THG-Emissionen bis ins Jahr 2045 vorgenommen, es wird auch rückblickend die Entwicklung seit dem Jahr 1990 betrachtet, da dieses Jahr in praktisch allen internationalen und nationalen Vereinbarungen zum Klimaschutz als Bezugsjahr herangezogen wird.

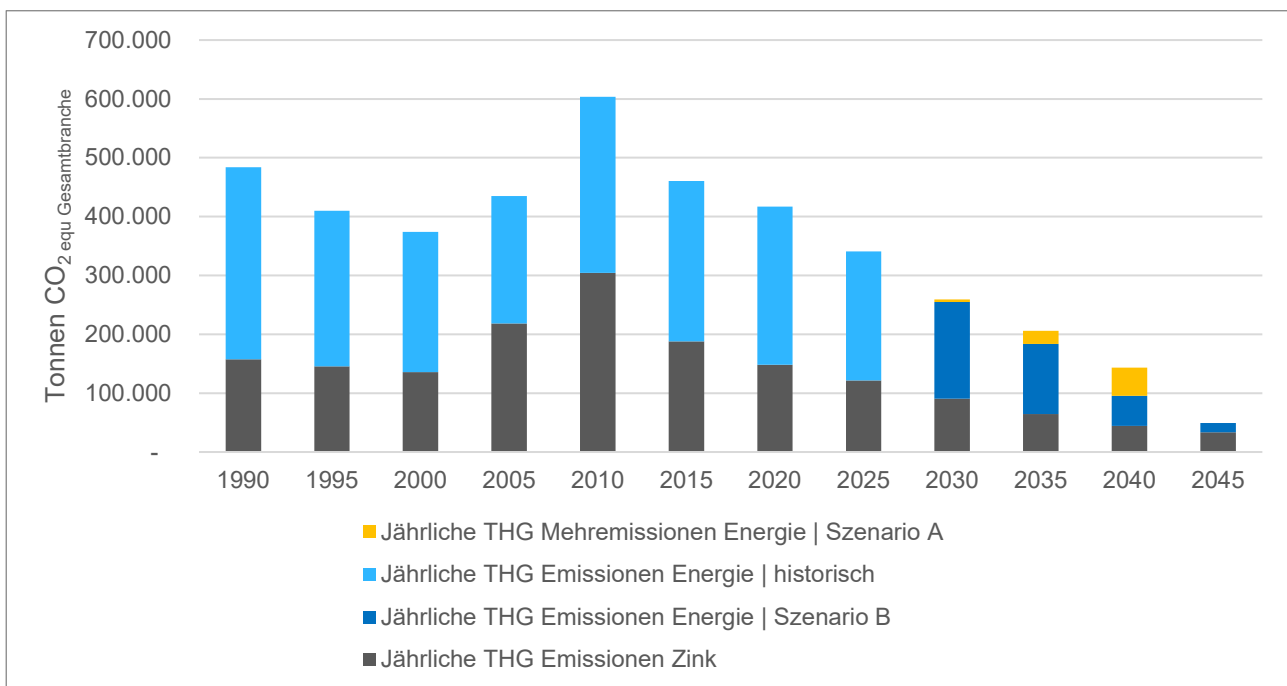
### Datengrundlagen und Annahmen der Roadmap

Wesentliche Datengrundlagen der Roadmap sind zum einen die vom Bundesverband erhobenen Daten zu Produktion, Energieeinsatz und Zinkverbrauch. Zum anderen werden Emissionsfaktoren aus anerkannten Datenbanken und geprüften Veröffentlichungen von Marktakteuren herangezogen. Für die Zukunftsbetrachtung basiert das Datenmodell wesentlich auf Modellierungen, wie sie im Projektionsbericht aus dem Jahr 2025 des Umweltbundesamts im sogenannten „Mit-Maßnahmen-Szenario“ durchgeführt wurden. In diesem Szenario werden die derzeit gültigen Klimaschutzinstrumente berücksichtigt, weshalb die angenommenen Emissionsminderungen als weitgehend gesichert gelten.

## Kernergebnisse der Roadmap und Empfehlungen

In der nachstehenden Abbildung wird eine Gesamtschau der Entwicklung der THG-Emissionen im Zeitraum 1990 bis 2045 vorgenommen. Gezeigt werden die energiebedingten THG-Emissionen als auch die Emissionen, die aus der Rohstoffbereitstellung und -aufbereitung von Zink stammen. Aus dieser Zusammenschau wird deutlich, dass die THG-Emissionen aus der Zinkbereitstellung einen nicht unerheblichen Beitrag an den modellierten gesamten THG-Emissionen des Feuerverzinkens in Deutschland einnehmen: Die Anteile liegen zwischen rund 33 % (im Jahr 1990), 50 % (im Jahr 2010), 35 % (im Jahr 2025) und knapp 70 % (im Jahr 2045). Generell handelt sich bei den Beiträgen der Zinkbereitstellung um sogenannte Scope-3-Emissionen, die aufgrund der Struktur der Wertschöpfungskette überwiegend im Ausland entstehen und somit bei einem nationalen Inventar der THG-Emissionen aufgrund der Binnen-Logik nicht ausgewiesen werden.

### Jährliche THG-Emissionen für das Feuerverzinken in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut Consult GmbH

Durch Maßnahmen der Energieeffizienz und optimalen Rohstoffnutzung hat die Branche im Zeitraum 1990 bis 2025 die THG-Emissionen der Feuerverzinkung von Stahl um 30 Prozent reduzieren können, pro Tonne verzinkten Stahl entspricht dies mehr als eine Halbierung der Emissionen. Durch weitere Ausschöpfung von Maßnahmen der Energieeffizienz, der Elektrifizierung der Beheizung der Verzinkungsöfen, des Ausbaus an Erneuerbaren Energien sowie durch den Bezug von Low-Carbon-Zink ist auch absolut gesehen eine weitgehende Reduktion der THG-Emissionen um 90 % gegenüber 1990 bis ins Jahr 2045 möglich. In diesem Zusammenhang ist es von großer Relevanz, dass die für die Reduktion der THG-Emissionen erforderlichen Technologien erprobt und auf dem Markt verfügbar sind. Damit unterscheidet sich die Feuerverzinkungs-Industrie von anderen Branchen, bei denen Technologien wie die Bereitstellung von Prozesswärme im Hochtemperaturbereich oder metallurgische Reduktionsverfahren noch zur großtechnisch umsetzbaren Reife entwickelt werden müssen.

Die Roadmap weist zudem nach, dass ambitionierte Anreize zur Dekarbonisierung der Branche zu einer zusätzlichen Emissionsminderung von kumuliert rund 250.000 t CO<sub>2</sub>-Äquivalente beitragen könnten (Szenario B in der obenstehenden Abbildung). Über Anreize zur Dekarbonisierung hinausgehend braucht die Branche unbedingt verlässliche Rahmenbedingungen, dies sind vor allem die Fortsetzung des Ausbaus an erneuerbaren Energien, die Beschleunigung des Netzausbaus und die Verlässlichkeit im Netzanschluss.

Die Ergebnisse dieser Roadmap basieren zu einem nicht unerheblichen Anteil auf den Annahmen und Modellierungen, wie sie im Projektionsbericht 2025 des Umweltbundesamts vorgenommen wurden. Projektionen sind keine Prognosen, sondern beruhen auf Modellen, die eine langjährige plausible Emissionsentwicklung unter den Bedingungen und Annahmen zum Start des Modellierungszeitpunktes (hier Herbst 2024) abbilden. Sondereffekte und unvorhergesehene, kurzfristige Ereignisse, wie aktuell mögliche Verknappungen und Engpässe bei fossilen Energieträgern, können methodisch nicht oder nur begrenzt in die Modelle integriert werden. Vor diesem Hintergrund empfehlen wir dem Bundesverband Feuerverzinken, die weiteren Entwicklungen im Blick zu halten unter der Frage, ob die in dieser Roadmap getroffenen Annahmen zur Projektion der THG-Emissionen noch zutreffen. Unabhängig davon sollte die Roadmap mindestens in 5-Jahres-Abständen upgedatet werden.

## 1 Vorwort des Bundesverbandes Feuerverzinken e.V.

Im Jahr 2015 hat sich die internationale Staatengemeinschaft mit dem Pariser Klimaabkommen darauf verständigt, den globalen Temperaturanstieg auf deutlich unter 2 °C zu begrenzen und die Folgen des Klimawandels wirksam einzudämmen. Die Europäische Union hat mit dem EU-Klimagesetz verbindliche Vorgaben für das Erreichen der Klimaneutralität bis 2050 geschaffen, die Deutschland mit dem Bundes-Klimaschutzgesetz (KSG) noch ambitionierter in nationales Recht umsetzt.

Mit klar definierten Reduktionspfaden schafft das KSG einen ambitionierten Handlungsrahmen: Bis 2030 sollen die Treibhausgasemissionen um mindestens 65 % gegenüber 1990 sinken, bis 2040 um 88 %. Spätestens 2045 ist Treibhausgasneutralität zu erreichen – eine Zielmarke, die tiefgreifende Transformationsprozesse in allen Sektoren erfordert.

Die Industrie steht dabei in besonderer Verantwortung, aber auch vor erheblichen Herausforderungen. Mit einem Anteil von fast 25 % an den nationalen Emissionen ist sie nach der Energiewirtschaft der zweitgrößte Emittent – und zugleich ein zentraler Hebel für wirksamen Klimaschutz.

Vor diesem Hintergrund legt die Feuerverzinkungsbranche erstmals eine belastbare, datenbasierte Roadmap vor. Sie zeigt auf, wie der Transformationspfad zur Treibhausgasneutralität bis 2045 konkret gestaltet werden kann – und macht deutlich, dass die Branche bereit ist, diesen Weg aktiv und verantwortungsvoll zu gehen.

Eine rein sektorale Betrachtung greift aber zu kurz. Feuerverzinken ist mehr als ein industrieller Prozess – es ist ein wesentlicher Baustein nachhaltiger und zirkulärer Wertschöpfung. Als effektiver Korrosionsschutz verlängert es die Lebensdauer von Stahlkonstruktionen signifikant, reduziert Materialverbräuche und vermeidet Emissionen entlang ganzer Wertschöpfungsketten. Damit leistet die Technologie einen bedeutenden Beitrag zur Ressourceneffizienz und zur Umsetzung einer funktionierenden Kreislaufwirtschaft.

Trotz, oder auch gerade in geopolitisch und wirtschaftlich unruhigen Zeiten ist die Feuerverzinkungsindustrie bereit, ihren Beitrag zu leisten. Sie kann sogar als positives Beispiel vorangehen, denn die Dekarbonisierung der Prozesse ist nachgewiesenermaßen technisch möglich und auch vorteilhaft. Entscheidend für den Erfolg wird jedoch sein, ob es gelingt, verlässliche und langfristig planbare politische Rahmenbedingungen am Standort Deutschland zu schaffen. Hierzu gehören neben dem ambitionierten Ausbau der Erzeugungskapazitäten erneuerbarer Energie auch die Einführung eines Dekarbonisierung-Strompreises sowie eines Mittelstandstransformationsfonds (MTF).

Denn nur auf dieser Grundlage können die notwendigen Investitionen mobilisiert und die Transformation in der erforderlichen Geschwindigkeit umgesetzt werden. Die dafür notwendigen wirtschaftspolitischen Entscheidungen müssen so schnell wie möglich getroffen werden, bevor es zu spät ist.

**Martin Kopf**

Vorsitzender

Bundesverband Feuerverzinken e.V.

**Tobias Schäfer & Mark Huckshold**

Geschäftsführung

Bundesverband Feuerverzinken e.V.

## 2 Zielsetzung, Rahmen und Adressaten der Roadmap

Mit dieser Roadmap wird aufgezeigt, wie die deutsche Feuerverzinkungsindustrie bis zum Jahr 2045 treibhausgasneutral werden kann. Feuerverzinken ist das bedeutendste Verfahren zum Korrosionsschutz von verschiedensten Stahlanwendungen. Mit Zink überzogene Stahlteile werden in den unterschiedlichsten Branchen eingesetzt. Schwerpunkte sind private, gewerbliche und industrielle Bauten, der Fahrzeug- und Maschinenbau, die Landwirtschaft und viele andere mehr.

Beim Feuerverzinken werden Stahlteile nach einem Reinigungsprozess in eine flüssige Zinkschmelze eingetaucht, dieses diskontinuierliche Verfahren wird als Stückverzinken bezeichnet. Stahlbänder und Stahldrähte können aber auch kontinuierlich flüssiges Zink durchlaufen, bei diesen Verfahren spricht man vom Band- bzw. vom Drahtverzinken<sup>1</sup>.

**Diese Roadmap behandelt ausschließlich das Stückverzinken.** Damit Werkstücke in geschmolzenem Zink mit einer Zinkschicht überzogen werden können, müssen sie umfänglich an der Oberfläche vorbereitet und anschließend nachbearbeitet werden. Diese Vorgänge werden in dieser Roadmap abgebildet. Teilweise werden feuerverzinkte Werkstücke anschließend Nass- oder Pulverbeschichtet. Diese Prozesse werden in dieser Roadmap nicht berücksichtigt, da sie über das Stückverzinken im engeren Sinne hinaus gehen.

Die Roadmap reiht sich ein in Initiativen und Projekte in anderen Sektoren und Branchen. So hatte beispielsweise bereits 2019 der Verband der Chemischen Industrie mit einer Roadmap analysiert, wie Klimaneutralität (zum damaligen Zeitpunkt zum Zieljahr 2050) technisch erreichbar ist – unter der Voraussetzung großer Mengen erneuerbaren Stroms zu wettbewerbsfähigen Preisen, ausreichendem grünem Wasserstoff und neuen Kohlenstoffquellen für die stoffliche Nutzung (Geres et al. 2019). Im Anschlussprojekt Chemistry4Climate wurde diese Roadmap aktualisiert und im breiten Stakeholder-Kreis ein Technologiepfad entwickelt, um aufzuzeigen, wie die Branche bis 2045 klimaneutral werden kann und welche politischen Rahmenbedingungen dafür nötig sind (Geres et al. 2023). Auch die überwiegend mittelständisch aufgestellten deutschen Gießereien haben 2025 eine Roadmap zur Treibhausgasneutralität bis zum Jahr 2045 vorgestellt (BDG 2025).

Vergleichbar zu diesen und weiteren Initiativen<sup>2</sup> legt die vorliegende Roadmap den Blick auf konkrete Maßnahmen zur Rohstoff- und Energieversorgung, Effizienzsteigerung und Umgestaltung industrieller Prozesse, hier im Bereich des Feuerverzinkens. Die Roadmap geht somit weit über die viele Jahre dominierende Diskussion um Kompensationen<sup>3</sup> als häufig zentraler Bestandteil der Zertifizierung als klimaneutrales Unternehmen hinaus.

Um die Entwicklung der Branche umfassend zu beschreiben, wird nicht nur eine Projektion der Treibhausgasemissionen (im Folgenden THG-Emissionen) bis ins Jahr 2045 vorgenommen, es wird auch rückblickend die Entwicklung seit dem Jahr 1990 betrachtet, da dieses Jahr in praktisch allen internationalen und nationalen Vereinbarungen zum Klimaschutz als Bezugsjahr (mit 100 %)

---

<sup>1</sup> Weitere Verzinkungsverfahren für Stahl sind das thermische Spritzen mit Zink, das galvanische bzw. elektrolytische Verzinken sowie metallische Überzüge mit Zinkstaub. Mit Blick auf die eingesetzten Zinkmengen sind diese Verfahren mit einem Anteil von 5 % gegenüber dem Feuerverzinken mit einem Anteil von rund 95 % weniger relevant.

<sup>2</sup> Zum Überblick: <https://www.klimaschutz-industrie.de/themen/klimaschutz-in-der-industrie/>

<sup>3</sup> Unter Kompensation versteht man Zahlungen, mit denen Investitionen in Projekte zur Minderung von Treibhausgasen finanziert werden. Ziel ist es, entstandene Emissionen durch die Unterstützung solcher Projekte an anderer Stelle rechnerisch auszugleichen. Vgl. beispielsweise Umweltbundesamt (2019).

herangezogen wird. Durch den Rückblick wird auch deutlich, welche Anstrengungen die Branche in den zurückliegenden Jahren unternommen hat, um durch Steigerung in der Energieeffizienz den Verbrauch an fossilen Energieträgern und die damit verbundenen THG-Emissionen zu verringern. Sowohl der Rückblick als auch die Projektion erfolgen zur Vereinfachung der Darstellung in 5-Jahresschritten – auch wenn zwischen diesen Schritten sowohl die jährlichen als auch die kumulierten THG-Emissionen im Modell erfasst werden. Die Darstellung der kumulierten Emissionen bis 2045 ist wichtig, da damit nicht nur die jährlichen Minderungen, sondern auch die gesamte Entwicklung der Treibhausgasemissionen über einen langen Zeitraum abgebildet werden. Die Darstellung der kumulierten THG-Emissionen entspricht auch der Idee des vom Wissenschaftliche Beirat globale Umweltveränderungen der Bundesregierung (WBGU) im Jahr 2009 vorgeschlagenen Budgetansatzes. Danach ist die Gesamtmenge an THG-Emissionen, die noch emittiert werden darf, begrenzt, um bestimmte Temperaturgrenzen nicht zu überschreiten (WBGU 2009).

Die vorliegende Roadmap richtet sich sowohl nach innen als Orientierung für die Mitglieds- und Partnerunternehmen als auch nach außen an die allgemeine Öffentlichkeit und an Politikakteure.

### 3 Methodischer Rahmen und Datengrundlagen im Überblick

#### 3.1 Fokus Treibhausgasemissionen

In dieser Roadmap werden THG-Emissionen abgebildet. Das bedeutet, dass über Kohlendioxid hinaus alle weiteren THG-Emissionen mit einbezogen werden. Um die Klimawirkung der Treibhausgase zu vergleichen, wird das Konzept der Treibhausgaspotenziale (engl. Global Warming Potentials, kurz GWP) herangezogen. Dabei wird die Klimawirkung innerhalb eines festgelegten Zeithorizonts (20, 100, 500 Jahre) auf Kohlendioxid bezogen, so dass alle Emissionen in so genannten Kohlendioxid-Äquivalenten vorliegen. Dies ermöglicht unter anderem die Angabe nationaler Gesamtemissionen an Treibhausgas, auf denen dann zum Beispiel Reduktionsziele und -verpflichtungen beruhen und die die Angaben unterschiedlicher Länder vergleichbar machen. Für die internationale Treibhausgas-Emissionsberichterstattung wurde verbindlich festgelegt, die GWP-Werte mit 100 Jahren Zeithorizont zu verwenden (GWP 100). Konkret wurden für diese Roadmap die aktualisierten GWP 100-Werte des fünften Sachstandsberichts des IPCC (2014/2015), wie sie für die Berichterstattung 2024 vorgesehen waren, zugrunde gelegt.

#### 3.2 Ursachen von und Ansätze zur Minderung von industriellen THG-Emissionen

Die von der Industrie verursachten Emissionen von Treibhausgasen (THG) können generell in folgende Gruppen unterteilt werden:

- Direkte energiebedingte THG-Emissionen aus der Verwendung von Brennstoffen zur Bereitstellung von Energie, z.B. Prozesswärme, Dampf oder Strom (in Industriekraftwerken);
- indirekte energiebedingte THG-Emissionen aus der Bereitstellung von Brennstoffen und aus der vorgelagerten Erzeugung des eingesetzten Stroms, soweit dieser nicht in eigenen (Industrie-) Kraftwerken erzeugt wird;
- direkte prozessbedingte THG-Emissionen aus der nicht-energetischen Verwendung kohlenstoffhaltiger Energieträger und sonstiger Rohstoffe, oder aus der prozessbedingten Freisetzung anderer Treibhausgase als CO<sub>2</sub>;

- indirekte energie- und prozessbedingte THG-Emissionen aus vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsketten. In der Logik des GHG Protocol wird hier von Scope-3-Emissionen gesprochen.
- Nachstehend werden die grundsätzlichen Ansätze und die für die feuerverzinkende Industrie spezifischen Maßnahmen kurz erläutert:

**Tabelle 3-1: Ursachen von industriellen THG-Emissionen und Minderungsansätze in der feuerverzinkenden Industrie**

Ursache für THG-Emissionen	Allgemeine Ansätze in der Industrie	Relevanz und spezifische Ansätze in der Feuerverzinkungs-Industrie
<p>Direkte energiebedingte THG-Emissionen aus der Verwendung von Brennstoffen zur Bereitstellung von Energie</p>	<p>Steigerung der Energieeffizienz durch Verwendung energieeffizienter Technik, Optimierung von Verfahren und Prozessen und konsequente Abwärmenutzung inklusive Abwärme-Verstromung</p> <p>Verwendung erneuerbarer Energien, vor allem in Form von Strom aus erneuerbaren Energien, z. B. zur Prozesswärmeerzeugung, aber auch zur Wärme- und Kälteversorgung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umstellung der Feuerung von Heizöl auf Erdgas</li> <li>• Reduzierung fossiler Energieträger durch Umstellung der Prozesswärmeerzeugung auf Hybridtechnologie (fossil/erneuerbar)</li> <li>• Wärmedämmung der Verzinkungsöfen</li> <li>• Badabdeckung</li> <li>• Optimierung Brennertechnologie</li> <li>• Kapazitätsauslastung: Zwei-/Dreischichtbetrieb</li> <li>• Abwärmenutzung (Vorbehandlung und Trocknung)</li> <li>• Einsatz von Biomethan (in dieser Roadmap nicht explizit berücksichtigt)</li> <li>• Einsatz von (potenziell grünem) Wasserstoff</li> </ul>
<p>Indirekte energiebedingte THG-Emissionen aus der vorgelagerten Erzeugung des eingesetzten Stroms, soweit dieser nicht in eigenen (Industrie-)Kraftwerken erzeugt wird</p>	<p>Effizienzsteigerungen bei Energiewandlung und -nutzung in industriellen Anwendungen</p> <p>Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien (Ausbau der erneuerbaren Energien, Phase-Out atomarer und fossiler Energieträger)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Umstellung auf elektrisch beheizte Öfen (Induktions- und Widerstandsheizung) mit höherem Wirkungsgrad</li> <li>• Eigenstromversorgung durch PV-Anlagen</li> <li>• Direktinvestitionen / Power Purchase-Agreements in den EE-Ausbau</li> </ul>
<p>Direkte prozessbedingte THG-Emissionen aus der nicht-energetischen Verwendung kohlenstoffhaltiger Energieträger und sonstiger Rohstoffe, oder aus der prozessbedingten Freisetzung anderer Treibhausgase als CO<sub>2</sub></p>	<p>Prozessumstellungen zur Vermeidung prozessbedingter THG-Emissionen durch grundlegende Verfahrensumstellungen, Substitution der emissionsverursachenden Rohstoffe oder Produkte sowie – falls Verfahrensumstellungen oder eine Substitution nicht möglich sind – ggf. die Anwendung von CCU (Carbon Capture and Utilization: Abscheidung und anschließende Verwendung von CO<sub>2</sub>), soweit dadurch an anderer</p>	<p>Karbonatisierungseffekt verzinkter Oberflächen: Verzinkte Oberflächen binden über längere Zeiträume atmosphärisches Kohlendioxid (in dieser Roadmap nicht berücksichtigt)</p>

Ursache für THG-Emissionen	Allgemeine Ansätze in der Industrie	Relevanz und spezifische Ansätze in der Feuerverzinkungs-Industrie
	Stelle THG-Emissionen vermieden werden können.	
Indirekte energie- und prozessbedingte THG-Emissionen aus vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsketten	Siehe oben (in den Vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsketten können alle Ansätze relevant sein)	Zum Beispiel Bezug von Zink, das mit einem höheren Anteil an erneuerbaren Energien gewonnen und verarbeitet wird.

Quelle: Eigene Zusammenstellung Öko-Institut Consult GmbH

### 3.3 Festlegung der Systemgrenze der Roadmap

Im Rahmen der vorliegenden Roadmap können nicht alle in der Tabelle skizzierten möglichen Ansätze verfolgt werden. Der Fokus wird auf die Aspekte gelegt, die auf der Grundlage vorangegangener Untersuchungen mit über 90 % der gesamten THG-Emissionen den größten Anteil des Feuerverzinkens ausmachen. Konkret sind dies:

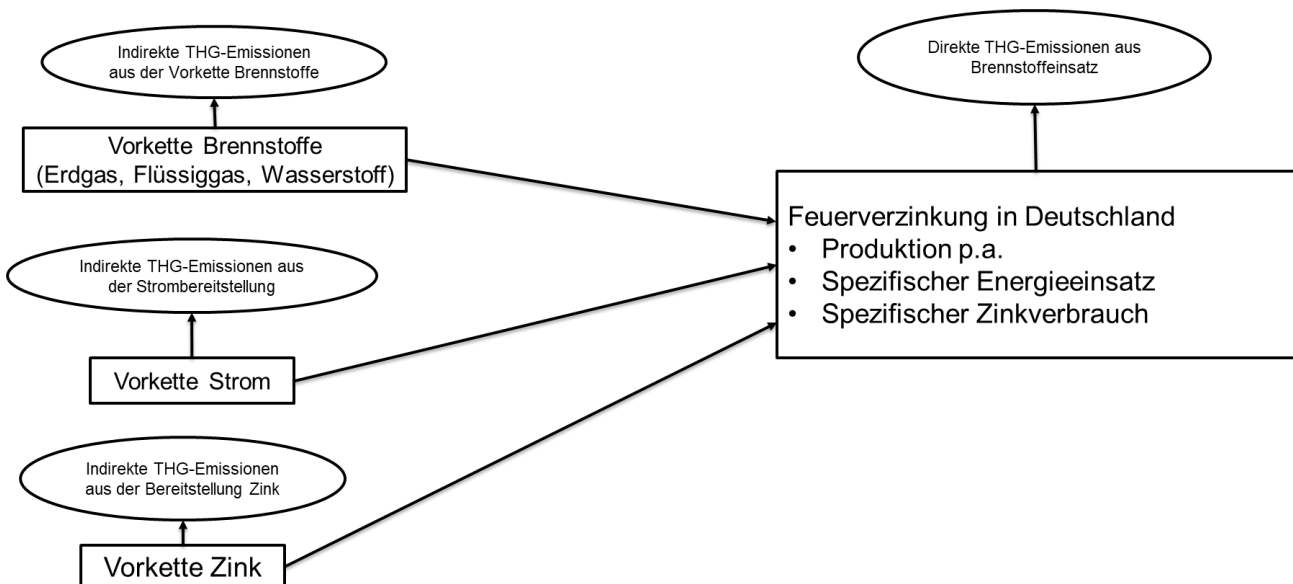
- Energieeinsatz für das Feuerverzinken selbst (dominierend ist hier die Zinkschmelze mit Temperaturen um 450 Grad Celsius) und für die Vor- und Nachbehandlung der Werkstücke. Damit zusammenhängende konkrete Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz und zur Reduktion der THG-Emissionen, die in der Roadmap abgebildet werden, sind folgende:
  - Umstellung der Feuerung der Verzinkungsöfen von Heizöl auf Erdgas (bereits weitgehend in der Branche vollzogen – eher retrospektiv relevant)
  - Wärmedämmung der Verzinkungsöfen
  - Badabdeckung
  - Optimierung Brennertechnologie
  - Erhöhung der Kapazitätsauslastung
  - Abwärmenutzung (Vorbehandlung und Trocknung)
  - Einsatz von (potenziell grünem) Wasserstoff
  - Umstellung auf elektrisch beheizte Öfen (Induktions- und Widerstandsheizung) im Teil-, Vollhybrid und vollelektrischem Modus mit höherem Wirkungsgrad im Vergleich zur Erdgasfeuerung
  - Eigenstromversorgung mit Photovoltaik
- Als exogenen Aspekt bildet die Roadmap die Dekarbonisierung des Stromnetzes durch den EE-Ausbau und den Ausbau der Netze und Speicher ab.
- Zudem wird die Vorkette Zink mit einbezogen, da diese die THG-Emissionen des Feuerverzinkens mit einem Anteil von rund 30 % signifikant mitbestimmen. Gleichzeitig gibt es auch in diesem Bereich Ansätze zur relevanten Minderung von THG-Emissionen, beispielsweise durch den forcierten Einsatz erneuerbarer Energieträger und den weiteren Ausbau der Kreislaufwirtschaft.
- Während der Nutzungsphase von verzinkten Bauteilen findet eine sogenannte Karbonatisierung statt, das heißt es erfolgt eine Absorption/Adsorption von Kohlendioxid in das Material, vgl.

beispielsweise Nordby und Shea (2013). Damit können verzinkte Bauelemente grundsätzlich als CO<sub>2</sub>-Senke angesehen werden. Die sichere Quantifizierung dieses Effekts ist allerdings bisher nicht erfolgt, so dass dieser Effekt in der vorliegenden Roadmap nicht berücksichtigt wird.

### 3.4 Datenmodell und Datengrundlagen der Roadmap

In der nachstehenden Abbildung sind die innerhalb der definierten Systemgrenze liegenden Komponenten des Datenmodells schematisch dargestellt. Die Komponente „Feuerverzinkung in Deutschland“ definiert zum einen die direkten THG-Emissionen aus dem Brennstoffeinsatz, zum anderen definiert diese Komponente die Nachfrage nach Brennstoffen, nach elektrischem Strom sowie nach Zink. Die Verteilung der Nachfragekomponenten unterliegt innerhalb des Projektionszeitraums zwischen 2025 und 2045 einem signifikanten Wandel: Während im Jahr 2025 Erdgas mit einem Anteil von 96 % der dominierende Energieträger ist, besteht im Zieljahr 2045 der Energieträgermix zu 95 % aus Strom und 5 % aus Wasserstoff.

Abbildung 3-1: Komponenten des Datenmodells



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut Consult GmbH

In den nachstehenden Abschnitten werden die Datengrundlagen der Komponenten des Datenmodells näher erläutert.

### 3.4.1 Komponente „Feuerverzinkung in Deutschland“

Bei dieser Komponente des Datenmodells konnte mit Blick auf die Mengen an feuerverzinktem Stahl in der Retrospektive im Wesentlichen auf Verbandsstatistiken zurückgegriffen werden. Teilweise wurde zwischen bekannten Datenpunkten interpoliert. Dasselbe trifft für die Anzahl an Anlagen und die Art der Kesselheizung zu. Beim spezifischen Energiebedarf konnte teilweise auf gesonderte Erhebungen zurückgegriffen werden, zum Teil handelt es sich um Angaben aus Experteninterviews und daraus abgeleiteten plausiblen Abschätzungen. In den Datentabellen wurde für jeden Einzeleintrag die Datenherkunft entsprechend gekennzeichnet. Der spezifische Zinkbedarf sinkt von 7 % im Jahr 1990 auf 5 % im Jahr 2025; diese Quote bleibt bis ins Zieljahr der Projektion 2045 konstant. Insgesamt wird bis 2045 davon ausgegangen, dass die Nachfrage nach Industrieprodukten leicht wachsend ist mit einem angenommenen Mengenwachstum von 1 % p.a. Bei vorgenommenen Abschätzungen wurde grundsätzlich ein Worst-Case-Ansatz verfolgt, so dass die daraus ermittelten Ergebnisse robust sind.

### 3.4.2 Komponente „Vorkette Brennstoffe“

Für die direkten und indirekten THG-Emissionen der fossilen Brennstoffe wurde auf Daten aus GEMIS (Globales Emissions-Modell integrierter Systeme), Version 5.1 aus dem Jahr 2023 zurückgegriffen<sup>4</sup>. GEMIS ist ein 1989 eingeführtes und in Fachkreisen etabliertes und anerkanntes Computermodell zur Lebensweg- und Stoffstromanalyse mit integrierter Datenbank für gängige Energie-, Stoff- und Verkehrssysteme.

### 3.4.3 Komponente „Vorkette Strom“

Bei dieser Komponente liegt die Besonderheit darin, dass sich die Stromerzeugung in Deutschland im Projektionszeitraum von 2025 bis 2045 durch den weiteren EE-Ausbau, einschließlich Ausbau von Netzen und Speichern, wesentlich ändern wird. Aufgrund der Ergebnisrelevanz wird die hier genutzte Datengrundlage, der letztverfügbare Projektionsbericht 2025, näher dargestellt. Allgemeiner Hintergrund der Treibhausgas-Projektionen sind das Bundesklimaschutz-Gesetz<sup>5</sup> sowie verbindliche Berichtspflichten Deutschlands gegenüber der EU und den Vereinten Nationen. Im Kern geht es bei den Projektionen um die Frage, ob die im Klimaschutz-Gesetz festgelegten Klimaziele mit der aktuellen Klimaschutzpolitik erreicht werden, bzw. welche Lücken bestehen. Dabei werden grundlegend zwei Szenarien unterschieden<sup>6</sup>:

- **MMS (Mit-Maßnahmen-Szenario):**

Dieses Szenario berücksichtigt die zum jeweiligen Modellierungsbeginn gültigen Klimaschutzinstrumente. Die Emissionsminderungen dieses modellierten Szenarios können als weitgehend gesichert gelten, soweit die Annahmen (z.B. Förderbudgets, Preisentwicklungen und weitere Rahmendaten) eintreten.

- **MWMS (Mit-Weiteren-Maßnahmen-Szenario):**

In dieses Szenario gehen, zusätzlich zu den Maßnahmen des MMS, bereits konkret geplante, jedoch noch nicht implementierte Maßnahmen ein. Die künftigen Emissionsminderungen sind

---

<sup>4</sup> [https://iinas.org/app/uploads/2023/03/GEMIS\\_5.1.zip](https://iinas.org/app/uploads/2023/03/GEMIS_5.1.zip)

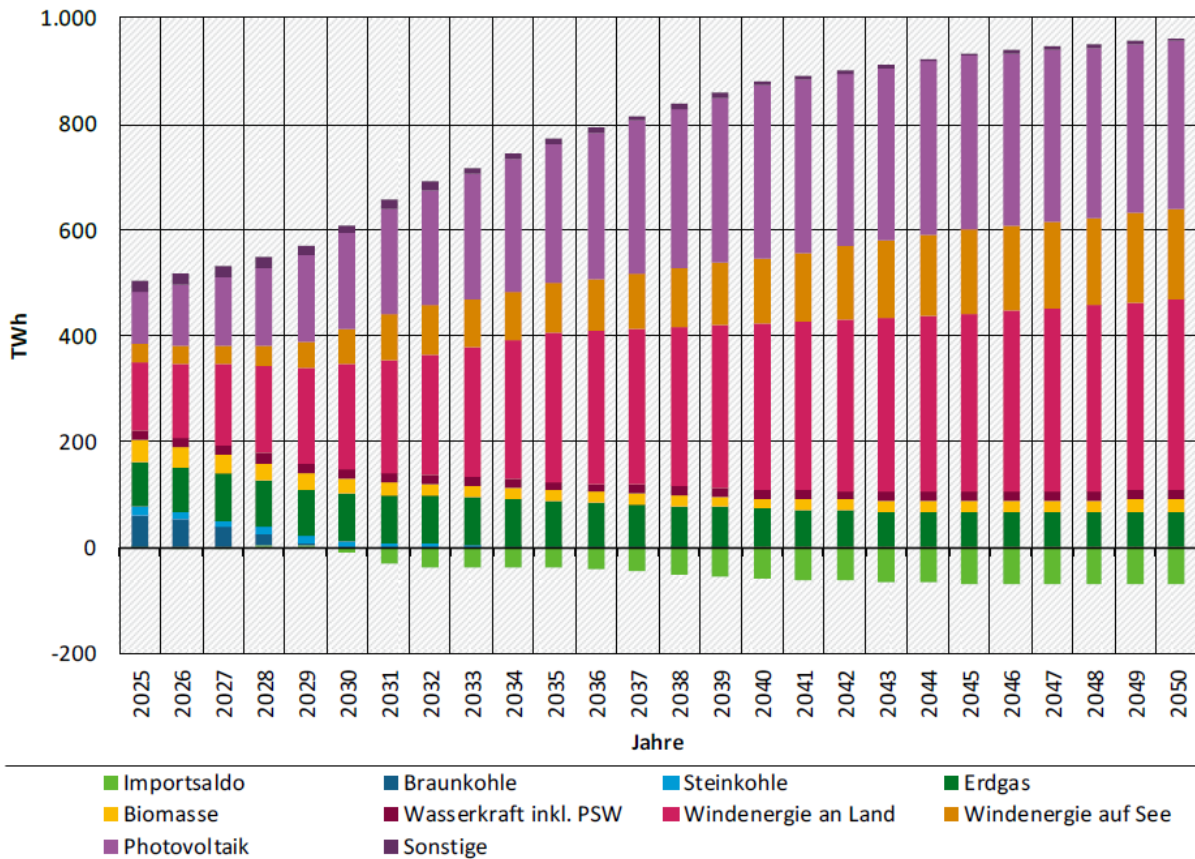
<sup>5</sup> <https://www.gesetze-im-internet.de/ksg/index.html>

<sup>6</sup> <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/klimaschutz-energiepolitik-in-deutschland/szenarien-projektionen/treibhausgas-projektionen-in-deutschland#projektionen>

abhängig vom politischen Willen, geplante Klimapolitik umzusetzen. Sie können nicht per se als sicher angesehen werden.

Für diese Roadmap wurden mit Blick auf die THG-Entwicklung aus der Strombereitstellung ausschließlich Daten des MMS herangezogen. In der nachstehenden Abbildung wird die projizierte Nettostromerzeugung im Zeitraum 2025 bis 2050 dargestellt.

**Abbildung 3-2: Projizierte Nettostromerzeugung im Szenario „Mit-Maßnahmen-Szenario (MMS)“ für den Zeitraum 2025-2050 nach den Treibhausgas-Projektionen 2025 für Deutschland (Projektionsbericht 2025)**



Quelle: Förster und Repenning (2025)

Daraus wird ersichtlich, dass sich die Nettostromerzeugung von rund 484 TWh im Jahr 2023 auf rund 967 TWh im Jahr 2050 verdoppelt. Während Deutschland in den Jahren 2023 und 2025 noch ein Netto-Stromimporteur war, wird es ab 2030 zu einem Netto-Stromexporteur. Besonders markant ist die Zunahme des Anteils erneuerbarer Energien: Die Nettostromerzeugung aus erneuerbaren Energien nimmt von 2023 bis 2050 um mehr als das Dreifache zu. Relevante Einzelpositionen sind Windenergie an Land (198 TWh im Jahr 2030 und 338 TWh in 2045), Photovoltaik (182 TWh in 2030 und 328 TWh in 2045) und Windenergie auf See (67 TWh in 2030 und 159 TWh in 2045). Demgegenüber nimmt die Stromerzeugung aus Biomasse bis 2050 ab, was auf den Rückgang des Energiepflanzeneinsatzes in Biogasanlagen zurückzuführen ist. Bei der Diskussion über die Zunahme der Nettostromerzeugung wird mitunter kritisch hinterfragt, ob die Zielgröße an erneuerbarem Strom vor dem Hintergrund der Elektrifizierung der Industrie (Prozesswärme) und weiterer Sektoren unserer Gesellschaft ausreichend ist. Allerdings wird in den Projektionsberichten die Elektrifizierung der

Industrie und weiterer Sektoren explizit berücksichtigt. In die Projektionen wird auch einbezogen, dass der Gesamtenergieverbrauch von derzeit 2250 TWh durch die Elektrifizierung erheblich zurückgehen wird, da die Elektrifizierung den Vorteil der effizienteren Energienutzung einschließt.

Mit der Zunahme der Nettostromerzeugung aus erneuerbaren Energien sinken auch die spezifischen THG-Emissionen aus der Strombereitstellung von rund 340 kg CO<sub>2</sub>-eq/MWh im Jahr 2025 bis ca. 40 kg CO<sub>2</sub>-eq/MWh im Jahr 2045.

#### 3.4.4 Komponente „Vorkette Zink“

Generell werden bei dieser Komponente unterschiedliche Bezugsquellen an Zink unterschieden:

- Zink, globaler Bezug
- Zink, europäischer Bezug
- Zink, „low carbon“; Boliden, Trafigura und Rezinal
- Zink remelted; historisch

Für die konkrete Ableitung der Emissionsfaktoren wurde wie folgt vorgegangen:

- Ausgangsbasis sind veröffentlichte Ökobilanzergebnisse der International Zinc Association (IZA 2024; 2023). Diese beziehen sich auf das Jahr 2021 und werden vereinfachend in der Roadmap dem Bezugsjahr 2020 zugeordnet.
- Aus den Veröffentlichungen kann geschlossen werden, dass beim Schritt der Herstellung von Zinkkonzentrat 70 % des GWP durch den Strombezug verursacht werden. Bei der Zinkschmelze liegt dieser Anteil bei 80 %.
- Für die Ableitung von Emissionsfaktoren aus der Strombereitstellung für die globale Zinkproduktion wurden retrospektiv und prospektiv Daten der Internationalen Energieagentur IAEA herangezogen, wobei bei der Projektion das Szenario „Stated Policies“ für die Jahre 2025, 2035 und 2050 zugrunde gelegt wurde (IEA 2025). Zwischen diesen Jahren wurde linear interpoliert. Die historischen globalen Stromemissionsfaktoren wurden berechnet, indem die Anteile der einzelnen Energieträger an der weltweiten Stromerzeugung (z. B. Kohle, Gas etc.) mit ihren jeweiligen Emissionsintensitäten gewichtet und zu einem globalen Durchschnitt zusammengeführt wurden. Für die europäische Zinkproduktion konnte auf historische Emissionsfaktoren für die Strombereitstellung des Joint Research Centers der EU-Kommission zurückgegriffen werden (Bastos et al. 2024). Für die Projektion der europäischen Zinkproduktion wurde vereinfachend angenommen, dass sich die Emissionsfaktoren analog zur deutschen Projektion entwickeln.
- Die nicht strombedingten THG-Emissionen aus der Herstellung von Zinkkonzentrat stammen im Wesentlichen aus Minenfahrzeugen. Die Mitglieder des International Council for Mining and Metals (ICMM) haben sich als Ziel gesetzt, mit der Dekarbonisierung dieser Fahrzeuge 2030 zu beginnen, mit einer vollständigen Umsetzung im Jahr 2040 (ICMM 2023). Für diesen Anteil des GWP wurde daher bis 2030 keine Veränderung angenommen, in den Folgejahren eine lineare Abnahme bis 2040.
- Für die nicht strombedingten THG-Emissionen aus der Zinkschmelze wird der analoge Verlauf wie bei den spezifischen Emissionsfaktoren des Energiebezugs des Feuerverzinkens von 2020

bis 2045 angenommen. Der historische Anteil wird gleich belassen unter der Annahme, dass aktuell der größte Teil der Anlagen nicht elektrifiziert ist.

- Die von den Unternehmen Boliden, Trafigura und Rezinal für die Bezugsjahre 2020 bzw. 2025 vorgelegten Emissionsfaktoren für low-carbon Zink können nicht nach Beitragsprozessen aufgesplittet werden. Daher werden diese Emissionsfaktoren in einer vereinfachenden Annahme bis zum Zieljahr der Projektion (2045) konstant gehalten.
- Für Zink, remelted wurde der Emissionsfaktor für das Jahr 2020 basierend auf Sachbilanzdaten von Krüger et al. berechnet. Der Bezug von Elektrizität hat einen Anteil von 27 % am GWP. Für diesen Anteil wird der Emissionsfaktor für die zurückliegenden Jahre mit dem Verlauf der europäischen Stromemissionsfaktoren angepasst.

### 3.5 Bündelung der projizierten Entwicklung in zwei Szenarien

Bei der Erstellung von Roadmaps zur Klimaneutralität werden in der Regel unterschiedliche Entwicklungspfade mit ihren Auswirkungen auf die THG-Emissionen entlang der Zeitachse gegenübergestellt. Häufig wird ein sogenanntes Referenzszenario als Baseline definiert, um die Auswirkungen von weiteren Szenarien abzubilden, bei denen beispielsweise die Umsetzung von Maßnahmen mit einem höheren Ambitionsniveau angenommen werden.

Bei der hier erstellten Roadmap wird kein Referenzszenario im Sinne von business as usual definiert, weil sich die Branche bereits jetzt in einem Transformationsprozess befindet. Stattdessen werden zwei Transformationsszenarien gegenübergestellt, die sich in der Flankierung der Transformation unterscheiden. Im Einzelnen:

- **Szenario A:**

Es wird angenommen, dass die Nachfrage nach Industrieprodukten leicht wachsend ist, bei einem Mengenwachstum von 1 % p.a. Die Umstellung in den feuerverzinkenden Betrieben schreitet voran. Im Ausgangsjahr 2025 liegt das Strom-Gaspreisverhältnis bei 3:1 und entwickelt sich langsam bis 2045 zu 1,2:1. Der Ausbau der erneuerbaren Energien schreitet voran und die allgemeinen Rahmenbedingungen für die industrielle Produktion in Deutschland sind beständig. Zölle und Handelsbeschränkungen sind stabil. Investitionsprogramme sind für den Mittelstand nur bedingt zugänglich: Für die mittelständische Betriebe der feuerverzinkenden Industrie werden Investitionen (CAPEX) gefördert, allerdings erfolgen keine Zuschüsse bei den Betriebsausgaben (OPEX) wie insbesondere ein geförderter Industrie- oder Dekarbonisierung-Strompreis.

- **Szenario B:**

Die allgemeinen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen (leichtes Mengenwachstum, beständige Rahmenbedingungen, stabile Zölle und planbare Handelsbeschränkungen) sind identisch zu Szenario A. Allerdings gibt es einen Dekarbonisierungsanreiz, der dazu beiträgt, dass bereits ab dem Jahr 2030 das Strom-Gaspreisverhältnis bei 1,3:1 liegt.

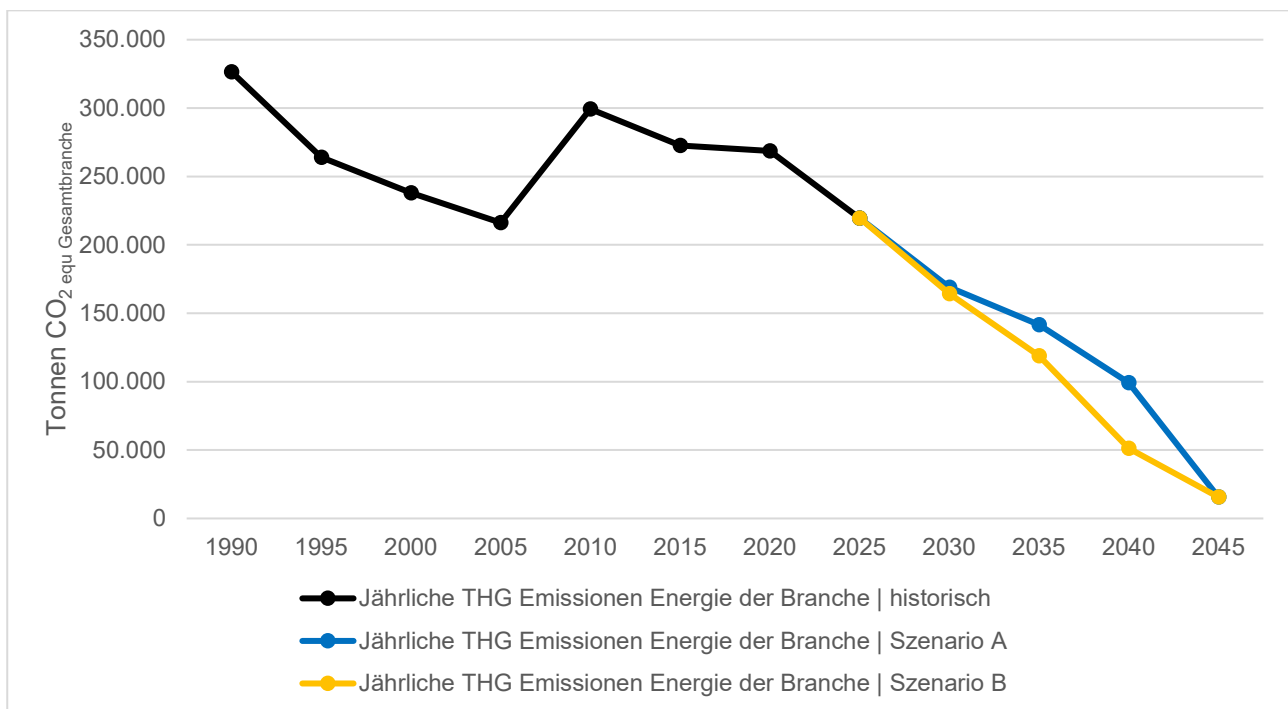
## 4 Ergebnisse

In den nachfolgenden Abbildungen werden die Kernergebnisse der Roadmap vorgestellt und diskutiert. Um die Einflüsse auf die Entwicklung der THG-Emissionen besser erklären zu können, werden zunächst die THG-Emissionen aus der Energiebereitstellung einerseits und aus der Bereitstellung von Zink andererseits getrennt dargestellt. Die Zusammenführung beider Beitragsfaktoren erlaubt dann neben der Gesamtschau der Entwicklung der THG-Emissionen auch einen Vergleich beider Szenarien.

### 4.1 Emissionsentwicklung aus der Energiebereitstellung

Bei der Entwicklung der absoluten jährlichen Emissionen aus der Energiebereitstellung für das Feuerverzinken, vgl. Abbildung 4-1, können verschiedene Phasen unterschieden werden. Zwischen 1990 und 1995 wurden noch einige Anlagen von Heizölfeuerung auf Erdgasfeuerung umgestellt, was zu einer vergleichsweise steilen Minderung der THG-Emissionen geführt hat. In den Folgejahren bis 2005 und in der Zeitspanne zwischen 2010 und 2025 ist der weitere Rückgang auf die Umsetzung von verschiedenen Effizienzmaßnahmen in den Betrieben zurückzuführen. Die deutliche Zunahme zwischen 2005 und 2010 kann auf eine starke Zunahme der Menge an feuerverzinktem Stahl zurückgeführt werden.

**Abbildung 4-1: Jährliche THG-Emissionen aus der Energiebereitstellung für das Feuerverzinken in Deutschland**

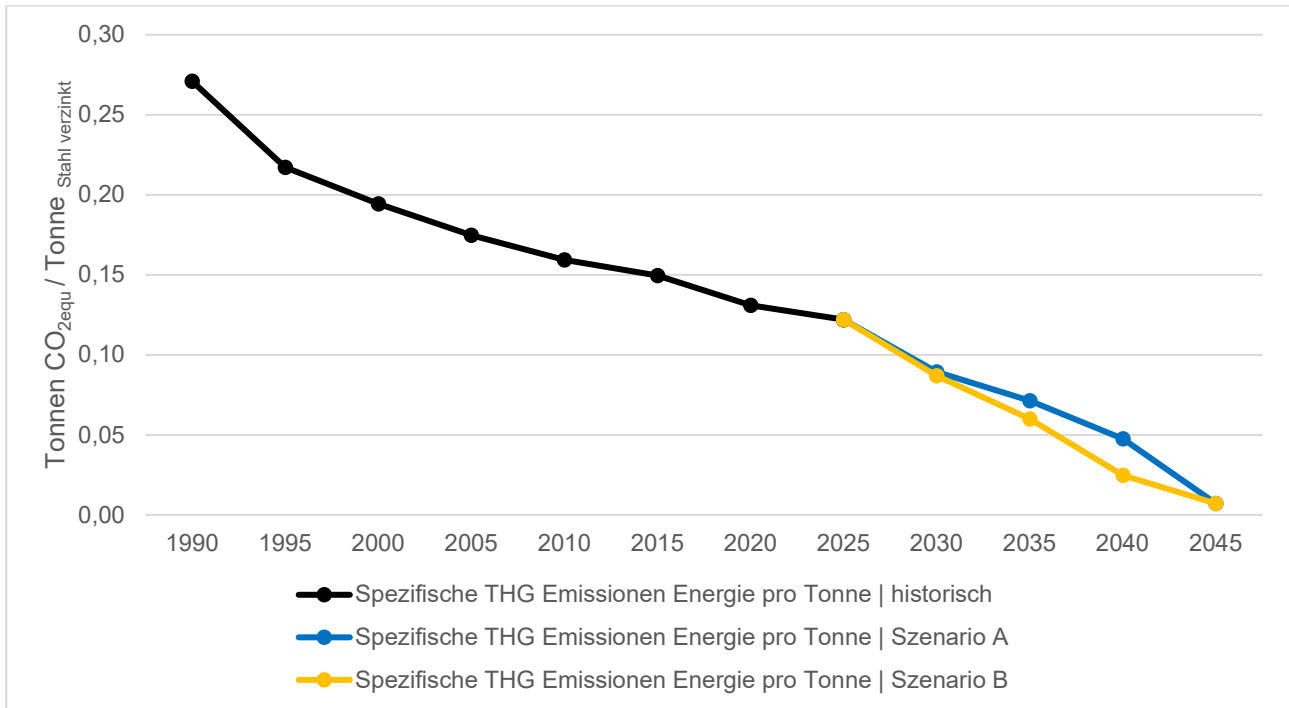


Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut Consult GmbH

Dieser Effekt wird deutlich, wenn im Vergleich zu den absoluten auch die spezifischen THG-Emissionen bezogen auf die Menge verzinkten Stahls betrachtet werden, siehe Abbildung 4-2. Die

Projektion ab dem Jahr 2025 bis zum Zieljahr 2045 zeigt eine weitere, deutliche Abnahme der jährlichen THG-Emissionen bis hin zu Werten unter 20.000 Tonnen CO<sub>2</sub>-equ. Dieser Rückgang ist auf die Umstellung von Erdgas auf strombeheizte Verzinkungsöfen mit einem höheren Wirkungsgrad und auf die zunehmende Dekarbonisierung der Strombereitstellung zurückzuführen.

**Abbildung 4-2: Spezifische THG-Emissionen aus der Energiebereitstellung für das Feuerverzinken in Deutschland**



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut Consult GmbH

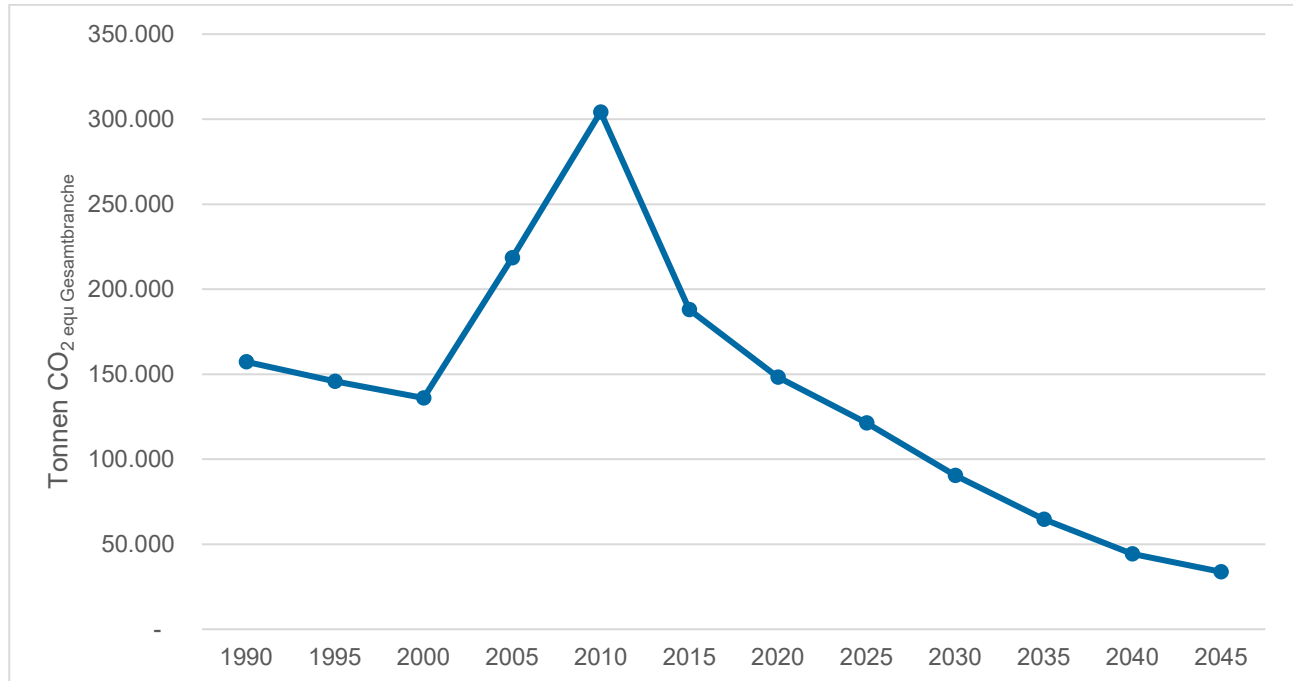
## 4.2 Emissionsentwicklung aus der Zinkbereitstellung

Die absoluten THG-Emissionen (siehe Abbildung 4-3) und die spezifischen THG-Emissionen (siehe Abbildung 4-4) aus dem Bezug von Zink zeigen eine ähnliche Entwicklung wie die energiebedingten THG-Emissionen. Die Zunahme der absoluten und der spezifischen THG-Emissionen zwischen den Jahren 2000 und 2010 beruht allerdings auf zwei unterschiedlichen Aspekten. Zwischen 2005 und 2010 ist die Zunahme im Wesentlichen auf eine höhere Menge an feuerverzinkten Stahl zurückzuführen. Die Zunahme zwischen den Jahren 2000 und 2005 ist hingegen durch höhere Qualitätsanforderungen an den Rohstoff Zink und die insolvenzbedingte Schließung der Metallhütte Duisburg (MHD) im Jahr 2005 zurückzuführen. Das von der MHD betriebene Imperial-Smelting-Verfahren war gut geeignet für Sekundärrohstoffe. Nach der Schließung des Werks hat sich der Mix zunächst in Richtung höherer Anteile von Zink aus primären Rohstoffquellen in SHG-(Special High Grade)-Qualität verschoben.

Unabhängig von diesem Sondereffekt haben im Zeitraum 2010 bis 2025 die absoluten und die spezifischen THG-Emissionen aus dem Zinkbezug signifikant abgenommen. Dies ist zum einen darauf zurückzuführen, dass der auf die Menge feuerverzinkten Stahls bezogene Zinkverbrauch von 7 % bis zu 5 % kontinuierlich verringert werden konnte. Zum anderen ist der Rückgang an THG-Emissionen auf den Einsatz von „low-carbon“ Zink zurückzuführen. Für die Projektion bis zum Jahr 2045 wird konservativ davon ausgegangen, dass der spezifische Zinkeinsatz nicht unter 5 % reduziert

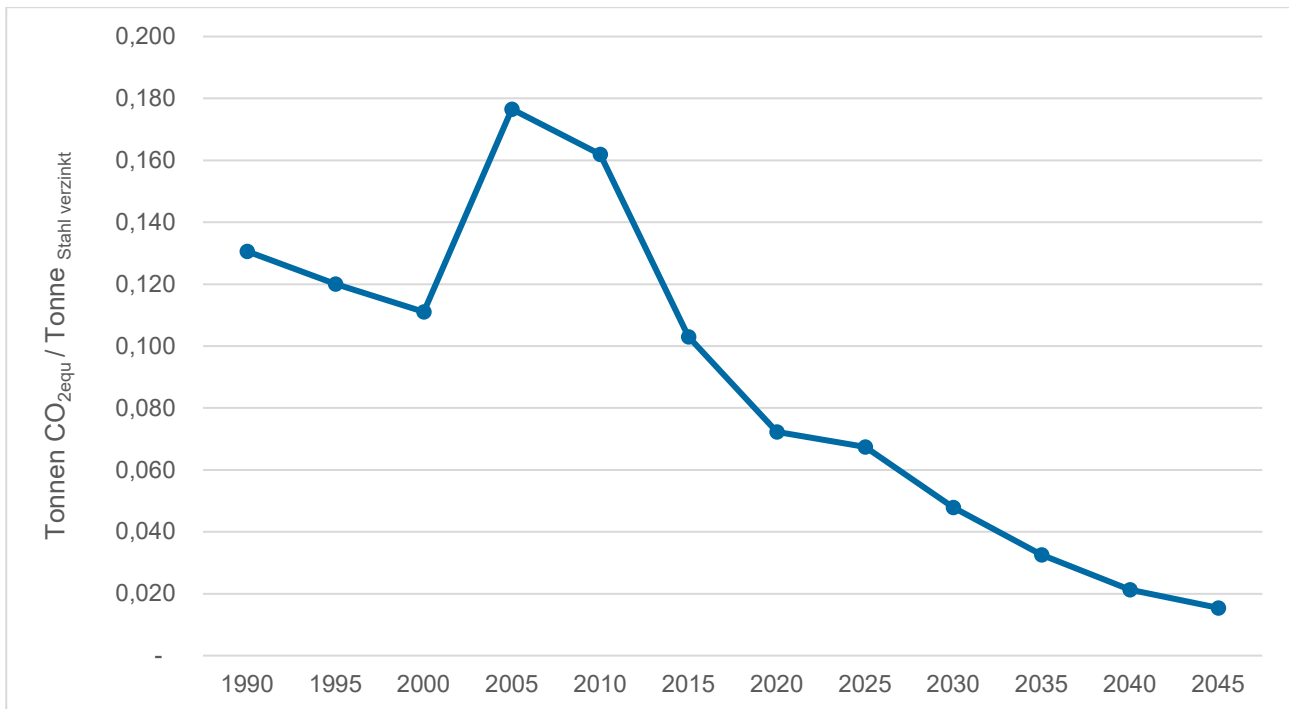
werden kann, d.h. die Abnahme der THG-Emissionen in diesem Zeitraum ist ausschließlich auf die Dekarbonisierung der Vorkette Zink zurückzuführen.

**Abbildung 4-3: Jährliche THG-Emissionen aus der Vorkette Zink für das Feuerverzinken in Deutschland**



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut Consult GmbH

**Abbildung 4-4: Spezifische THG-Emissionen aus der Vorkette Zink für das Feuerverzinken in Deutschland**



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut Consult GmbH

### 4.3 Gesamtentwicklung der THG-Emissionen des Feuerverzinkens

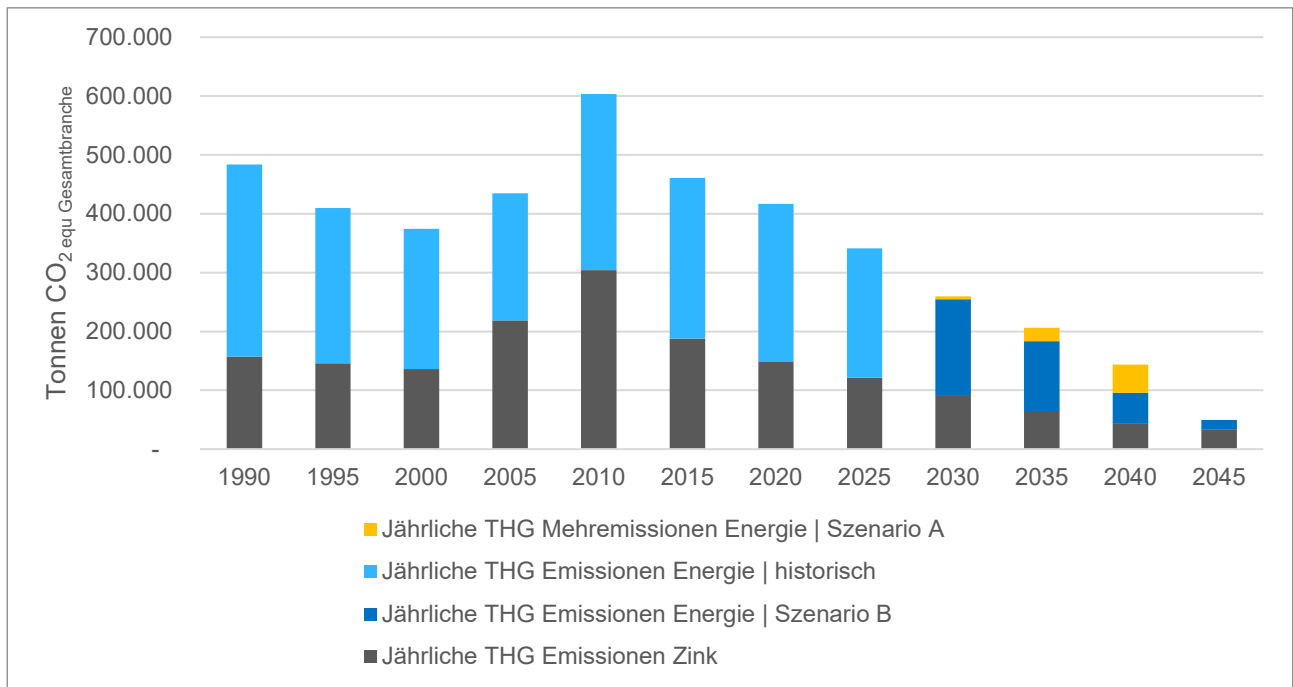
In den beiden nachstehenden Abbildungen wird eine Gesamtschau der Entwicklung der THG-Emissionen im Zeitraum 1990 bis 2045 vorgenommen, Abbildung 4-5 zeigt die absoluten jährlichen THG-Emissionen auf, in Abbildung 4-6 werden die spezifischen THG-Emissionen bezogen auf die feuerverzinkte Menge an Stahl dargestellt.

Aus dieser Zusammenschau wird deutlich, dass die THG-Emissionen aus der Zinkbereitstellung einen nicht unerheblichen Beitrag an den modellierten gesamten THG-Emissionen des Feuerverzinkens in Deutschland einnehmen: Die Anteile liegen zwischen rund 33 % (im Jahr 1990), 50 % (im Jahr 2010), 35 % (im Jahr 2025) und knapp 70 % (im Jahr 2045). Bei dem letztgenannten Wert muss allerdings berücksichtigt werden, dass zur Dekarbonisierung in der Vorkette Zink vergleichsweise wenig belastbare Informationen verfügbar sind und der Wert daher überwiegend auf plausiblen Annahmen beruht. Generell handelt sich bei den Beiträgen der Zinkbereitstellung in der Logik des GHG Protocol um Scope-3-Emissionen, die aufgrund der Struktur der Wertschöpfungskette überwiegend im Ausland entstehen und somit bei einem nationalen Inventar der THG-Emissionen aufgrund der Binnen-Logik nicht ausgewiesen werden. Dieser Sachverhalt muss bei Quervergleichen zu anderen Branchen berücksichtigt werden<sup>7</sup>.

Aus der Gesamtschau wird auch ersichtlich, dass zwischen 1990 und 2025 die absoluten Emissionen um knapp 30 % vermindert werden konnten, bis 2045 beträgt die Emissionsminderung ca. 90 %.

<sup>7</sup> So beschreibt beispielsweise die Roadmap der Deutschen Gießereien ausschließlich Scope-1- und Scope-2-Emissionen.

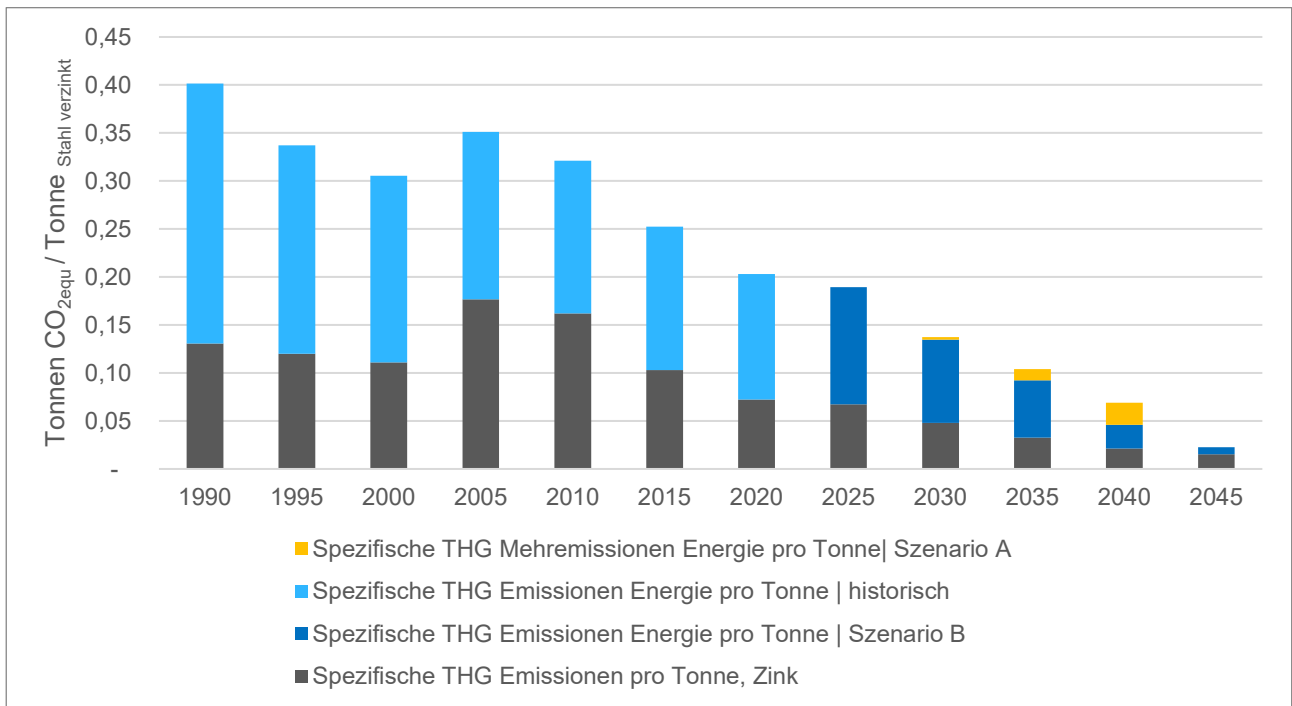
**Abbildung 4-5: Jährliche THG-Emissionen für das Feuerverzinken in Deutschland**



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut Consult GmbH

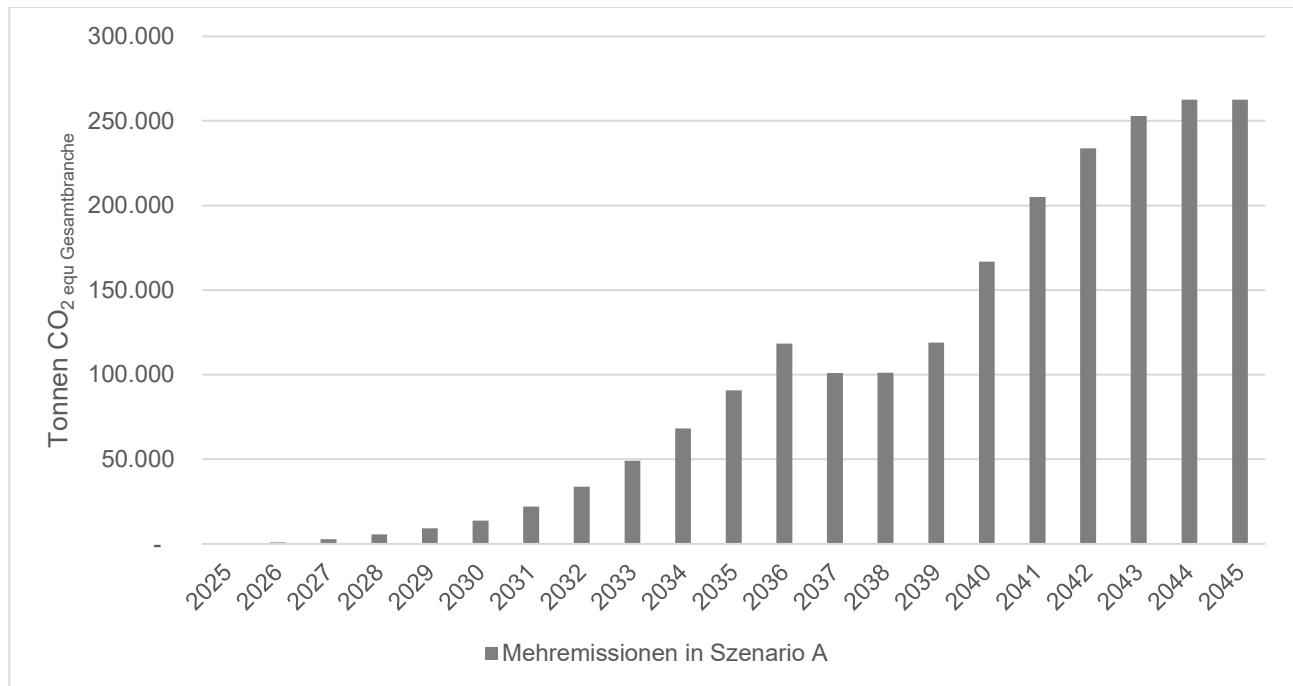
Bei den spezifischen THG-Emissionen fällt die Minderung noch signifikanter aus, hier wurden die THG-Emissionen zwischen 1990 und 2025 mehr als halbiert und bis 2045 sind die THG-Emissionen um 93 % geringer gegenüber dem Ausgangsjahr 1990, siehe Abbildung 4-6.

Abbildung 4-6: Spezifische THG-Emissionen für das Feuerverzinken in Deutschland



Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut Consult GmbH

Für das Szenario B wurde, bei sonst gleichen allgemeinen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, angenommen, dass es gegenüber Szenario A zusätzliche Anreize gibt, die zu einer schnelleren Umstellung der feuerverzinkenden Betriebe hin zu elektrisch beheizten Verzinkungsbädern führen. Die forciertere Transformation würde zu zusätzlichen Einsparungen bei den kumulierten THG-Emissionen führen, die im Zieljahr bei über 250.000 Tonnen CO<sub>2</sub>equ liegen würden, siehe Abbildung 4-7.

**Abbildung 4-7: Kumulierte THG-Mehremissionen im Szenario A im Vergleich zu Szenario B**

Quelle: Eigene Darstellung Öko-Institut Consult GmbH

## 5 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die vorliegende Roadmap zeigt auf, wie die deutsche Feuerverzinkungsindustrie bis zum Jahr 2045 treibhausgasneutral werden kann. Feuerverzinken ist das bedeutendste Verfahren zum Korrosionsschutz von verschiedensten Stahlanwendungen. Mit Zink überzogene Stahlteile werden in den unterschiedlichsten Branchen eingesetzt, Schwerpunkte sind private, gewerbliche und industrielle Bauten, der Fahrzeug- und Maschinenbau, die Landwirtschaft und viele andere mehr.

Durch Maßnahmen der Energieeffizienz und optimalen Rohstoffnutzung hat die Branche im Zeitraum 1990 bis 2025 die spezifischen THG-Emissionen der Feuerverzinkung von Stahl mehr als halbieren können. Durch weitere Ausschöpfung von Maßnahmen der Energieeffizienz sowie die Elektrifizierung der Beheizung der Verzinkungsöfen und dem EE-Ausbau sowie dem Bezug von Low-Carbon-Zink ist auch absolut gesehen eine weitgehende Reduktion der THG-Emissionen um mindestens 90 % gegenüber 1990 bis ins Jahr 2045 möglich. Die weiteren Möglichkeiten der Dekarbonisierung insbesondere in der Vorkette Zink konnten in dieser Roadmap noch nicht detailliert betrachtet werden, so dass die projizierte Abnahme der THG-Emissionen als konservativ anzusehen ist. Durch schwer minderbare THG-Emissionen, beispielsweise aus dem Capital Equipment von EE-Anlagen wird die Branche zudem auf die Entwicklung und den Einsatz von Carbon-Removal-Technologien angewiesen sein, wenngleich in signifikant geringerem Umfang im Vergleich zu anderen Branchen, wie etwa der Zementindustrie.

In diesem Zusammenhang ist es von großer Relevanz, dass die für die Reduktion der THG-Emissionen erforderlichen Technologien erprobt und auf dem Markt verfügbar sind. Damit unterscheidet sich die Feuerverzinkungsindustrie von anderen Branchen, bei denen Technologien wie die Bereitstellung von Prozesswärme im Hochtemperaturbereich oder metallurgische Reduktionsverfahren noch zur großtechnisch umsetzbaren Reife entwickelt werden müssen.

Die Roadmap weist zudem nach, dass ambitionierte Dekarbonisierungsanreize zu einer zusätzlichen Emissionsminderung von kumuliert rund 250.000 t CO<sub>2</sub>equ beitragen könnten.

Über Anreize zur Dekarbonisierung hinausgehend braucht die Branche unbedingt verlässliche Rahmenbedingungen. Diese sind die Fortsetzung des Ausbaus erneuerbarer Energien, die Beschleunigung des Netzausbaus und die Verlässlichkeit im Netzanschluss. Zudem ist zu beachten, dass die jüngsten Effekte resultierend aus den kriegerischen Verläufen im Nahen Osten nicht mit in die Betrachtung gezogen wurden.

Generell basieren die Ergebnisse dieser Roadmap zu einem nicht unerheblichen Anteil auf den Annahmen und Modellierungen, wie sie im Projektionsbericht 2025 der Bundesregierung vorgenommen wurden. Insbesondere sind die Annahmen zur künftigen Entwicklung des Stromverbrauchs einerseits und der Zunahme der Nettostromerzeugung und hier der Anteil an erneuerbaren Energien besonders ergebnisrelevant. Daher ist zu beachten, dass Projektionen keine Prognosen sind, sondern auf Modellen beruhen, die eine langjährige plausible Emissionsentwicklung unter den Bedingungen und Annahmen zum Start des Modellierungszeitpunktes (hier Herbst 2024) zugrunde legen. Damit können Sondereffekte und unvorhergesehene, kurzfristige Ereignisse, wie z. B. Auswirkungen des Koalitionsvertrags auf Instrumentenausgestaltungen oder aktuell mögliche Verknappungen und Engpässe bei fossilen Energieträgern, methodisch nicht oder nur begrenzt in die Modelle integriert werden. Vor diesem Hintergrund empfehlen wir dem Bundesverband Feuerverzinken, die weiteren Entwicklungen im Blick zu halten unter der Frage, ob die in dieser Roadmap getroffenen Annahmen zur Projektion der THG-Emissionen noch zutreffen. Unabhängig davon sollte die Roadmap

mindestens in 5-Jahres-Abständen aktualisiert werden. Da alle Datenquellen des Rechenmodells gekennzeichnet sind und zudem die Daten zur Projektion des EE-Ausbaus öffentlich verfügbar sind, sind die Aufwendungen für Fortschreibungen der Roadmap überschaubar.

## 6 Literaturverzeichnis

- Bastos, J.; Monforti-Ferrario, F.; Melica, J. (2024): GHG Emission Factors for Electricity Consumption (JRC136340). European Commission (Hg.). Online verfügbar unter <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC136340>, zuletzt geprüft am 30.04.2026.
- BDG - Bundesverband der Deutschen Gießerei-Industrie (Hg.) (2025): Roadmap: Treibhausgasneutralität für die deutsche Gießerei-Industrie. Kurzfassung der Studie von FutureCamp Climate GmbH für den BDG. Düsseldorf. Online verfügbar unter [https://www.guss.de/fileadmin/user\\_upload/roadmap\\_ds4kk.pdf](https://www.guss.de/fileadmin/user_upload/roadmap_ds4kk.pdf), zuletzt geprüft am 30.04.2026.
- Förster, H.; Repenning, J. e. a. (2025): Treibhausgas-Projektionen 2025 für Deutschland, Projektionsbericht 2025. Umweltbundesamt (Hg.). Dessau-Roßlau. Online verfügbar unter <https://openumwelt.de/bitstreams/856d77fc-5d8c-48d7-83ae-0adc8c61a702/download>, zuletzt geprüft am 30.04.2026.
- Geres, R.; Kohn, A.; Lenz, S.; Ausfelder, F.; Bazzanella, A. M.; Möller, A. (2019): Roadmap Chemie 2050, Auf dem Weg zu einer treibhausgasneutralen chemischen Industrie in Deutschland. Verband der Chemischen Industrie e.V. (Hg.). Frankfurt am Main.
- Geres, R.; Wehrl, A.; Ausfelder, F.; Bazzanella, A. M.; Wendler, K. (2023): C4: Chemistry for Climate, Wie die Transformation der Chemie gelingen kann. Abschlussbericht 2023. Verband der Chemischen Industrie e.V. (Hg.). Frankfurt am Main. Online verfügbar unter <https://www.vci.de/vci/downloads-vci/publikation/broschueren-und-faltblaetter/final-c4c-broschure-langfassung.pdf>, zuletzt geprüft am 30.04.2026.
- ICMM (Hg.) (2023): Insights from ICMM's Innovation for Cleaner, Safer Vehicles (ICSV) initiative. Online verfügbar unter [https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/innovation/2023/paper\\_icsv.pdf?cb=68842](https://www.icmm.com/website/publications/pdfs/innovation/2023/paper_icsv.pdf?cb=68842), zuletzt geprüft am 30.04.2026.
- IEA (Hg.) (2025): World Energy Outlook 2025. International Energy Agency. Online verfügbar unter <https://iea.blob.core.windows.net/assets/9753df19-0a71-422a-b725-012c555763b3/WorldEnergyOutlook2025.pdf>, zuletzt geprüft am 30.04.2026.
- IZA (Hg.) (2023): Zinc - environmental profile, Life Cycle Assessment 2023 based on 2021 industry data. International Zinc Association. Online verfügbar unter <https://www.zinc.org/wp-content/uploads/sites/30/2023/09/IZA-3890-EnvironmentalProfile.-R3-v1.pdf>, zuletzt geprüft am 30.04.2026.
- IZA (Hg.) (2024): Zinc Carbon Footprint, Technical Guidance on Carbon Footprint Calculation for Zinc Ore Concentrate, Special High-Grade (SHG) Zinc, and Primary Zinc Alloys. Version 2.1. International Zinc Association. Online verfügbar unter <https://www.zinc.org/wp-content/uploads/sites/30/2024/11/24.11.12.CF-Guidance-for-Zinc-V2.1-VF-1.pdf>, zuletzt geprüft am 30.04.2026.
- Nordby, A. S.; Shea, A. D. (2013): Building Materials in the Operational Phase. In: *J of Industrial Ecology* 17 (5), S. 763–776. DOI: 10.1111/jiec.12046.
- Umweltbundesamt (2019): Freiwillige CO<sub>2</sub>-Kompensation. Umweltbundesamt (Hg.). Online verfügbar unter <https://www.umweltbundesamt.de/themen/freiwillige-co2-kompensation>, zuletzt aktualisiert am 23.07.2019.
- WBGU (Hg.) (2009): Der WBGU-Budgetansatz (Factsheet, Nr. 3/2009). Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umweltveränderungen. Berlin. Online verfügbar unter

[https://www.wbgu.de/fileadmin/user\\_upload/wbgu/publikationen/factsheets/fs3\\_2009/wbgu\\_factsheet\\_3.pdf](https://www.wbgu.de/fileadmin/user_upload/wbgu/publikationen/factsheets/fs3_2009/wbgu_factsheet_3.pdf), zuletzt geprüft am 30.04.2026.