

CLIMATE CHANGE

52/2025

Final report

Effectiveness of EU Emissions Trading: What drives emission developments?

Analysis of selected sectors and countries

by:

Roman Mendelevitch, Verena Graichen, Felix Matthes, Charlotte Loreck, Hauke Hermann,
Jakob Graichen, Lukas Emele

Öko-Institut e.V., Berlin

Bettina Schäppi, Sophie Kaufmann, Laura Kessler, Alexandra Mäder, Jürg Füssler
INFRAS, Zurich

publisher:

German Environment Agency

CLIMATE CHANGE 52/2025

Ressortforschungsplan of the Federal Ministry for the
Environment, Nature Conservation, Nuclear Safety and
Consumer Protection

Project No. (FKZ) 3719 42 505 0
FB001709/ENG

Final report

Effectiveness of EU Emissions Trading: What drives emission developments?

Analysis of selected sectors and countries

by

Roman Mendelevitch, Verena Graichen, Felix Matthes,
Charlotte Loreck, Hauke Hermann, Jakob Graichen, Lukas
Emele

Öko-Institut e.V., Berlin

Bettina Schäppi, Sophie Kaufmann, Laura Kessler,
Alexandra Mäder, Jürg Füssler

INFRAS, Zurich

On behalf of the German Environment Agency

Imprint

Publisher

Umweltbundesamt
Wörlitzer Platz 1
06844 Dessau-Roßlau
Tel: +49 340-2103-0
Fax: +49 340-2103-2285
buergerservice@uba.de
Internet: www.umweltbundesamt.de

Report performed by:

Oeko-Institut e.V.
Borkumstr. 2
13189 Berlin
Germany

Report completed in:

November 2024

Edited by:

Section V 3.3 Economic Aspects of Emissions Trading, Auctioning, Evaluation
Alexandra Zirkel

DOI:
<https://doi.org/10.60810/openumwelt-7668>

ISSN 1862-4359

Dessau-Roßlau, September 2025

The responsibility for the content of this publication lies with the author(s).

Abstract: Effectiveness of EU Emissions Trading: What drives emission developments?

The EU Emissions Trading System (EU ETS) is the cornerstone of EU policies to reduce emissions in industrial sectors as well as power generation. Since its introduction in 2005 emissions of the covered sectors have declined. The aim of the project is to assess the effectiveness of the EU ETS 1 and to identify and classify the drivers of emissions development in the covered sectors. In particular, the sectors steel and iron production, cement clinker production, petroleum refineries and the combustion sector are considered.

The generation of electricity and heat is the largest single activity covered by the EU ETS. Due to the interconnectedness, the difference in the emission intensity of the different fuels and their configuration in a competitive marginal cost pricing market, power plants had a large potential for a cleaner dispatch of generation units initiated by the pricing signal of the EU ETS. In combination with the fast but varied uptake of renewable energies emissions have declined faster in the combustion sector than in any of the industrial sectors covered.

In all industrial sectors assessed the emission development is in the investigation period closely linked to the domestic demand which is in turn influenced by the economic development. In the iron and steel sector the production routes – electric arc furnaces and blast oxygen furnaces - differ substantially in regard to their emission intensity; direct reduction with hydrogen is expected to play a role in emission reduction in the future. In the cement sector important emission reduction measures are lowering the clinker content and switching to cleaner fuels. In the refining sector in most countries emissions show a declining trend even though the refinery throughput has increased. One reason is the substitution of natural gas for liquid fuels in the refining process. In some countries, there has also been a conversion of conventional refineries into biorefineries.

Kurzbeschreibung: Wirksamkeit des EU-Emissionshandels: Identifikation und Analyse der wichtigsten Treiber der Emissionsentwicklung in ausgewählten Branchen und Ländern

Das EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS) ist der Eckpfeiler der EU-Politik zur Verringerung der Emissionen in den Industriesektoren und bei der Stromerzeugung. Seit seiner Einführung im Jahr 2005 sind die Emissionen in den betroffenen Sektoren zurückgegangen. Ziel des Projekts ist es, die Wirksamkeit des EU-ETS 1 zu bewerten und die Treiber für die Emissionsentwicklung in den erfassten Sektoren zu ermitteln und zu klassifizieren. Dabei werden insbesondere die Sektoren Stahl- und Eisenerzeugung, Zementklinkerherstellung, Mineralölraffinerien und der Verbrennungssektor betrachtet.

Die Erzeugung von Strom und Wärme ist die größte Einzelaktivität, die unter das EU-ETS 1 fällt. Aufgrund der Vernetzung, der unterschiedlichen Emissionsintensität der verschiedenen Brennstoffe und ihrer Einordnung in einen wettbewerbsorientierten Markt mit Grenzkostenpreisen verfügten die Kraftwerke über ein großes Potenzial für einen saubereren Einsatz von Erzeugungseinheiten, der durch das Preissignal des EU-ETS ausgelöst wurde. In Verbindung mit der dynamischen, aber unterschiedlichen Einführung erneuerbarer Energien sind die Emissionen im Verbrennungssektor schneller zurückgegangen als in allen anderen untersuchten Industriesektoren.

In allen untersuchten Industriesektoren ist die Emissionsentwicklung im Untersuchungszeitraum eng mit der Inlandsnachfrage verbunden, die wiederum von der wirtschaftlichen Entwicklung beeinflusst wird. Im Eisen- und Stahlsektor unterscheiden sich die Produktionsrouten - Elektrolichtbogenöfen und Hochöfen - hinsichtlich ihrer Emissionsintensität erheblich; die direkte Reduktion mit Wasserstoff dürfte in Zukunft eine Rolle bei der Emissionsminderung spielen. Im Zementsektor sind wichtige Maßnahmen zur Emissionsminderung die Senkung des Klinkeranteils und die Umstellung auf sauberere

Brennstoffe. Im Raffineriesektor zeigen die Emissionen in den meisten Ländern einen rückläufigen Trend, obwohl der Raffineriedurchsatz gestiegen ist. Ein Grund dafür ist die Substitution von flüssigen Brennstoffen durch Erdgas im Raffinerieprozess. In einigen Ländern wurden auch konventionelle Raffinerien in Bioraffinerien umgewandelt.

Table of content

List of figures	8
List of tables	9
List of abbreviations	10
1 Main results.....	11
1.1 Development of combustion installations under the EU-ETS.....	11
1.2 Development of the iron and steelmaking sector under the EU-ETS	14
1.3 Development of the cement clinker production sector under the EU-ETS	17
1.4 Development of the petroleum refining industry under the EU-ETS	19
1.5 Decomposition analysis of CO ₂ emissions in the European cement sector.....	22
1.6 Decomposition analysis of CO ₂ emissions in the European iron and steel sector.....	24
2 Ergebnisse der Studien.....	29
2.1 Entwicklung von Feuerungsanlagen unter dem EU-ETS	29
2.2 Entwicklung des Eisen- und Stahlerzeugungssektors im Rahmen des EU-ETS	32
2.3 Entwicklung der Zementklinkerproduktion im Rahmen des EU-ETS	35
2.4 Entwicklung der Erdölraffinerien im Rahmen des EU-ETS.....	38
2.5 Dekompositionsanalyse der CO ₂ -Emissionen der Zementherstellung	40
2.6 Dekompositionsanalyse der CO ₂ -Emissionen der Eisen- und Stahlherstellung.....	42
3 List of references	48

List of figures

Figure 1:	EU-28: Emission trends in Activity Code 20.....	13
Figure 2:	Emission factor of gross electricity production in EU-28 and selected countries	14
Figure 3:	Selected Member States: Change in key figures of cement clinker production between 2013 and 2017	19
Figure 4:	Selected Member States: Change in key figures of the petroleum refining industry between 2013 and 2017	21
Figure 5:	Evolution of the CO ₂ emissions of cement production in the European Union.....	23
Figure 6:	Development of total emissions from iron and steel production and total crude steel production for the EU 27+UK, 2005-2022.	25
Figure 7:	Decomposition of the change of EU 27+UK CO ₂ emissions from iron and steelmaking between 2005 and 2022 by country and effect.....	26
Figure 8:	Decomposition of the development of CO ₂ emissions from iron and steelmaking since 2005 in the EU 27+UK	27
Abbildung 1:	EU-28 Emissiontrends in Activity Code 20.....	31
Abbildung 2:	Emissionsfaktor der Bruttostromerzeugung für die EU-28 und ausgewählte Länder	32
Abbildung 3:	Ausgewählte Mitgliedstaaten: Veränderung der Kennzahlen der Zementklinker-produktion 2013-2017.....	37
Abbildung 4:	Ausgewählte Mitgliedsstaaten: Veränderung der Kennzahlen der Erdölraffinerie zwischen 2013 und 2017	40
Abbildung 5	Entwicklung der CO ₂ -Emissionen der Zementherstellung in der Europäischen Union	41
Abbildung 6:	Entwicklung der Gesamtemissionen aus der Eisen- und Stahlproduktion und der gesamten Rohstahlproduktion für die EU 27+UK, 2005-2022.....	43
Abbildung 7:	Dekomposition der Veränderung der CO ₂ -Emissionen aus der Eisen- und Stahlerzeugung in der EU 27+UK zwischen 2005 und 2022 nach Ländern und Auswirkungen.....	45
Abbildung 8:	Dekomposition der Entwicklung der CO ₂ -Emissionen aus der Eisen- und Stahlerzeugung seit 2005 in der EU 27+UK	46

List of tables

Table 1:	Emissions by process in the iron and steelmaking sector based on site-specific assessment from the EUTL for EU 28	16
Table 2:	Selected Member States: Key figures of cement clinker production in 2017	18
Table 3:	Selected Member States: Key figures of the petroleum refining industry in 2017.....	21
Tabelle 4:	Emissionen nach Produktionsroute in der Eisen- und Stahlerzeugung für die EU-28 auf Grundlage einer standortspezifischen Auswertung der EUTL.....	34
Tabelle 5:	Ausgewählte Mitgliedstaaten: Kennzahlen zur Zementklinkerproduktion (2017)	36
Tabelle 6:	Ausgewählte Mitgliedsstaaten: Kennzahlen der erdölverarbeitenden Industrie 2017	39

List of abbreviations

BF	Blast Furnaces
BOF	Blast oxygen furnace
BREF	Best available techniques reference document
CBAM	Carbon Border Adjustment Mechanisms
CCFD	Carbon contracts for difference
CO₂	Carbon dioxide
DRI	Directly reduced iron
EAF	Electric arc furnace
EU 27	Austria, Belgium, Bulgaria, Croatia, Cyprus, Czech Republic, Denmark, Estonia, Finland, France, Germany, , Greece, Hungary, Ireland, Italy, Latvia, Lithuania, Luxemburg, Malta, Netherlands, Poland, Portugal, Romania, Slovakia, Slovenia, Spain, Sweden
EU 28	EU 27 plus Great Britain
EU ETS	EU Emissions Trading System
EUTL	European Union transaction log
GHG	Greenhouse gas
GVA	Gross value added
IPCEI	Important Project of Common European Interest
LMDI	Logarithmic Mean Divisia Index
Mt	Mega tons
MW	Megawatt
MWh	Megawatt hour
N₂O	Nitrous oxide (laughing gas)
PCI	Pulverized coal injection
TWh	Terawatt hours (measuring units for energy)

1 Main results

The EU Emissions Trading System (EU ETS¹) is the cornerstone of EU policies to reduce emissions in industrial sectors as well as power generation. Since its introduction in 2005 emissions of the covered sectors have declined. The aim of the project is to assess the effectiveness of the EU ETS and to identify and classify the drivers of emissions development in the covered sectors. In particular, the sectors iron and steel production, cement clinker production, petroleum refineries and the combustion sector are considered.

The nature of the sectors is first described, and main technologies and abatement options presented. The developments are assessed at EU level and complemented by detailed country profiles. For selected countries the environmental conditions are documented and meaningful indicators with regard to emissions development and their drivers are worked out.

For the two industrial sectors with the highest share in EU ETS emissions, cement clinker production as well as iron and steel, a decomposition analysis is carried out to identify the drivers of emission developments.

All assessments are published as independent reports or as Annex to this report. Their summaries are included below. First the sector studies for combustion installations, iron and steel, cement clinker production and petroleum refining are presented. Then the decomposition analyses follow.

1.1 Development of combustion installations under the EU ETS

The generation of electricity and heat is the largest single activity covered by the EU ETS. Combustion installations summarized under Activity Code 20 comprised 63 % of total emissions covered by the EU ETS in 2019. According to our research, more than 81 % of these installations are electric or combined heat and power plants. Due to the interconnectedness, the difference in emission intensity of the different fuels and their configuration in a competitive marginal cost pricing market, installations under Activity Code 20 also had a large potential for a cleaner dispatch of generation units initiated by the pricing signal of the EU ETS.

The dynamic development of an integrated and liberalized European electricity market, a heterogeneous endowment in generation fleets in terms of generation technology and primary fuel and business model, the fast but diversified uptake of renewable energies, have all co-developed in an environment of fluctuating primary fuel prices and an emerging, but for most of the time very modest CO₂ price in the EU ETS. This report tries to shed light into this co-evolution.

It provides an in-depth analysis of the electricity sector in the period from 2005 to 2019. i.e., before the end of the 3rd EU ETS trading period in 2020 and before the significant changes of economic activity that have been associated with the COVID pandemic. Likewise, changes in the macroeconomic framework since then are not covered, and also potential impacts of the “fit-for-55” framework that was casted in law in 2023. Among other things, this reform package foresees changes in the EU ETS cap path and the introduction of a “carbon border adjustment mechanism” (CBAM), which is to gradually replace free allocations for industrial sectors including the iron and steel industry. Furthermore, allowance prices have risen substantially since 2018 and continued to do so also after 2019 (see e.g. DEHSt (2024) for a graphical

¹ Whenever the term EU ETS is used, it refers to the EU ETS 1 covering operators of large energy installations and energy-intensive industrial plants as well as aircraft and ship operators.

illustration of the observed price developments), which can be attributed at least in part to a growing perception of scarcity in the market.

Our analysis allows key drivers behind the development in capacities, generation levels and emissions to be identified. It thereby provides key information from past developments which form the basis for future projections and the design of tailored policy instruments.

The report provides information on the European level as well as for 10 selected European countries in the form of brief fact sheets. In order to provide a broad picture of national trends in the EU, the following countries were chosen for fact sheets: the Czech Republic, Estonia, France, Germany, Italy, the Netherlands, Poland, Romania, Spain and the United Kingdom.

Emissions connected with the Activity Code 20 (combustion installations) have declined sharply in recent years in the countries covered by the EU ETS. Figure 1 shows the emission trends of combustion installations in the EU-28 between 2010 and 2019 based on EUTL data (European Commission (EC) n.d.) and our own research. Power plants are differentiated by fuel in the figure.

Lignite and hard coal-fired power plants accounted for about 65 % of all emissions covered by Activity Code 20 in 2013. This percentage decreased to 47 % in 2019. Emissions from lignite power plants amounted to approx. 260 Mt in 2019, corresponding to a reduction of 27 % compared to 2013. Emissions from hard coal power plants amounted to 200 Mt CO₂ in 2019, corresponding to a reduction of 59 % compared to 2013. During the same period, emissions from blast furnace power plants remained unchanged at 53 Mt CO₂. Emissions from the category "Other Combustion (Activity Code 20; Power Marker)," which are natural gas-fired, oil-fired and other power plants saw only a 3 % increase from 252 Mt CO₂ in 2013 to 260 Mt CO₂ in 2019.

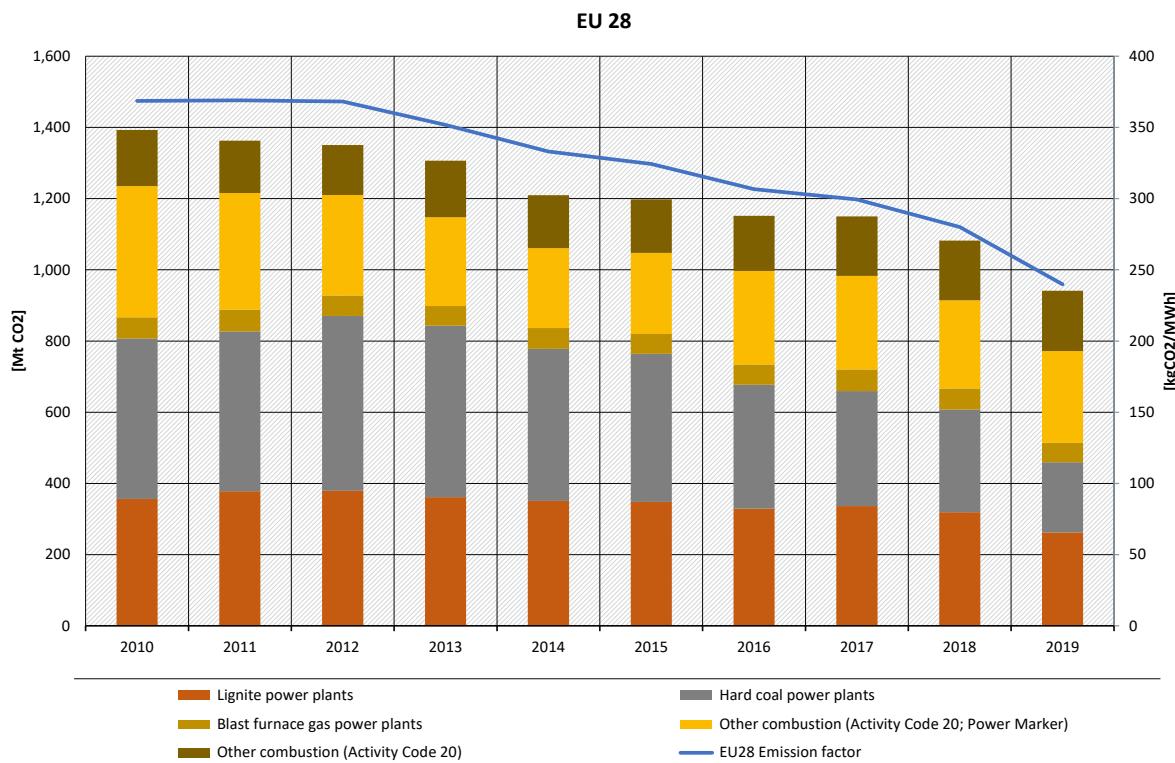
However, the strongest decline occurred between 2018 and 2019: within one year, emissions from power plants decreased by 142 Mt CO₂. Hard coal power plants mostly contributed to this abatement (91 Mt CO₂ from hard coal power plants). Lignite-fired power plants contributed 57 Mt CO₂. Emissions from other power plants (mainly natural gas-fired) increased by about 10 Mt CO₂ from 2018 to 2019.

The category "Other combustion (Activity Code 20)" includes the non-electricity generating installations and remained stable between 2010 and 2019.

Figure 1 also includes the emission factor of gross electricity production in the EU-28. It declined from 370 kg CO₂/MWh in 2010 to 240 kg CO₂/MWh in 2019.

The declining trends also continued in 2020, driven by continued decline in coal-fired electricity generation due to high prices in the EU ETS, but also due to reduced demand during the COVID pandemic. In 2021 and 2022, the start of the fourth trading period, emissions initially increased, again. This was due to higher demand for electricity as a result of the economic recovery following the COVID pandemic, as well as a switch in relative costs of coal-fired versus gas-fired generation as a consequence of the Russian war of aggression against Ukraine. This short-lived trend in coal-fired power generation reversed in 2023. As a result, emissions from power generation fell significantly, and reached their lowest level since the start of the EU ETS in 2005. This is mainly due to the sharp drop in energy demand from industry and households driven by sharply increased energy prices.

Figure 1: EU-28: Emission trends in Activity Code 20

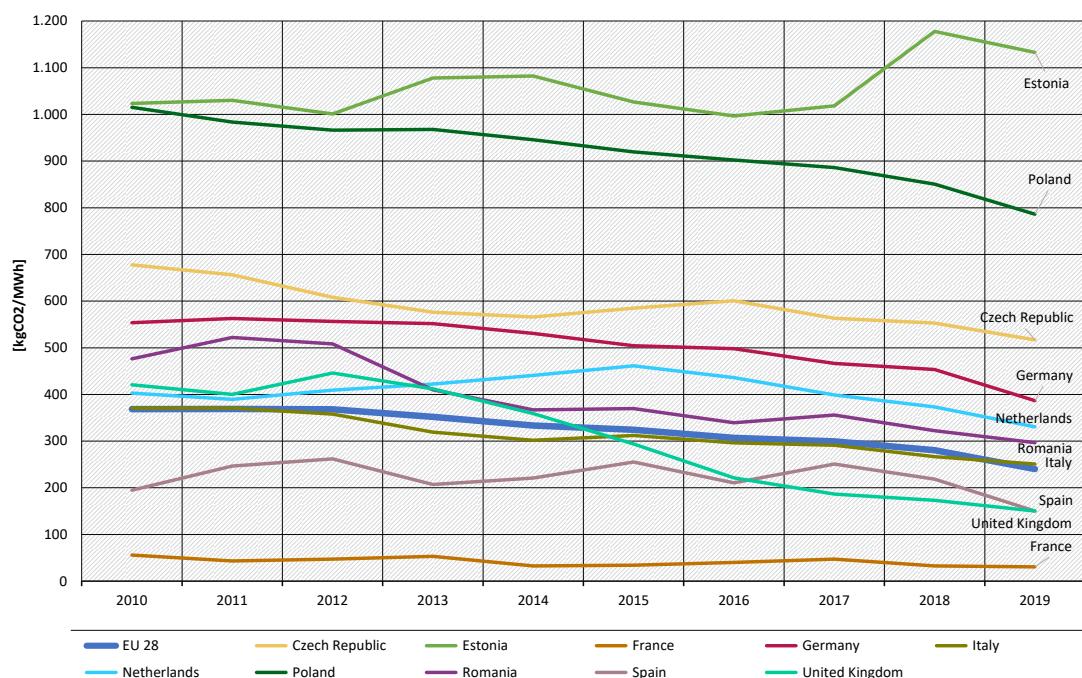


Note: Data for Croatia were extrapolated for the years 2010–2012 using total GHG inventory data as a proxy for emission trends. Emissions in the category: other combustion (Activity Code 20; Power Marker) are calculated using the deduction method: All emissions with Power Marker minus emissions from lignite and hard coal-fired power plants minus emissions from blast furnace gas power plants.

Source: Own illustration based on data from Europe Beyond Coal (2022), European Environment Agency (EEA) (2022), Ember (2020), and own assignment based on European Commission (EC) n.d..

Figure 2 shows the development of emission factors for the EU-28 and for the ten countries selected for this study in direct comparison between 2010 and 2019. Estonia, Poland, the Czech Republic, Germany, the Netherlands and Romania had more emission-intensive electricity generation than the EU-28 average throughout the period. The trend of Italy's emission factors is quite similar to that of the EU-28, while the UK changed from higher emission factors than the EU average up to 2014 to lower emission factors from 2015 onwards. The emission factors of Spain and France were always below the EU-28 values in the period considered. The following chapters examine more closely the reasons for these very different emission factor levels.

Figure 2: Emission factor of gross electricity production in EU-28 and selected countries



Note: Emission factor calculated based on CO₂ emissions by power plants identified in Oeko-Institut's EU ETS database and gross electricity production reported by Ember (2020). It might differ from the values given under European Environment Agency (EEA) (2022).

Source: Own illustration based on data from Ember (2020), and own assignment based on European Commission (EC) n.d. for individual countries and Europe Beyond Coal (2022), European Environment Agency (EEA) (2022) for EU-28.

The full report “Development of the iron and steelmaking sector under the EU ETS: Overview and country level analysis from 2005 to 2019” by Roman Mendelevitch, Hauke Hermann, Verena Graichen, Teodora Bibu, Frederik Lettow and Christian Nissen (all from Oeko-Institute) can be found at <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7634>.

1.2 Development of the iron and steelmaking sector under the EU ETS

The EU ETS is the key policy instrument for managing the reduction of greenhouse gas emissions for power generation and industrial facilities in Europe. Iron and steelmaking is the industrial sector with the highest absolute CO₂ emissions. The sector plays an important role for value creation and employment in the EU-28 and induces substantial intra-EU and also international trade.

This report aims at describing key developments of the sector in the period from 2005 to 2019, i.e., before the end of the 3rd EU ETS trading period in 2020 and before the significant changes of economic activity that have been associated with the COVID pandemic. Likewise, changes in the macroeconomic framework since then are not covered, and also potential impacts of the “fit-for-55” framework that was casted in law in 2023. Among other things, this reform package foresees changes in the EU ETS cap path and the introduction of a “carbon border adjustment mechanism” (CBAM), which is to gradually replace free allocations for industrial sectors including the iron and steel industry. Furthermore, EU allowance prices have risen substantially since 2018 and continued to do so also after 2019 (see e.g. DEHSt (2024) for a graphical illustration of the observed price developments), which can be attributed at least in part to a growing perception of scarcity in the market.

Our analysis identifies key drivers behind the trends in emissions, production levels, investments, and the market environment on the country and installation level. By providing key information from past developments, it sets a solid basis for future projections and the design of climate policy. Since 2019, emissions on the EU level and in the majority of member states have first dropped strongly in 2020 due to the economic effects of the COVID pandemic, then temporarily recovered in 2021 but have again dropped substantially in 2022 and 2023 (see ERC CM (2023, p. 15) for the EU level, and DEHSt (2024) for Germany as an example for trends on the member state level). These emission trends largely reflect the development in production (mainly that of the primary production route which dominates the CO₂ emissions of the iron and steel sector), which has seen significant declines particularly in 2022 and 2023 not least as a consequence of the Russian war of aggression against Ukraine, both at the EU level and in Germany (EUROFER 2024; World Steel Association 2024; WV Stahl 2024).

The report begins by providing an overview of the EU-28 level, describing emissions sources, production routes as well as trends in investments and the regulatory and market environment. The remainder provides information on the iron and steelmaking sector for eight selected European countries: Germany, Italy, France, Poland, Austria, the United Kingdom, the Netherlands and the Czech Republic in the form of brief fact sheets. The selected countries constitute 70 % of total crude steel production and 75 % of the emissions from iron and steel production in the EU-28 covered by the EU ETS (activity codes 22 - 25 and waste gas power plants listed under activity code 20). They show a varying share of production (0 % - 82 %) with the electric arc furnace (EAF) (on average the EAF-share is 41 % in the EU-28) and a varying share of emissions from iron and steel production in total emissions (3 % - 15 %) (in the EU-28, iron and steelmaking contribute 5 % of total emissions).

EU-28 level

Since the EU ETS was introduced in 2005, the total emissions reported in the EUTL have declined from around 240 Mt CO₂ to around 200 Mt CO₂ in 2019. The decline can be mostly attributed to a reduction in total production volumes (from 190 Mt crude steel in 2005 to 160 Mt crude steel in 2019), with no significant change in shares of different production routes, nor significant efficiency gains on the respective routes. EU-28 steel consumption is predominately balanced by domestic supply. In 2019, almost 10 % of net demand was covered by imports with the biggest trade partners being Russia and Ukraine, albeit China is the world dominate steel producer with 50 % of steelmaking capacity. On the facility level, no new integrated steelworks have been opened in the EU-28 since 2005, in fact most sites look back on a long history of steelmaking. In the aftermath of the economic crisis of 2008 - 2009 several furnaces were not relined after reaching the end of the lifetime (particularly in the United Kingdom, France, Poland and Czech Republic). A few new electric arc furnaces were added at existing integrated sites, e.g. in the United Kingdom and Italy.

Table 1 provides an overview of total emissions, production and emission intensity trends for the three main production routes of crude steel. The majority of the emissions from the iron and steelmaking sector are related to pig iron production with blast furnaces (BF-BOF route). Total emissions related to crude steel production in BF-BOF sites amounted to 176 Mt CO₂ in 2019, which is equal to 89 % of the total iron and steelmaking sector emissions covered by the EU ETS. The average direct emission intensity of the BF-BOF route – including waste gas power plants - was approx. 1.85 t CO₂ per ton of crude steel in 2019, which has not changed since 2013. This emission intensity also includes emissions from sintering and coking plants, blast furnaces, basic oxygen furnace and rolling mills when operated at integrated sites.

Table 1: Emissions by process in the iron and steelmaking sector based on site-specific assessment from the EUTL for EU 28

Process	Indicator	Unit	2013	2015	2018	2019
Blast furnaces (BF-BOF route)	Emissions ¹	[Mt CO ₂]	186.0	188.4	182.2	174.0
	Production	[Mt crude steel]	100.1	100.9	98.1	93.9
	Specific emissions	[t CO ₂ /t crude steel]	1.86	1.87	1.86	1.85
Electric arc furnace (EAF route)	Emissions ²	[Mt CO ₂]	9.7	9.7	10.2	9.4
	Production ³	[Mt crude steel]	65.7	64.8	68.9	64.4
	Specific emissions	[t CO ₂ /t crude steel]	0.15	0.15	0.15	0.15
Directly reduced iron (DRI-EAF route)	Emissions ⁴	[Mt CO ₂]	0.5	0.5	0.5	0.5
	Production	[Mt direct reduced iron]	0.6	0.7	0.7	0.6
	Specific emissions	[t CO ₂ /t product]	0.86	0.80	0.80	0.79
Other ⁵	Emissions	[Mt CO ₂]	13.7	12.4	12.6	11.6
Total	Emissions	[Mt CO₂]	210.0	211.1	205.5	195.7

Note:

^[1] Emissions attributed to the BF-BOF route include: emissions from coking plant and sintering plant (either reported separately, e.g. under activity codes 22 and 23 or as integrated steelworks under code 24), emissions from pig iron and steel production in the BF and BOF (reported under code 24) and emissions from downstream processes that typically use waste gases for the upstream processes as fuel input (reported under code 25, or as integrated steelworks under code 24), and emissions from on-site waste gas power plants (reported under code 20).

^[2] Emissions attributed to the EAF route originate from fuel use and electrode wear in the electric arc furnaces (reported under code 24 or in some cases 25) and rolling mills which often report under the same installation.

^[3] Excluding EAF steel production from direct reduced iron.

^[4] Emissions attributed to the DRI route include fuel-related and process emissions from DRI installations and the share of the emissions of from the subsequent EAF route that equals the mass share of the DRI in the EAF.

^[5] other emissions include all emissions under codes 22-25 that are not attributed to integrated steelworks or one of the three production routes.

Source: Own compilation of data based on (European Commission (EC) n.d.) for emissions data, (Worldsteel Association 2020) for production data.

No significant emission reductions have been achieved on the blast furnace route since the introduction of emissions trading. Specific emissions have decreased only by 2 % in the EU-28 and even increased in many countries, e.g. by 10 % in Germany. The increase in specific emissions on the blast furnace route can be attributed to several factors. The most significant ones are an inefficient use of the integrated infrastructure due to reduced output and a rise in the injection of cheap hard coal (pulverized coal injection (PCI)) replacing natural gas. In the first years of the EU ETS, the carbon price signal was not strong enough to prevent this fuel switch.

Total direct emissions related to EAF sites amounted to 9.4 Mt CO₂ in 2019, which is equal to 5 % of the total iron and steelmaking sector emissions. The average direct emission intensity of the EAF route was about 0.15 t CO₂/t of crude steel in 2019. This emission intensity includes

emissions from rolling mills operated at the same site when they report their emissions together with the EAF (which is often the case).

Total direct emissions related to DRI sites amounted to 0.5 Mt CO₂ in 2019, which is equal to 0.2 % of the total iron and steelmaking sector emissions. The average direct emission intensity on the DRI-EAF route was about 0.79 t CO₂/t of crude steel in 2019. This emission intensity includes emissions from the DRI plant and the EAF plant. The only DRI-EAF plant that is further analyzed in the fact sheets is located in Hamburg, Germany. Here, the intensity was 0.5 t CO₂/t DRI in 2019.

Emissions from other processes (including foundries and downstream processes) amounted to 11.6 Mt CO₂ (6 %) in 2019.

The full report “Development of the iron and steelmaking sector under the EU ETS: Overview and country level analysis from 2005 to 20019” by Roman Mendelevitch, Hauke Hermann, Verena Graichen, Teodora Bibu, Frederik Lettow and Christian Nissen (all from Oeko-Institute) can be found at <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7626>.

1.3 Development of the cement clinker production sector under the EU ETS

The report summarises the main trends and drivers of the cement sector's greenhouse gas emissions in the EU28 from 2005 to 2017, analyses the countries with the highest contribution of total EU28 emissions (i.e. Germany, Spain, France, the United Kingdom, Italy, Poland and Greece) and presents the key figures of the selected countries' emission trends in the form of fact sheets. This report aims to describe the main developments in the sector in the period from 2005 to 2017, i.e. before the end of the 3rd EU ETS trading period in 2020. External factors such as economic development in the construction sector and the demand for cement products seem to be the main driver of clinker production and therefore of GHG emissions in the time period 2005-2017. In most countries, there is a strong positive correlation between the production volume index of the construction sector and the production of cement clinker. Except for France and Italy, production of cement clinker increased between 2013 and 2017. In Italy, Spain and Greece, the economic and financial crisis in 2008 had a strong impact on the production of cement clinker, with production in 2017 still being substantially lower than in 2005 and many plants that ceased to operate.

The share of emission intensive clinker in cement can be reduced by using less emission intensive substitutes, such as slag, limestone, gypsum and fly ash depending on the local availability of industrial waste and natural mineral resources. The clinker to cement ratio depends primarily on the demand for certain cement products with specific properties and clinker shares.

- ▶ The clinker to cement ratio in the EU28 has not changed significantly since the introduction of the EU ETS. While it decreased between 2005 and 2012, it has increased again to 77 % in 2017.
- ▶ The use of substitutes in cement production differs across countries, both in terms of quantity and quality, with the UK having the highest clinker to cement ratio (87 %) and Germany having the lowest clinker to cement ratio (72 %) in 2017.

Clinker exports increased between 2005 and 2017. For instance, in 2005, Spain was a net importer of cement clinker but since 2011, exports are greater than imports. Also in Italy, a slight increase in exports is observed since 2010.

Cement clinker production plants in the countries analysed in the present report show different levels of success to reduce GHG emission intensity by means of increasing the co-processing of biomass.

- ▶ The use of waste fuels in cement production strongly depends on country specific regulations and circumstances in the waste management sector. In most countries there is an increasing trend in recent years. In 2017, the highest shares of biomass are observed for Germany (21 %) and Poland (23 %), whilst Italy has the lowest share with only 3 % (see Tabelle 4).
- ▶ The share of dry kilns, which exhibit the lowest emission intensity when operated at optimal conditions, shows an increasing trend in the EU28 and is at more than 80 % in 2017. There is however no substantial improvement in energy intensity of cement clinker production in the time period 2013-2017.

The present study provides a basis for further research on the impact of the EU ETS on GHG emissions especially after the year 2017. In the years 2018 to 2020, emissions in the cement sector in Germany and the rest of the EU developed differently - the slight increase in emissions in Germany compared to the decrease in EU ETS cement clinker production emissions in response to economic activity, which can be linked to the effects of the COVID pandemic, are not considered in this report. The decline in emissions in the cement sector since 2021 is due to declines in production, like in most sectors as a result of the effects of the Russian war of aggression in Ukraine. The associated uncertainties led to increases in energy prices, particularly for natural gas and electricity, to cost increases and thus to a decline in demand which is also not addressed in this report. Similarly, the changes in the macroeconomic framework as well as developments on the energy markets since then cannot be taken into account, nor can the potential impact of the 'Fit for 55' framework that was casted in law in 2023. Furthermore, EU allowance prices have risen substantially since 2018 (see e.g. DEHSt (2024) for a graphical illustration of the observed price developments).

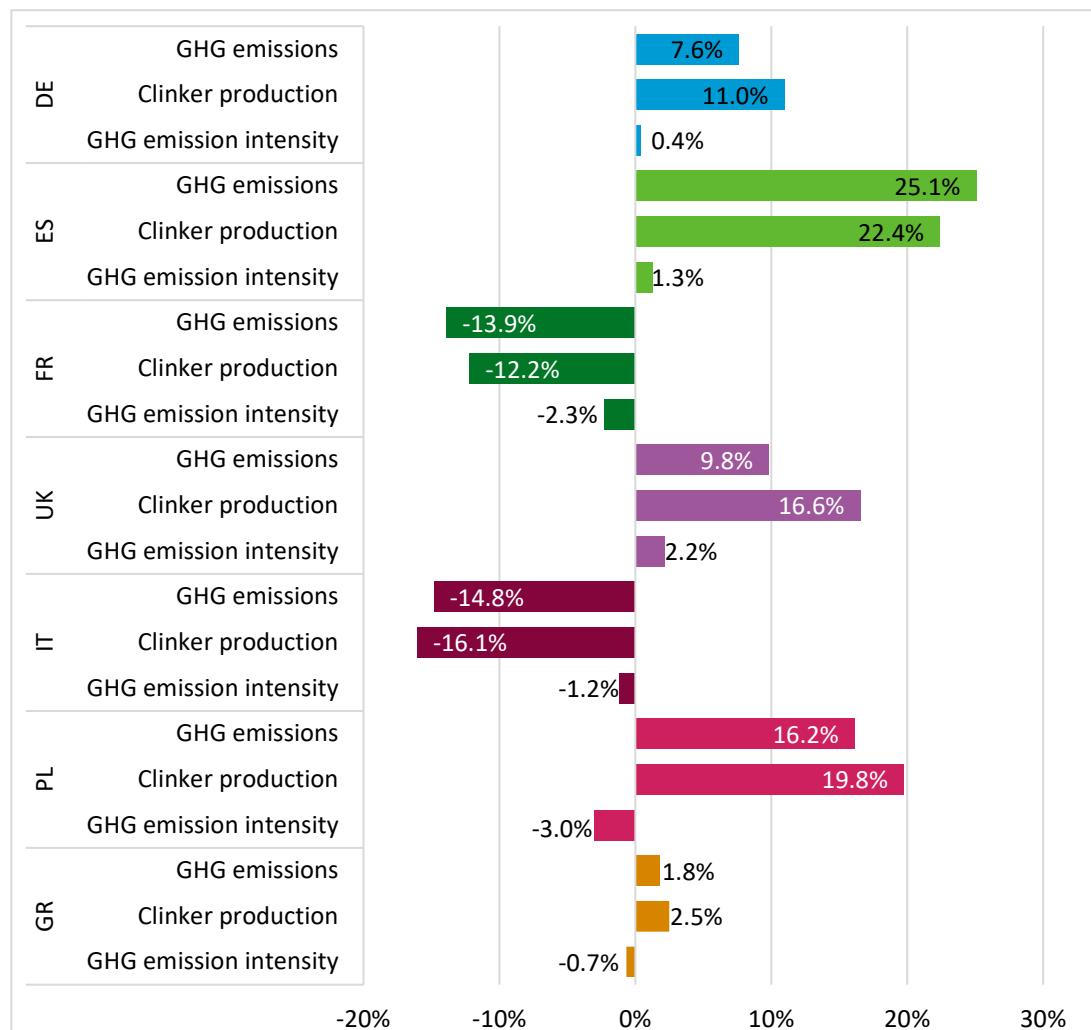
Table 2: Selected Member States: Key figures of cement clinker production in 2017

Cement clinker industry characteristics	Unit	DE	ES	FR	UK	IT	PL	GR
GHG emissions	Mt CO ₂ eq	20	15	10	7	12	10	6
Clinker production	Mt	25	18	11	8	13	13	7
GHG emission intensity	t CO ₂ eq/t clinker	0.81	0.82	0.83	0.84	0.84	0.79	0.84
Energy consumption	PJ	95	40	46	25	43	48	ND
Energy intensity	GJ/t clinker	3.8	3.0	3.9	3.8	3.2	3.7	ND
Number of cement clinker production plants	-	35	31	33	12	32	10	6

Key figures of the cement clinker production in 2017 in the analysed countries. ND for no data.

Source: Own table based on various sources: European Commission (EC) (n.d.); Global Cement and Concrete Association (2020), Germany (2019); Spain (2019); France (2019); United Kingdom (2019); Italy (2019); Poland (2019); Greece (2019)

Figure 3: Selected Member States: Change in key figures of cement clinker production between 2013 and 2017



Change in key figures of the cement clinker production between 2013 and 2017 in the analysed countries.

Sources: European Commission (EC) (n.d.); Global Cement and Concrete Association (2020), Germany (2019); Spain (2019); France (2019); United Kingdom (2019); Italy (2019); Poland (2019); Greece (2019)

The full report “Development of the cement clinker production under the EU ETS: Overview and country level analysis from 2005 to 2017” by Bettina Schäppi, Sophie Kaufmann, Laura Kessler and Jürg Füssler (all INFRAS) can be found at <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7635>.

1.4 Development of the petroleum refining industry under the EU ETS

The report summarises the main trends and drivers of the refinery sector's greenhouse gas emissions in the EU28 from 2005 to 2017, analyses the countries with the highest contribution of total EU28 emissions and presents the key figures of the selected countries' emission trends in the form of fact sheets. This report aims to describe the main developments in the sector in the period from 2005 to 2017, i.e. before the end of the Third ETS trading period in 2020.

General remark:

In some countries (e.g. Germany), facilities that generate electricity for refineries were assigned to the activity “combustion installations” before 2013, whereas since 2013, they are assigned to activity 21 (“refining of mineral oil”). Emissions have therefore been at a higher level since 2013 than before and the data from 2013 on is not directly comparable with the time period 2005

until 2012. This different attribution of emissions to industry activities in EU ETS may also be one possible reason for differences between the national emission intensity values.

With the exception of Poland, greenhouse gas (GHG) emissions from petroleum refining decreased in all countries studied between 2013 and 2017. With 11.7 % France shows the highest reduction in total GHG emissions from the refining industry since 2013.

Refinery throughput (see definitions in section 2.1) increased at the same time, with the highest increase observed in Spain (+9.5%).

This leads to a decrease in emission intensity between 2013 and 2017. The highest decrease was observed for France (-13.5%) and the lowest decrease was observed for Poland (-5.2%).

In contrast to the increased refinery throughput between 2013 and 2017, the refinery capacity (see definitions in section 2.1) decreased in most of the countries analysed. Therefore, in this time period, capacity utilization (see definitions in section 2.1) increased, except for the Netherlands.

The main driver of the observed evolution of GHG emissions from the refining industry between 2005 and 2017 is the declining **demand for petroleum products**, such as gasoline as well as light and heavy fuel oil. Apart from Poland, all investigated countries show a declining trend in the demand of oil and petroleum products since 2005. There is however a slight increase since 2014 of the consumption of oil productions (+4%).

The shift in demand for certain products is of importance for the emissions: The share of gas oil and diesel oil increased while the share of motor gasoline and fuel oil decreased between 2013 and 2019. In addition, in the transport sector there is some substitution of fossil fuels by biofuels. These changes could explain the decreasing GHG emissions of the refinery sector between 2013 and 2017 while consumption increased.

As most of the crude oil is imported from countries that do not show large differences in terms of the atmospheric residue (i.e. Africa, EU, GUS), the influence of the atmospheric residue on GHG emissions from the refining sector is of minor importance in the countries considered in the present report.

The petroleum refining industry in different countries shows different levels of success to reduce GHG emission intensity of the refining process by means of substituting liquid fuels by natural gas and by converting existing petroleum refining plants to biorefineries.

- ▶ In most countries a decreasing trend is observed for liquid fuels used in the petroleum refining process and an increase in natural gas, except for Poland, where the share of liquid fuels is again increasing since 2013.
- ▶ A few petroleum refineries in Italy and in France were converted to biorefineries. In Italy, there are currently two biorefineries in operation, one in Venice and another one in Gela, Sicily. In France, the petroleum refining plant “Raffinerie de Provence” in La Mède owned by TOTAL Raffinage France was converted into a biorefinery in 2015 and went into operation in 2019. It produces both biodiesel and bio-jet fuel for the aviation industry and processes vegetable oils as well as animal fats, cooking oil etc.
- ▶ The capacity weighted average Nelson index does not seem to have a strong impact on the GHG emissions of the refining industry at the national level. Possible correlations should be further investigated at the plant level.

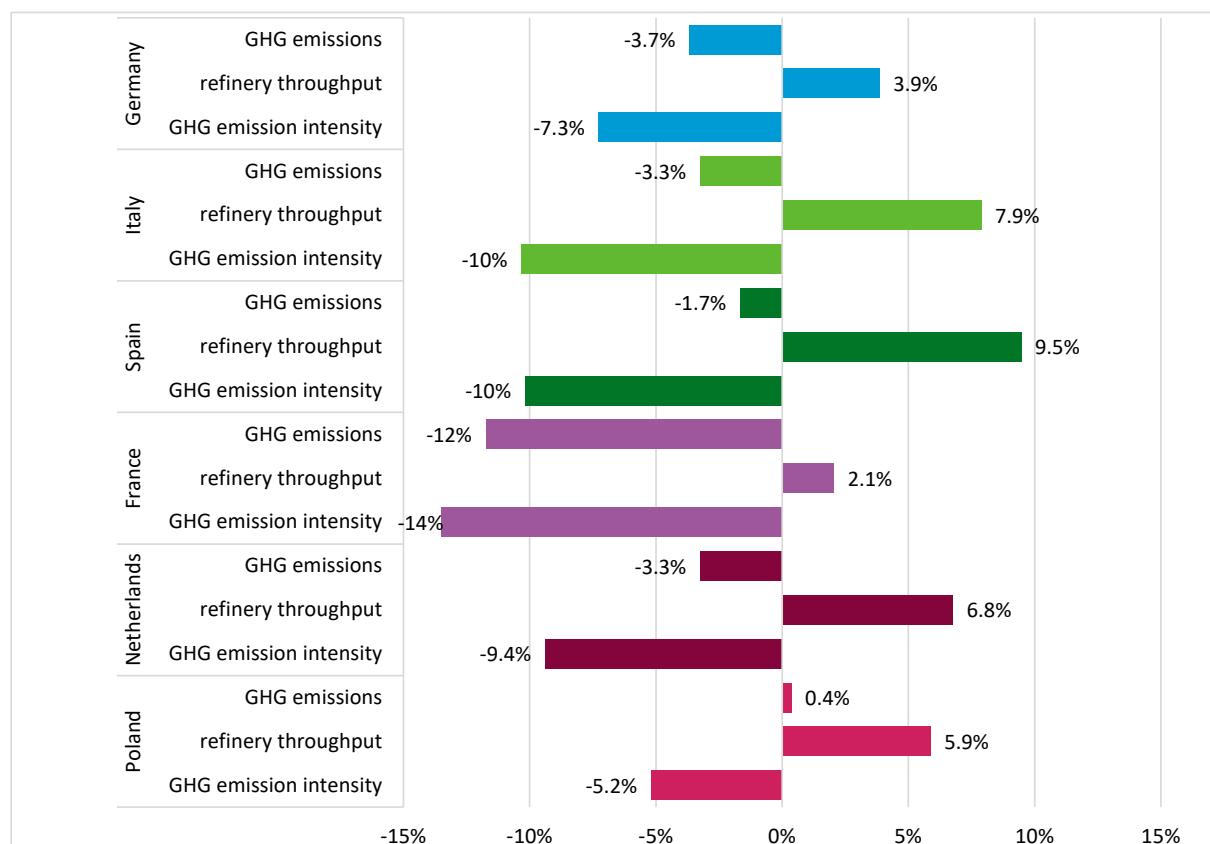
Table 3: Selected Member States: Key figures of the petroleum refining industry in 2017

Petroleum industry characteristics	Unit	Germany	Italy	Spain	France	Netherlands	Poland
GHG emissions	Mt CO ₂ eq	24	18	14	10	10	4
Total refinery throughput	Mt	104	76	67	60	60	27
GHG emission intensity	t CO ₂ eq/t throughput	0.23	0.24	0.21	0.17	0.17	0.15
Energy consumption	PJ	288	162	202	110	83	46
Energy intensity	GJ/t crude oil	2.8	2.1	3.0	1.8	1.4	1.7
Nelson index (capacity-weighted average)	-	8.14	9.25	9.61	6.7	7.7	9.75
Trends in refinery capacity (2013-2017)	%	-7%	-10%	11%	-7%	11%	0%

Key figures of the petroleum refining industry in 2017 in the analysed countries.

Sources: European Commission (EC) (n.d.); UN data (2020); Eurostat (2022); abarrelfull (2020)

Figure 4: Selected Member States: Change in key figures of the petroleum refining industry between 2013 and 2017



Change in key figures of the petroleum refining industry between 2013 and 2017 in the analysed countries.

Sources: European Commission (EC) (n.d.); UN data (2020); Eurostat (2022); abarrelfull (2020)

As mentioned above the present report aims to describe the main developments in the sector before the end of the 3rd EU ETS trading period and provides a basis for further research on the impact of the EU ETS on GHG emissions especially after the year 2017.

In the years 2019 to 2021 the pandemic-related adjustment of production in refineries in 2020 and 2021 also had an impact on the emissions trend in the industry. However, Refinery emissions increased moderately after 2021 due to increased demand for fuels as the travel industry recovered from the removal of restrictions and also the economic recovery following the COVID-19 pandemic.

Unlike other sectors of the EU ETS, emissions and production didn't decrease during the first years of the Russian war of aggression in Ukraine. In 2022, emissions of the refinery sector were again close to the level of 2019. This development is not addressed in this report. Similarly, the changes in the macroeconomic framework as well as developments on the energy markets since then and the potential impact of the 'Fit for 55' framework agreed for 2023 cannot be taken into account. Furthermore, allowance prices have risen substantially since 2018 and continued to do so also after 2019 (see e.g. DEHSt 2024 for a graphical illustration of the observed price developments).

The report "Development of the petroleum refining industry under the EU ETS from 2005 to 2017" by B. Schäppi, S. Kaufmann, A. Mäder, and J. Füssler (all INFRAS) is included in Annex A.

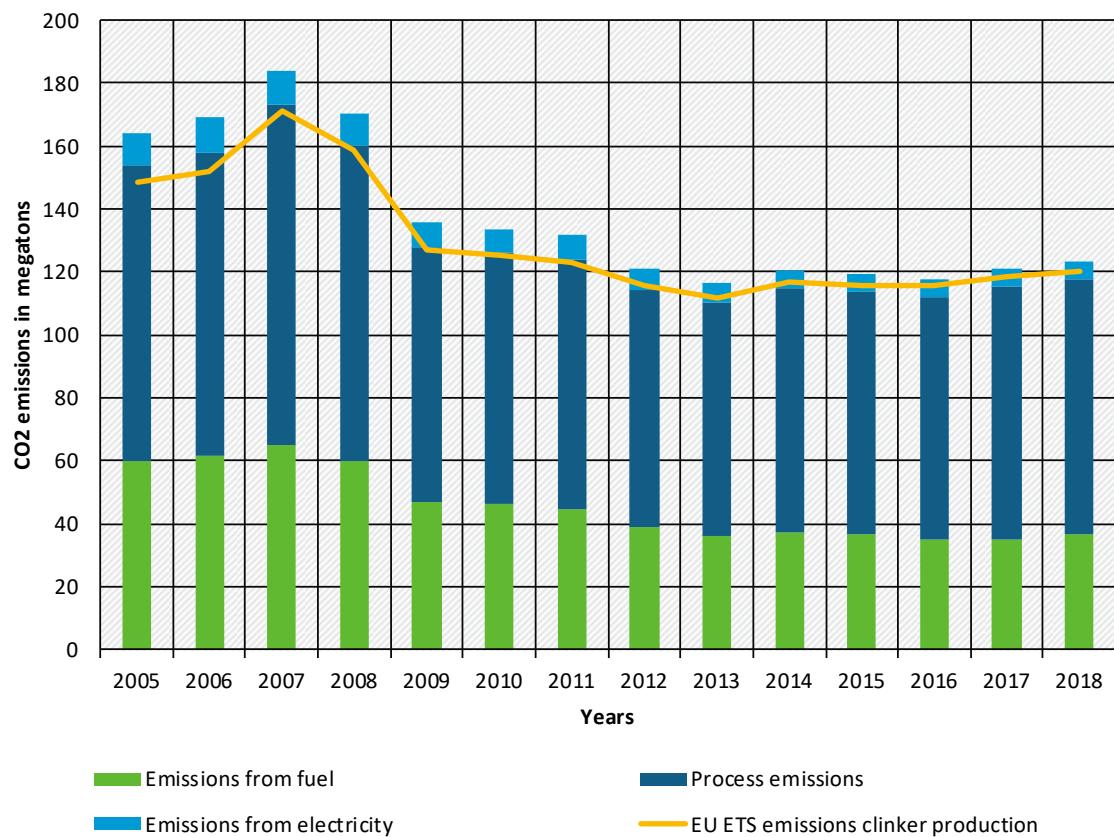
1.5 Decomposition analysis of CO₂ emissions in the European cement sector

Cement is one of the most important building materials. Cement production is an energy and emission intensive process and a significant contributor to both global and European greenhouse gas (GHG) emissions. It is produced from cement clinker and other materials. In the European Union, cement clinker production is covered by the EU ETS. It is responsible for about 3% of the total greenhouse gas emissions of the European Union.

The CO₂ emissions of the cement clinker production in the EU² covered by the EU ETS reached a maximum of 172 Mt in the year 2007 and have been on a plateau of around 120 Mt since 2009 (see Figure 1). The aim of the study by Lukas Emele, Jakob Graichen, Roman Mendelevitch is to analyse the drivers and quantify the effects that determine the development of the CO₂ emissions associated with cement production over time. A special focus is to analyse the impact of the EU ETS.

² In January 2020, the United Kingdom left the European Union. As this study covers the period until 2018, data for the European Union includes the United Kingdom.

Figure 5: Evolution of the CO₂ emissions of cement production in the European Union



Source: EU ETS emissions from EEA (2020a). Emissions from fuel, process emissions and electricity calculated from GNR WBCSD Cement Sustainability Initiative (2020) and EEA (2020b).

The drivers governing the development of CO₂ emissions from cement production from 2005 to 2018 for the EU28 as a whole and selected EU countries are analysed using the logarithmic mean Divisia index (LMDI) decomposition method. The authors build on a methodological approach developed by Branger und Quirion (2015). The report replicates and substantially extends their study by refining the methodological approach and by updating and substantiating the employed dataset based on publicly available sources. In particular, the authors disentangle the dominant activity effect observed by Branger und Quirion (2015) into three drivers:

- (i) a construction activity effect, based on a country's production in construction index;
- (ii) a further activity effect determined by the cement-consumption-to-construction-activity ratio; and
- (iii) a domestic cement share effect, capturing the share of domestically produced cement in total cement consumption.

At the EU28 level, CO₂ emissions declined from 150 MtCO₂ in 2005 to 120 MtCO₂ in 2018. We find that effects on cement clinker demand govern the development of CO₂ emissions in the EU cement sector. Spain and Italy, among the EU countries most severely affected by the financial crisis of 2008/09 and the European debt crisis in 2011/12, are the major contributors to reductions in CO₂ emissions. The decomposition analysis does not suggest that CO₂ pricing under the EU ETS has substantially contributed to emissions reduction in the cement sector since its introduction in 2005. The main drivers behind the observed decline are construction activity and further activity effects. While the first one is arguably not directly affected by CO₂ pricing, the latter needs to be understood in more detail to allow for clear conclusions.

Additional CO₂ costs would suggest a competitive disadvantage for cement and clinker produced in the EU, however, the share of EU domestic production has increased for both products. Only for cement production, minor efficiency improvement and fuel switching effects can be observed but establishing a direct relation to CO₂ pricing under the EU ETS would require additional analysis. Results need to be interpreted in the context of two economic crises and CO₂ prices below 10 EUR/tCO₂ for most of the analysed period. They do not allow to draw conclusions on the development of emissions of the cement industry in an environment of high and rising CO₂ prices and stringent climate protection measures.

The full report “Decomposition analysis of CO₂ emissions in the European cement sector. Identifying drivers of emission trends between 2005 and 2018” by Lukas Emele, Jakob Graichen, Roman Mendelevitch can be found at <https://doi.org/10.60810/openumwelt-2791>.

1.6 Decomposition analysis of CO₂ emissions in the European iron and steel sector

Iron and steel industry plays an important role for value creation and employment in the EU-27, It is also the industrial sector with the highest absolute CO₂ emissions. Since the introduction of the EU ETS in 2005, total sector emissions covered by the scheme have declined from 235 Mt CO₂ to 178 Mt CO₂, in 2022. With two rounds of scope extensions of the EU ETS, emissions from installations now covered by the scheme have most probably declined even stronger. These figures also do not include indirect emissions from electricity consumption, which are particularly important on the electric arc furnace (EAF)-route. The effect of the decarbonization of the electricity supply decreased emissions by another 10 Mt CO₂. In this paper we are able to shed light on the importance of different drivers of the declining trend, including both direct and indirect emissions, and with a special focus on the role of the EU ETS.

The study uses the Logarithmic Mean Divisia Index (LMDI) decomposition method to analyze these drivers, focusing on economic demand, production shifts, production route changes, emission intensity variations, and indirect emissions.

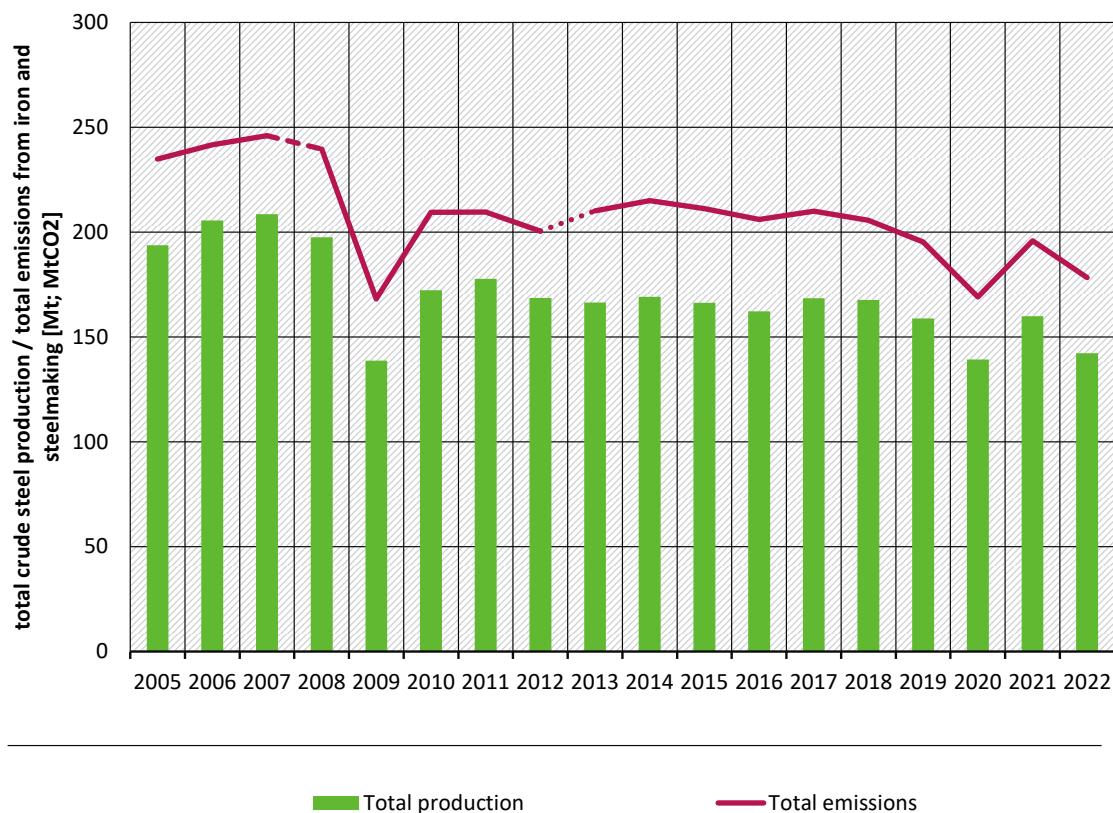
In theory, the EU ETS might impact iron and steel emissions through three main mechanisms:

1. **Direct Emission Intensity:** The carbon price should incentivize less CO₂-intensive fuels;
2. **Production Routes:** Less carbon-intensive routes (EAF, DRI-EAF) might gain a competitive advantage.
3. **Domestic Steel Production:** Carbon prices might reduce the competitiveness of domestic steel production compared to imports, despite measures to protect against carbon leakage.

These effects might be limited because of the rules of free allocation together with the level of current and expectations on future carbon prices during the examined time period. Importantly, other drivers such as fuel prices, import duties, global overcapacities overlap with the effects of the EU ETS and have not been assessed in this study. Initial considerations are drawn here but these are not fully analyzed and must remain the subject of further research.

In addition, the EU ETS contributed to the decreasing CO₂ intensity of the electricity grid. Less carbon-intensive electricity supports the overall decarbonization of iron and steelmaking. However, this is external to the sector and not further analyzed in this study.

Figure 6: Development of total emissions from iron and steel production and total crude steel production for the EU 27+UK, 2005-2022.



Note: Due to changes in geographical coverage and sectoral scope, there are inconsistencies in the timeline with the beginning of the second (2008) and third trading period (2013).

Source: own calculations based on Worldsteel (2023) and European Environment Agency (EEA) (2023).

The decline of emissions from iron and steelmaking covered by the EU ETS in the EU 27+UK was primarily driven by a reduction of production on the emissions intensive BF-BOF-route. Emissions from the BF-BOF route account for over 95% of total emissions, the trends and drivers for BF-BOF emissions mirror those of total emissions. There was no major shift in production routes, but rather production was decreased in times of economic downturn, and instead of full recovery due to renewed economic development, increasing demand was also met with a boost in imports. No noticeable shift from the BF-BOF-route to the electricity based EAF-route could be observed, which would have reduced direct emissions to less than 20%. This could be due to limited scrap resources in the EU, the need for new large-scale investments in EAF installations and large-scale electricity connectors, and the limited substitutability of EAF-based crude steel and crude steel for primary production routes (BF-BOF route, DRI-EAF route).

From 2005 to 2022, direct and indirect CO₂ emissions from iron and steelmaking in the EU and UK decreased by at least 71.4 Mt CO₂, a reduction of 29%. This decline is likely underestimated due to the expansion of the EU ETS scope in 2008 and 2013, which included additional emission sources not covered in 2005. These scope extensions complicate direct comparisons across years, potentially underestimating reductions and overestimating increases.

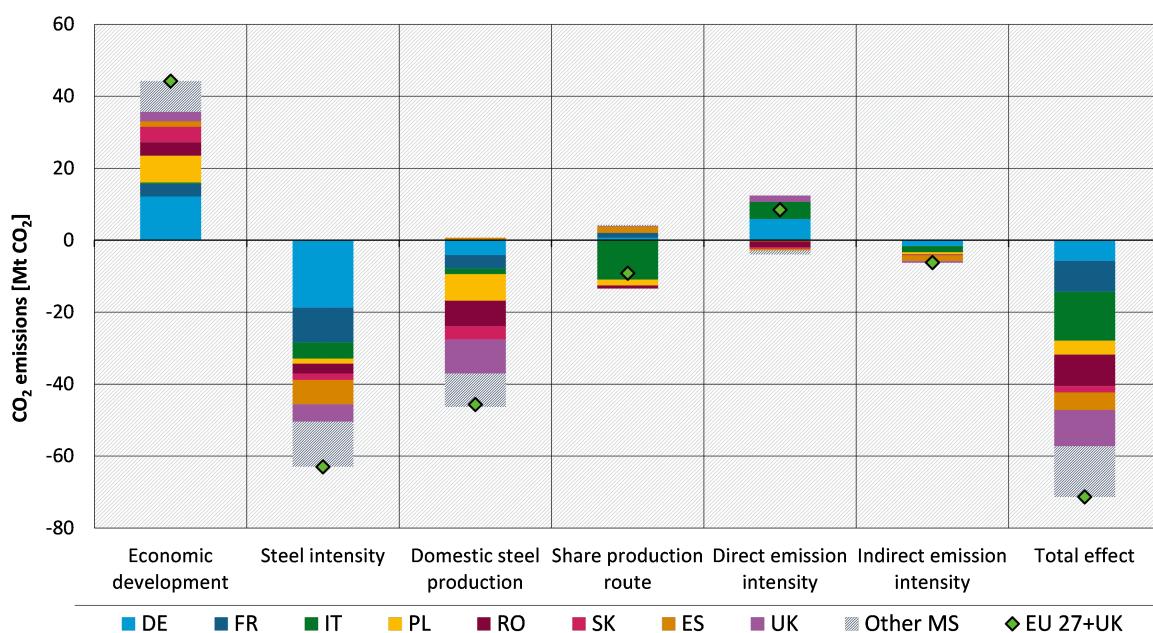
All analyzed Member States contributed to the emission's decline. The primary driver of increased emissions was economic development, despite a reduction in absolute steel consumption. The largest driver of emissions reduction was the decreased steel intensity (steel

usage per unit of GDP). Domestic steel production also decreased significantly, turning the EU into a net importer of steel by 2015, with domestic production 15% below consumption in 2022. The impact of reduced steel intensity was most significant in Germany, France, and Spain, while reduced domestic production was most pronounced in the UK, Poland, and Romania.

Minimal changes occurred in the share of different steel production routes, except in Italy, where the BF-BOF route's share declined significantly. Direct emission intensity increased over time, particularly in Italy and Germany, due to factors like fuel switching from gas to coal, lower utilization rates, and ageing steel production plants. Indirect emission intensity decreased due to a cleaner electricity grid, with increased renewables and reduced coal-fired power generation. However, indirect emissions have a smaller impact compared to direct emissions from the BF-BOF route.

On the country level, Italy and UK have seen the largest decline in emissions. While the Spanish iron and steelmaking industry was heavily hit by the financial and later by the Euro crisis, the German steel industry was much less affected. Neither a significant change in the energy mix on a particular route nor a change in technology influencing efficiency was found in the data. Hence, at least the combination of both had no substantial effect on emissions decline. Emission reductions in power generation are clearly mirrored in the data on indirect emissions of the iron and steel production.

Figure 7: Decomposition of the change of EU 27+UK CO₂ emissions from iron and steelmaking between 2005 and 2022 by country and effect



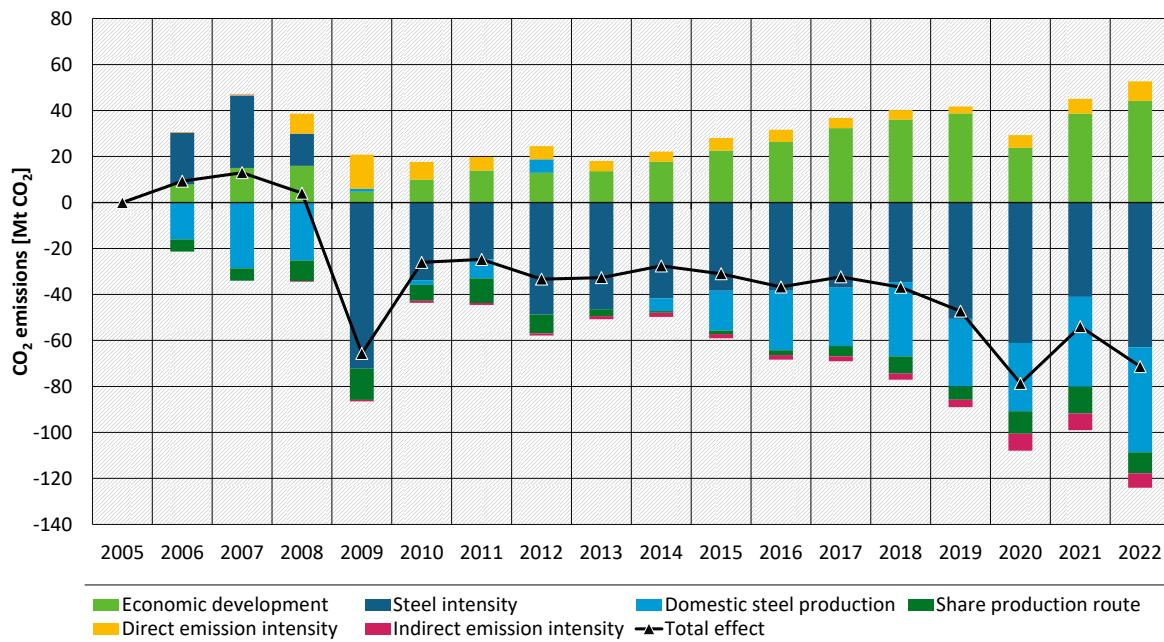
Source: Own calculations using the data sources in table 4 of the report in Annex B, Öko-Institut

The timeline of emissions in Figure 8 can be divided into four periods:

1. 2005 – 2008: Stable emissions, with higher steel intensity and economic development nearly offset by higher imports.
2. 2009: A sharp reduction in steel demand and emissions due to the global financial crisis.
3. 2010 – 2017: Stable emissions with recovering steel intensity, but below pre-crisis levels. Increasing steel demand was met by higher imports from 2015 onwards.

4. 2018 onwards: Declining emissions, with the COVID-19 pandemic causing a temporary dip in 2020. The main driver of emissions reduction was decreased steel intensity.

Figure 8: Decomposition of the development of CO₂ emissions from iron and steelmaking since 2005 in the EU 27+UK



Source: Own calculations, Öko-Institut

The eight countries with the largest impact on the total emission development in decreasing order are discussed below.

Italy has significantly contributed to the EU's CO₂ emission reduction in the iron and steel sector, accounting for nearly 20% of the total reduction. Unlike the broader EU trend, Italy's GDP has remained stable since 2005, which means it has not contributed to increased emissions. However, emissions per unit of steel from the BF-BOF route have increased due to lower efficiency at Italy's only integrated steelworks. There has been a notable shift in the share of the Electric Arc Furnace (EAF) route, with stable EAF production and a 55% decrease in the electricity grid emission factor, which has helped reduce EAF emissions.

From 2014 to 2022, **UK** steel production dropped from 12 Mt/year to 6 Mt/year. The 2009 economic crisis and the 2015 insolvency of a major steelworks significantly impacted production. Steel consumption never returned to pre-crisis levels. The EAF route, making up 20% of UK production (compared to the EU average of 40%), has remained constant, with emission reductions mainly due to a cleaner electricity grid.

Romania's CO₂ emissions from iron and steelmaking have been primarily influenced by a decline in domestic production, especially between 2005 and 2007 prior to the application of the EU ETS in Romania. The 2009 financial crisis and recent price shocks further impacted production. Unlike the EU trend, Romania's BF-BOF emission intensity has gradually decreased since 2012, potentially due to the ETS. However, the grid emission factor has not significantly contributed to emission reductions.

France's CO₂ emissions closely followed the EU-wide trends. Direct emission intensity improved compared to 2005, except in 2022 due to high gas prices following the Russian invasion of Ukraine. The share of EAF in total production declined slightly, which is unusual compared to other countries. Indirect emissions were negligible due to the already mostly decarbonized French electricity grid in 2005.

As the EU's largest economy and steel producer, **Germany's** emission drivers align closely with EU trends. However, Germany's emissions from iron and steelmaking have remained almost stable. The decline in domestic steel production is less pronounced than in other EU countries, and the share of EAF and DRI-EAF has decreased. Unlike the EU, Germany's steel intensity peaked in 2011 and only declined significantly from 2018 onwards. The decarbonization of the electricity grid is also evident in the data.

The **Spanish** economy, particularly steel demand, was severely impacted by the 2008 global financial crisis and the 2011/2012 Euro crisis, leading to a permanent decline in steel intensity. The Spanish steel industry partially compensated by increasing exports, though export shares fell again during the COVID-19 pandemic and after the Russian invasion of Ukraine. Spain has a high share of EAF production (almost 70%), and the decarbonization of the electricity system is evident in the overall emission trends.

Since the introduction of the ETS, **Poland's** emissions from iron and steelmaking have remained relatively stable. Strong economic growth was offset by a lower share of domestic steel production, with increased steel demand met by higher imports. Steel intensity has remained constant. There has been a slight improvement in direct emission intensity over the last five years, possibly due to the closure of an integrated steelworks in 2019. Despite nearly 60% of steel production via the EAF route, indirect emission intensity has not improved significantly.

Emissions in **Slovakia** remained stable until recent years. Strong economic growth was balanced by higher imports, with a notable improvement in direct emission intensity until 2019, peaking in 2018 but declining in 2020. Steel intensity has fluctuated, dropping during the 2008 crisis, recovering, and then declining again during the COVID-19 pandemic and the 2022 Russian invasion of Ukraine. The production routes have not changed significantly, with only 10% of steel production from the EAF route.

The full report “Decomposition of CO₂ emissions from iron and steelmaking in the EU: Identifying drivers of emissions trends in the EU ETS” by Jakob Graichen, Roman Mendelevitch, Hauke Hermann and Verena Graichen is included in Annex B.

2 Ergebnisse der Studien

Das EU-Emissionshandelssystem (EU-ETS)³ ist der Eckpfeiler der EU-Politik zur Verringerung der Emissionen in den Industriesektoren und bei der Stromerzeugung. Seit seiner Einführung im Jahr 2005 sind die Emissionen in den betroffenen Sektoren zurückgegangen. Ziel des Projekts ist es, die Wirksamkeit des EU-ETS zu bewerten und die Triebkräfte für die Emissionsentwicklung in den erfassten Sektoren zu ermitteln und zu klassifizieren. Im Einzelnen werden die Sektoren Stahl- und Eisenerzeugung, Zementherstellung, Mineralölraffinerien und der Verbrennungssektor betrachtet.

Zunächst wird die Art der Sektoren beschrieben, und die wichtigsten Technologien und Minderungsoptionen werden vorgestellt. Die Entwicklungen werden auf EU-Ebene bewertet und durch detaillierte Länderprofile ergänzt. Für ausgewählte Länder werden die Umweltbedingungen dokumentiert und aussagekräftige Indikatoren im Hinblick auf die Emissionsentwicklung und ihre Triebkräfte herausgearbeitet.

Für die beiden Industriesektoren mit dem höchsten Anteil an den EU-Emissionen, Zement sowie Eisen und Stahl, wird eine Dekompositionsanalyse durchgeführt, um die Triebkräfte der Emissionsentwicklung zu ermitteln.

Alle Bewertungen werden als unabhängige Berichte oder als Anhang zu diesem Bericht veröffentlicht. Sie werden im Folgenden zusammengefasst. Zunächst werden die Sektorstudien für Feuerungsanlagen, Eisen und Stahl, Zement und Erdölraffination vorgestellt. Dann folgen die Zerlegungsanalysen.

2.1 Entwicklung von Feuerungsanlagen unter dem EU-ETS

Die Erzeugung von Strom und Wärme ist die größte Einzelaktivität, die vom EU-ETS erfasst wird. Die unter Activity Code 20 zusammengefassten Verbrennungsanlagen machen 63 % der Gesamtemissionen aus, die 2019 unter das EU-Emissionshandelssystem fielen. Nach unseren Recherchen handelt es sich bei mehr als 81 % dieser Anlagen um Anlagen der Stromerzeugung oder Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen, also Kraftwerke. Aufgrund der Vernetzung, der unterschiedlichen Emissionsintensität der verschiedenen Brennstoffe und ihrer Organisation in einem wettbewerbsorientierten Markt mit Grenzkostenbasierter Bepreisung verfügten Kraftwerke über ein großes Potenzial den Kraftwerkseinsatz durch das Preissignal des EU-ETS in Richtung eines „saubereren Einsatz“ auszurichten.

Die dynamische Entwicklung eines integrierten und liberalisierten europäischen Strommarktes, eine heterogene Ausstattung der Erzeugungsfleotten in Bezug auf Erzeugungstechnologie, Primärenergieträger und Geschäftsmodell, die schnelle, aber diversifizierte Einführung erneuerbarer Energien – all dies hat sich in einem Umfeld schwankender Primärenergieträgerpreise und eines sich abzeichnenden, aber zumeist sehr geringen CO₂-Preises im EU-ETS gemeinsam entwickelt. Der vorliegende Bericht versucht, Licht in diese Entwicklung zu bringen.

Dieser Bericht soll die wichtigsten Entwicklungen des Sektors im Zeitraum von 2005 bis 2019 beschreiben, d. h. vor dem Ende der dritten ETS-Handelsperiode im Jahr 2020 und vor den bedeutenden Einschnitten in der Wirtschaftsaktivität, die als Folge der COVID-Pandemie in 2020 und den folgenden Jahren aufgetreten sind. Auch die seit 2019 erfolgten Änderungen der makroökonomischen Rahmenbedingungen könnten ebenso wenig berücksichtigt werden wie

³ Wenn der Begriff EU-ETS verwendet wird, bezieht er sich auf das EU-ETS 1, das die Betreiber von großen Energieanlagen und energieintensiven Industrieanlagen sowie die Betreiber von Flugzeugen und Schiffen umfasst.

die potenziellen Auswirkungen des "Fit-for-55"-Paket, das im Jahr 2023 in Gesetzen niedergelegt wurde. Dieses Reformpaket sieht Änderungen der ETS-Emissionsobergrenzen und die Einführung eines "Kohlenstoffgrenzausgleichsmechanismus" (CBAM) vor, der die kostenlosen Zuteilungen für Industriesektoren, einschließlich der Eisen- und Stahlindustrie, schrittweise ersetzen soll. Darüber hinaus sind die Preise für Emissionsberechtigungen seit 2018 erheblich gestiegen und haben dies auch nach 2019 fortgesetzt (siehe z. B. DEHSt (2024) für eine grafische Darstellung der beobachteten Preisentwicklung), was zumindest teilweise auf eine zunehmende Wahrnehmung der Knappheit auf dem Markt zurückzuführen ist.

Die vorliegende Analyse ermöglicht es, die wichtigsten Faktoren für die Entwicklung von Kapazitäten, Erzeugungsmengen und Emissionen nachzuvollziehen. Damit liefert er Schlüsselinformationen aus der Vergangenheit, die die Grundlage für künftige Prognosen und die Gestaltung von maßgeschneiderten politischen Instrumenten bilden.

Der Bericht bietet Informationen auf europäischer Ebene sowie für 10 ausgewählte europäische Länder in Form von kurzen Faktenblättern. Um ein umfassendes Bild der nationalen Trends in der EU zu erhalten, wurden die folgenden Länder für Kurzdarstellungen ausgewählt: die Tschechische Republik, Estland, Frankreich, Deutschland, Italien, die Niederlande, Polen, Rumänien, Spanien und das Vereinigte Königreich.

Die Emissionen im Zusammenhang mit dem Activity Code 20 (Verbrennungsanlagen) sind in den letzten Jahren in den Ländern, die unter das EU-ETS fallen, drastisch zurückgegangen. Abbildung 1 zeigt die Emissionstrends von Feuerungsanlagen in der EU-28 zwischen 2010 und 2019 auf der Grundlage von (European Commission (EC) n.d.)-Daten und unserer eigenen Forschung. Die Kraftwerke werden in der Abbildung nach Brennstoff unterschieden.

Auf Braunkohlekraftwerke entfielen im Jahr 2013 rund 65 % aller unter den Activity Code 20 fallenden Emissionen. Dieser Anteil sank auf 47 % im Jahr 2019. Die Emissionen aus Braunkohlekraftwerken belaufen sich im Jahr 2019 auf ca. 260 Mio. t CO₂, was einem Rückgang von 27 % gegenüber 2013 entspricht. Die Emissionen aus Steinkohlekraftwerken beliefen sich im Jahr 2019 auf 200 Mio. t CO₂, was einem Rückgang von 59 % gegenüber 2013 entspricht. Im gleichen Zeitraum blieben die Emissionen aus Hochofenkraftwerken mit 53 Mio. t CO₂ unverändert. Die Emissionen aus der Kategorie "Sonstige Verbrennung (Activity Code 20; Power Marker)", zu der erdgas- und ölbefeuerte sowie sonstige Kraftwerke gehören, stiegen nur um 3 % von 252 Mio. t CO₂ im Jahr 2013 auf 260 Mio. t CO₂ im Jahr 2019.

Der stärkste Rückgang erfolgte jedoch zwischen 2018 und 2019: Innerhalb eines Jahres sanken die Emissionen der Kraftwerke um 142 Mio. t CO₂. Steinkohlekraftwerke trugen am meisten zu dieser Verringerung bei (91 Mio. t CO₂ aus Steinkohlekraftwerken). Braunkohlekraftwerke trugen 57 Mio. t CO₂ bei. Die Emissionen aus anderen Kraftwerken (hauptsächlich erdgasbefeuerte Kraftwerke) stiegen von 2018 auf 2019 um etwa 10 Mio. t CO₂.

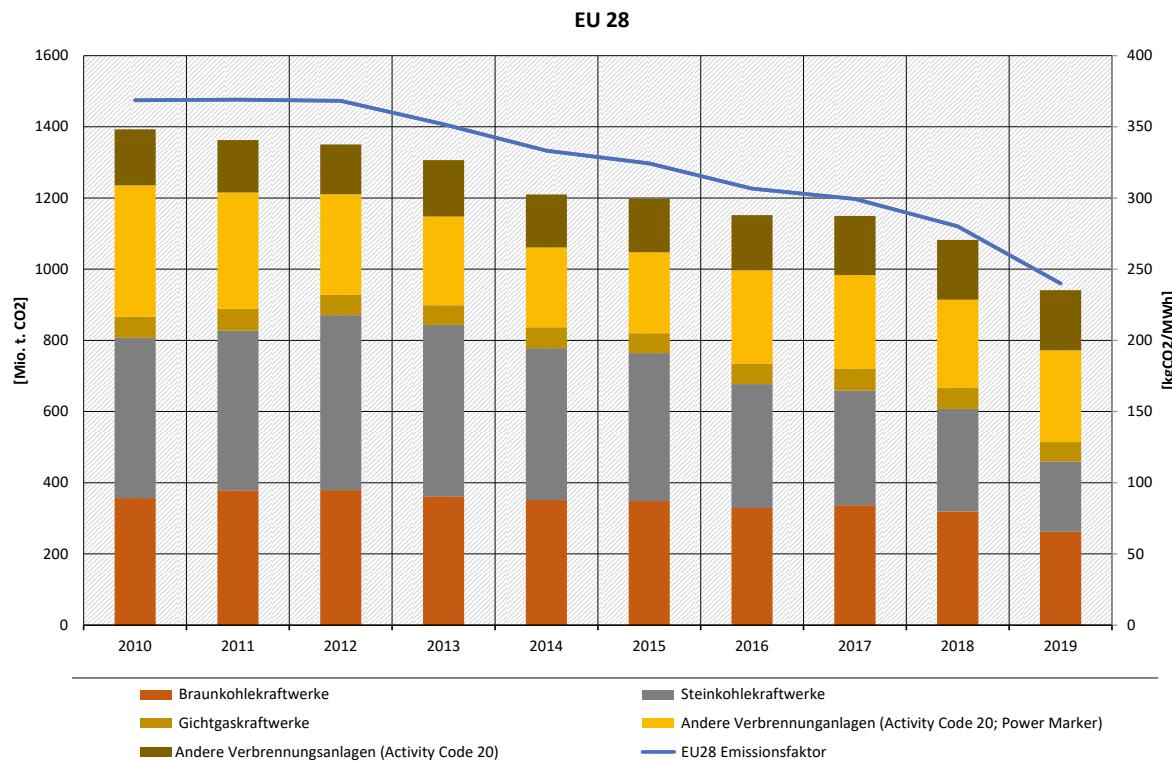
Die Kategorie "Sonstige Verbrennung (Activity Code 20)" umfasst die nicht stromerzeugenden Anlagen und blieb zwischen 2010 und 2019 stabil.

Abbildung 1 enthält auch den Emissionsfaktor der Bruttostromerzeugung in der EU-28. Er ist von 370 kg CO₂/MWh im Jahr 2010 auf 240 kg CO₂/MWh im Jahr 2019 gesunken.

Bedingt durch den anhaltenden Rückgang der Kohleverstromung aufgrund der hohen Preise im EU-ETS, aber auch durch die geringere Nachfrage während der COVID-19-Pandemie, setzte sich der rückläufige Trend auch im Jahr 2020 fort. In den Jahren 2021 und 2022, dem Beginn der vierten Handelsperiode, stiegen die Emissionen zunächst wieder an. Dies war auf eine höhere Stromnachfrage infolge der wirtschaftlichen Erholung nach der COVID-19-Pandemie sowie auf eine Verschiebung der relativen Kosten für die Kohleverstromung gegenüber erdgasbasierter

Stromerzeugung infolge des russischen Angriffskriegs gegen die Ukraine und den damit verbundenen Anstieg der Emissionen aus der Verbrennung von Stein- und Braunkohle zurückzuführen. Dieser kurzzeitige Trend in der Kohleverstromung kehrte sich 2023 um. Infolgedessen gingen die Emissionen aus der Kraftwerkserzeugung deutlich zurück und erreichten den niedrigsten Stand seit Beginn des EU-ETS im Jahr 2005. Dies ist vor allem auf den starken Rückgang der Energienachfrage von Industrie und Haushalten zurückzuführen, der durch stark gestiegene Energiepreise verursacht wurde.

Abbildung 1: EU-28 Emissiontrends in Activity Code 20

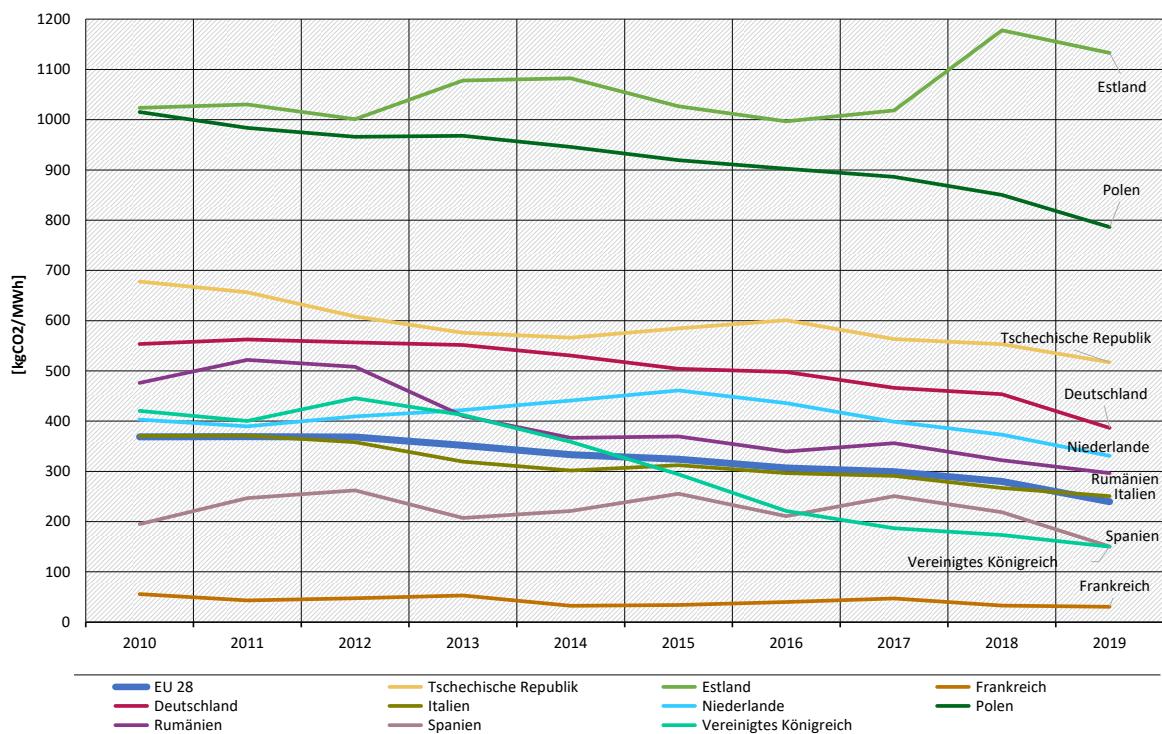


Anmerkung: Die Werte für Kroatien wurden für die Jahre 2010-2012 extrapoliert, wobei die Daten des gesamten Treibhausgasinventars als Proxy für Emissionstrends verwendet wurden. Emissionen in der Kategorie: Sonstige Verbrennungsanlagen (Activity Code 20; Power Marker) werden nach dem Abzugsverfahren berechnet: Alle Emissionen mit Power Marker minus Emissionen aus Braun- und Steinkohlekraftwerken minus Emissionen aus Gichtgaskraftwerken.

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf Daten von Europe Beyond Coal (2022), European Environment Agency (EEA) (2022), Ember (2020), und eigener Zuordnung basierend auf European Commission (EC) n.d..

Abbildung 2 zeigt die Entwicklung der Emissionsfaktoren für die EU-28 und für die zehn für diese Studie ausgewählten Länder im direkten Vergleich zwischen 2010 und 2019. Estland, Polen, die Tschechische Republik, Deutschland, die Niederlande und Rumänien hatten während des gesamten Zeitraums eine emissionsintensivere Stromerzeugung als der Durchschnitt der EU-28. Der Trend des Emissionsfaktors von Italien ist dem der EU-28 recht ähnlich, während das Vereinigte Königreich von höheren Emissionsfaktoren als der EU-Durchschnitt bis 2014 zu niedrigeren Emissionsfaktoren ab 2015 überging. Die Emissionsfaktoren Spaniens und Frankreichs lagen im betrachteten Zeitraum stets unter den Werten der EU-28. In den nachfolgenden Einzelkapiteln werden die Gründe für diese sehr unterschiedlichen Emissionsfaktorniveaus genauer untersucht.

Abbildung 2: Emissionsfaktor der Bruttostromerzeugung für die EU-28 und ausgewählte Länder



Hinweis: Der Emissionsfaktor wurde auf der Grundlage der CO₂-Emissionen der in der EU-ETS-Datenbank des Öko-Instituts identifizierten Kraftwerke und der von Ember (2020) gemeldeten Bruttostromerzeugung berechnet. Dieser kann von den bei der Europäischen Umweltagentur (EEA, 2021) angegebenen Werten abweichen.

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf DatenEurope Beyond Coal (2022) von European Environment Agency (EEA) (2021), Ember (2020), und eigener Zuordnung basierend auf European Commission (EC) n.d..

Der vollständige Bericht "Development of the iron and steelmaking sector under the EU ETS: Overview and country level analysis from 2005 to 2019" von Roman Mendelevitch, Hauke Hermann, Verena Graichen, Teodora Bibu, Frederik Lettow und Christian Nissen (alle Öko-Institut) ist unter folgendem Link zu finden <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7634>.

2.2 Entwicklung des Eisen- und Stahlerzeugungssektors im Rahmen des EU-ETS

Das EU-ETS ist ein zentrales Politikinstrument zur Verringerung der Treibhausgasemissionen von Stromerzeugungs- und Industrieanlagen in Europa. Die Eisen- und Stahlerzeugung ist der Industriesektor mit den höchsten absoluten CO₂-Emissionen. Der Sektor spielt eine wichtige Rolle für die Wertschöpfung und die Beschäftigung in der EU-28 und induziert einen erheblichen innereuropäischen und internationalen Handel.

Dieser Bericht soll die wichtigsten Entwicklungen des Sektors im Zeitraum von 2005 bis 2019 beschreiben, d. h. vor dem Ende der dritten Handelsperiode des EU-ETS im Jahr 2020 und vor den bedeutenden Einschnitten in der Wirtschaftsaktivität, die als Folge der COVID-Pandemie in 2020 und den folgenden Jahren aufgetreten sind. Auch die seit 2019 erfolgten Änderungen der makroökonomischen Rahmenbedingungen konnten ebenso wenig berücksichtigt werden wie die potenziellen Auswirkungen des "Fit-for-55"-Paket, das im Jahr 2023 in Gesetzen niedergelegt wurde. Dieses Reformpaket sieht Änderungen der Emissionsobergrenzen im EU-ETS (Cap) und die Einführung eines "Kohlenstoffgrenzausgleichsmechanismus" (CBAM) vor, der

die kostenlosen Zuteilungen für Industriesektoren, einschließlich der Eisen- und Stahlindustrie, schrittweise ersetzen soll. Darüber hinaus sind die Preise für Emissionsberechtigungen seit 2018 erheblich gestiegen und haben dies auch nach 2019 fortgesetzt (siehe z. B. DEHSt (2024) für eine grafische Darstellung der beobachteten Preisentwicklung), was zumindest teilweise auf eine zunehmende Wahrnehmung der Knappheit auf dem Markt zurückzuführen ist.

Die vorliegende Analyse identifiziert die wichtigsten Treiber hinter den Trends bei Emissionen, Produktionsniveaus, Investitionen und dem Marktumfeld auf Länder- und Anlagenebene. Durch die Bereitstellung von Schlüsselinformationen aus der Vergangenheit schafft er eine solide Grundlage für künftige Prognosen und die Gestaltung von Klimapolitik. Seit 2019 sind die Emissionen auf EU-Ebene und in der Mehrzahl der Mitgliedstaaten zunächst im Jahr 2020 aufgrund der wirtschaftlichen Auswirkungen der COVID-Pandemie stark gesunken, haben sich dann 2021 vorübergehend erholt, sind aber in den Jahren 2022 und 2023 wieder deutlich gesunken (siehe ERC CM (2023, p. 15) für die EU-Ebene und DEHSt (2024) für Deutschland als Beispiel für die Entwicklung auf der Ebene der Mitgliedstaaten). Diese Emissionstrends spiegeln im Wesentlichen die Entwicklung der Produktion (vor allem die des Primärroute, die die CO₂-Emissionen des Eisen- und Stahlsektors dominiert) wider, die insbesondere in den Jahren 2022 und 2023 nicht zuletzt als Folge des russischen Angriffskrieges gegen die Ukraine sowohl auf EU-Ebene als auch in Deutschland deutlich rückläufig waren (EUROFER 2024; World Steel Association 2024; WV Stahl 2024). Der Bericht beginnt mit einem Überblick über die EU-28, in dem die Emissionsquellen, die Produktionsrouten sowie Trends bei Investitionen und Regulierungs- und Marktumfeld beschrieben werden. Der Rest des Berichts enthält in Form von Kurzberichten Informationen über die Eisen- und Stahlindustrie in acht ausgewählten europäischen Ländern: Deutschland, Italien, Frankreich, Polen, Österreich, das Vereinigte Königreich, die Niederlande und Tschechien. Die ausgewählten Länder repräsentieren 70 % der gesamten Rohstahlproduktion und 75 % der Emissionen aus der Eisen- und Stahlproduktion in der EU-28, die unter das EU-ETS fallen (Activity Code 22 - 25 und Kuppelgaskraftwerke unter Activity Code 20). Sie haben unterschiedliche Anteile der Produktion mit Elektrolichtbogenöfen (EAF; 0 % - 82 %) (im Durchschnitt liegt der EAF-Anteil in der EU-28 bei 41 %) und unterschiedliche Anteile der Emissionen aus der Eisen- und Stahlproduktion an den Gesamtemissionen (3 % - 15 %) (in der EU-28 trägt die Eisen- und Stahlproduktion 5 % zu den Gesamtemissionen bei).

EU-28-Ebene

Seit der Einführung des EU-ETS im Jahr 2005 sind die im EUTL gemeldeten Gesamtemissionen von rund 240 Mio. t CO₂ auf rund 200 Mio. t CO₂ im Jahr 2019 zurückgegangen. Der Rückgang ist hauptsächlich auf eine Verringerung des Gesamtproduktionsvolumens zurückzuführen (von 190 Mio. t Rohstahl im Jahr 2005 auf 160 Mio. t Rohstahl im Jahr 2019), ohne dass sich die Anteile der verschiedenen Produktionsrouten wesentlich verändert haben oder signifikante Effizienzsteigerungen auf den jeweiligen Routen zu verzeichnen waren. Der Stahlverbrauch der EU-28 wird überwiegend durch das inländische Angebot gedeckt. In 2019 wurden knapp 10 % der Netto-Nachfrage durch Einfuhren gedeckt, wobei Russland und die Ukraine die wichtigsten Handelspartner waren, auch wenn China mit 50 % der Stahlerzeugungskapazität der weltweit dominierende Stahlproduzent ist. Was die Anlagen betrifft, so wurden in der EU-28 seit 2005 keine neuen integrierten Stahlwerke eröffnet; die meisten Standorte blicken vielmehr auf eine lange Geschichte der Stahlerzeugung zurück. Nach der Wirtschaftskrise von 2008-2009 wurden mehrere Hochöfen nach Ablauf ihrer Lebensdauer nicht mehr neu zugestellt (insbesondere im Vereinigten Königreich und in Frankreich, Polen und Tschechien). Nur wenige neue Elektrolichtbogenöfen wurden an bestehenden integrierten Standorten hinzugefügt, z. B. im Vereinigten Königreich und in Italien.

Tabelle 4 gibt einen Überblick über die Gesamtemissionen, die Produktion und die Entwicklung der Emissionsintensität für die drei wichtigsten Produktionsrouten von Rohstahl. Der größte Teil der Emissionen aus der Eisen- und Stahlerzeugung entfällt auf die Roheisenerzeugung mit Hochöfen (BF-BOF-Route). Die Gesamtemissionen der Rohstahlerzeugung an BF-BOF-Standorten beliefen sich im Jahr 2019 auf 176 Mio. t CO₂, was 89 % der Gesamtemissionen des Eisen- und Stahlsektors entspricht, die unter den EU-ETS fallen. Die durchschnittliche direkte Emissionsintensität der BF-BOF-Route - einschließlich der Kuppelgaskraftwerke - betrug 2019 etwa 1,85 t CO₂ pro Tonne Rohstahl, was sich seit 2013 nicht geändert hat. Diese Emissionsintensität umfasst auch die Emissionen von Sinter- und Kokerei-Anlagen, Hochöfen, Sauerstoffkonvertern und Walzwerken, wenn diese an integrierten Standorten betrieben werden.

Tabelle 4: Emissionen nach Produktionsroute in der Eisen- und Stahlerzeugung für die EU-28 auf Grundlage einer standortspezifischen Auswertung der EUTL

Route	Indicator	Unit	2013	2015	2018	2019
Hochofen (BF-BOF Route)	Emissionen ¹	[Mt CO ₂]	186,0	188,4	182,2	174,0
	Produktion	[Mt Rohstahl]	100,1	100,9	98,1	93,9
	Emissionsintensität	[t CO ₂ /t Rohstahl]	1,86	1,87	1,86	1,85
Elektrolicht- bogenofen (EAF-Route)	Emissionen ²	[Mt CO ₂]	9,7	9,7	10,2	9,4
	Produktion ³	[Mt Rohstahl]	65,7	64,8	68,9	64,4
	Emissionsintensität	[t CO ₂ /t Rohstahl]	0,15	0,15	0,15	0,15
Direkt- reduktion (DRI-EAF Route)	Emissionen ⁴	[Mt CO ₂]	0,5	0,5	0,5	0,5
	Produktion	[Mt DRI]	0,6	0,7	0,7	0,6
	Emissionsintensität	[t CO ₂ /t Produkt]	0,86	0,80	0,80	0,79
Andere ⁵	Emissionen	[Mt CO ₂]	13,7	12,4	12,6	11,6
Summe	Emissionen	[Mt CO₂]	210,0	211,1	205,5	195,7

Anmerkungen:

[¹] Zu den Emissionen, die der BF-BOF-Route zugeordnet werden, gehören: Emissionen aus Kokereien und Sinteranlage (die entweder separat, z. B. unter den Activity Code 22 und 23, oder als integriertes Stahlwerk unter Code 24 gemeldet werden), Emissionen aus der Roheisen- und Stahlerzeugung im BF und BOF (unter Code 24 gemeldet) und Emissionen aus nachgelagerten Prozessen, die in der Regel Kuppelgase aus den vorgelagerten Prozessen als Brennstoff einsetzen (unter Code 25 oder als integriertes Stahlwerk unter Code 24 gemeldet), sowie Emissionen aus Kuppelgaskraftwerken am Standort (unter Code 20 gemeldet).

[²] Emissionen, die der EOF-Route zugeordnet werden, stammen aus dem Brennstofffeinsatz und dem Elektrodenverschleiß in den Elektrolichtbogenöfen (unter Code 24 oder in einigen Fällen unter Code 25 gemeldet) und den Walzwerken, die häufig unter derselben Anlage gemeldet werden.

[³] Ohne die EAF-Stahlerzeugung aus direkt reduziertem Eisen.

[⁴] Die der DRI-Route zugeordneten Emissionen umfassen brennstoffbedingte und prozessbedingte Emissionen aus DRI-Anlagen sowie den Anteil der Emissionen aus der nachfolgenden EAF-Route, der dem Massenanteil des DRI im EAF entspricht.

[⁵] Sonstige Emissionen umfassen alle Emissionen unter den Codes 22-25, die nicht einem integrierten Stahlwerk oder einer der drei Produktionsrouten zugeordnet sind.

Quelle: Eigene Darstellung basierend auf European Commission (EC) n.d. für Emissionsdaten, Worldsteel Association (2020) für Produktionsdaten.

Auf der Hochofenroute wurden seit der Einführung des Emissionshandels keine nennenswerten Emissionsminderungen erzielt. Die spezifischen Emissionen sind in der EU-28 nur um 2 % gesunken und in vielen Ländern sogar gestiegen, z. B. um 10 % in Deutschland. Der Anstieg der spezifischen Emissionen auf der Hochofenroute lässt sich auf mehrere Faktoren zurückführen. Die wichtigsten sind die ineffiziente Nutzung der integrierten Infrastruktur aufgrund einer schlechten Auslastung der Produktionskapazitäten und die zunehmende Einblasung von billiger Steinkohle (pulverisierte Kohleeinblasung (PCI)) ersetzt. In den ersten Jahren des EU-ETS war das CO₂-Preissignal nicht stark genug, um diese Brennstoffumstellung zu verhindern.

Die Summe der direkten Emissionen der Elektrostahlwerke beliefen sich im Jahr 2019 auf 9,4 Mio. t CO₂, was 5 % der Gesamtemissionen der Eisen- und Stahlindustrie entspricht. Die durchschnittliche direkte Emissionsintensität der EAF-Route lag im Jahr 2019 bei etwa 0,15 t CO₂/t Rohstahl. Diese Emissionsintensität schließt auch die Emissionen von Walzwerken ein, die am selben Standort betrieben werden, wenn sie ihre Emissionen zusammen mit der Elektrostahlerzeugung melden (was häufig der Fall ist).

Die gesamten direkten Emissionen der DRI-Standorte beliefen sich 2019 auf 0,5 Mio. t CO₂, was 0,2 % der Gesamtemissionen des Eisen- und Stahlsektors entspricht. Die durchschnittliche direkte Emissionsintensität auf der DRI-EAF-Route betrug im Jahr 2019 etwa 0,79 t CO₂/t Rohstahl. Diese Emissionsintensität umfasst die Emissionen der DRI-Anlage und der EAF-Anlage. Die einzige DRI-EAF-Anlage, die in den Datenblättern näher analysiert wird, befindet sich in Hamburg, Deutschland. Hier lag die Intensität im Jahr 2019 bei 0,5 t CO₂/t DRI.

Die Emissionen aus anderen Prozessen (einschließlich Gießereien und nachgelagerten Prozessen) entsprechen 11,6 Mio. t CO₂ (6 %) im Jahr 2019.

Der ganze Bericht "Development of the iron and steelmaking sector under the EU ETS: Overview and country level analysis from 2005 to 2019" von Roman Mendelevitch, Hauke Hermann, Verena Graichen, Teodora Bibu, Frederik Lettow und Christian Nissen (alle Öko-Institut) ist unter folgendem Link <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7626> zu finden.

2.3 Entwicklung der Zementklinkerproduktion im Rahmen des EU-ETS

Der Bericht fasst die wichtigsten Trends und Einflussfaktoren der Treibhausgasemissionen im Zementsektor in der EU28 von 2005 bis 2017 zusammen, analysiert die Länder mit dem höchsten Anteil an den Gesamtemissionen der EU28 (d. h. Deutschland, Spanien, Frankreich, das Vereinigte Königreich, Italien, Polen und Griechenland) und stellt die wichtigsten Zahlen zu den Emissionstrends der ausgewählten Länder in Form von Faktenblättern vor. Ziel dieses Berichts ist es, die wichtigsten Entwicklungen des Sektors im Zeitraum von 2005 bis 2017 zu beschreiben, d. h. vor dem Ende der dritten Handelsperiode des EU ETS im Jahr 2020.

Externe Faktoren, wie die wirtschaftliche Entwicklung im Bausektor und die Nachfrage nach Zement scheinen die wichtigsten Treiber der Klinkerproduktion und damit der Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen) im Zeitraum 2005-2017 zu sein. In den meisten Ländern gibt es eine starke positive Korrelation zwischen dem Index der Baukonjunktur und der Produktion von Zementklinker. Außer in Frankreich und Italien ist die Produktion von Zementklinker zwischen 2013 und 2017 angestiegen. In Italien, Spanien und Griechenland hatte die Wirtschafts- und Finanzkrise im Jahr 2008 starke Auswirkungen auf die Produktion von Zementklinker. Die Produktion lag in diesen Ländern im Jahr 2017 immer noch deutlich unter dem Niveau von 2005 und viele Werke haben ihren Betrieb eingestellt.

Der Anteil des emissionsintensiven Klinkers im Zement kann durch die Verwendung von weniger emissionsintensiven Ersatzstoffen wie Schlacke, Kalkstein, Gips und Flugasche

verringert werden, je nach der lokalen Verfügbarkeit von Industrieabfällen und natürlichen mineralischen Ressourcen. Das Klinker-Zement-Verhältnis hängt in erster Linie von der Nachfrage nach bestimmten Zementprodukten mit spezifischen Eigenschaften und Klinkeranteilen ab.

- ▶ Der Klinkeranteil hat sich in der EU28 seit der Einführung des EU-ETS nicht wesentlich verändert. Während er zwischen 2005 und 2012 zurückging, ist er 2017 wieder auf 77 % gestiegen.
- ▶ Die Verwendung von Ersatzstoffen in der Zementproduktion unterscheidet sich von Land zu Land, sowohl in Bezug auf die Menge als auch auf die Qualität, wobei das Vereinigte Königreich 2017 den höchsten Klinkeranteil (87 %) und Deutschland den niedrigsten Anteil (72 %) aufwies.

Die Klinkerexporte sind zwischen 2005 und 2017 gestiegen. Spanien war beispielsweise im Jahr 2005 ein Nettoimporteur von Zementklinker, aber seit 2011 sind die Ausfuhren größer als die Einfuhren. Auch in Italien ist seit 2010 ein leichter Anstieg der Exporte zu beobachten.

Die Zementklinkerproduktionsanlagen in den untersuchten Ländern zeigen unterschiedliche Erfolge bei der Verringerung der THG-Emissionsintensität durch den Einsatz von Biomasse und alternativen Brennstoffen.

- ▶ Der Einsatz von alternativen fossilen Brennstoffen und Biomasse in der Zementherstellung hängt stark von den länderspezifischen Vorschriften und Gegebenheiten im Bereich der Abfallwirtschaft ab. In den meisten Ländern ist in den letzten Jahren ein steigender Trend zu verzeichnen. Im Jahr 2017 wurden die höchsten Biomasseanteile in Deutschland (21 %) und Polen (23 %) verzeichnet, während Italien mit nur 3 % den niedrigsten Anteil aufweist (siehe Tabelle 4).
- ▶ Der Anteil der Drehrohröfen mit Trockenverfahren, die bei optimalem Betrieb die geringste Emissionsintensität aufweisen, zeigt in der EU28 einen steigenden Trend und liegt 2017 bei über 80 %. Bei der Energieintensität der Zementklinkerproduktion ist im Zeitraum 2013–2017 jedoch keine wesentliche Verbesserung zu verzeichnen.

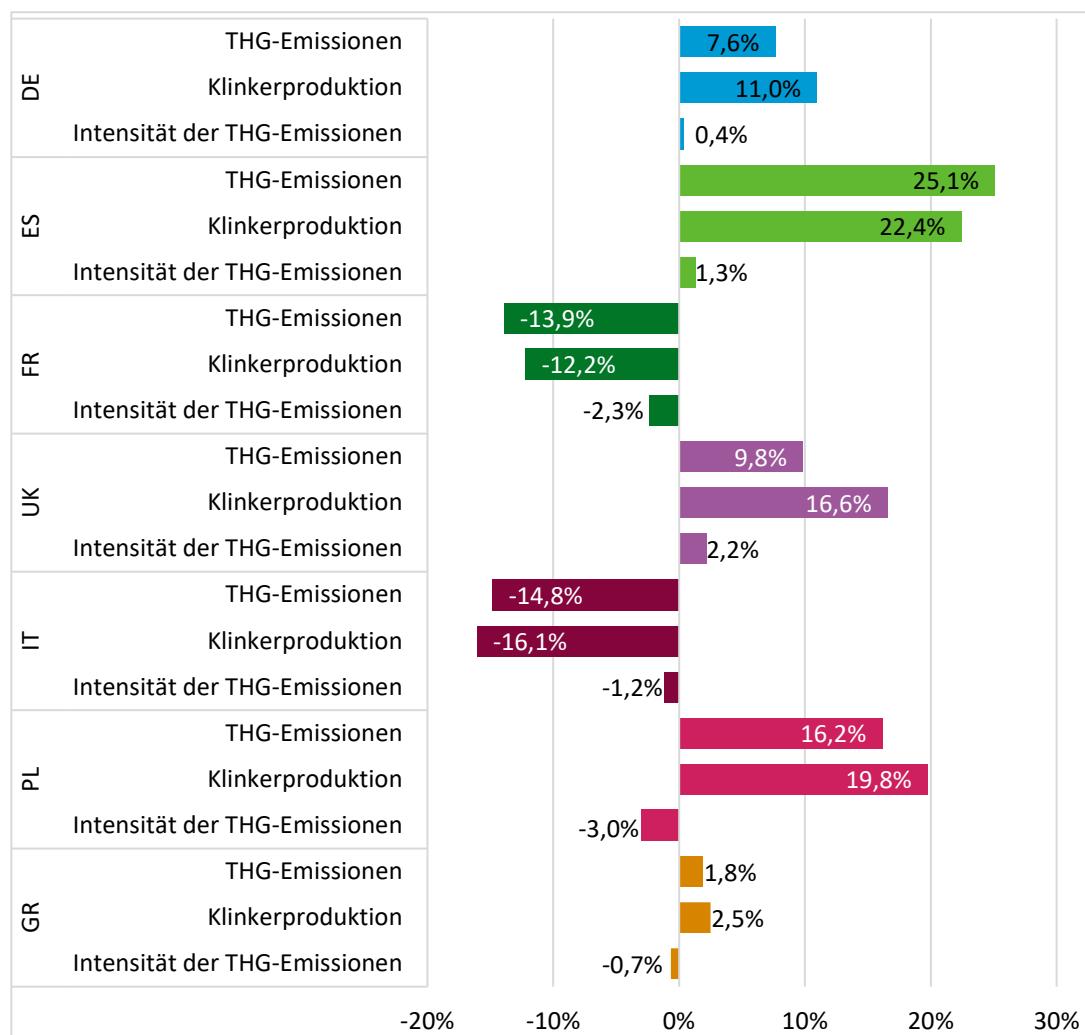
Tabelle 5: Ausgewählte Mitgliedstaaten: Kennzahlen zur Zementklinkerproduktion (2017)

Kennzahlen der Zementklinkerindustrie	Unit	DE	ES	FR	UK	IT	PL	GR
THG-Emissionen	Mt CO ₂ eq	20	15	10	7	12	10	6
Klinkerproduktion	Mt	25	18	11	8	13	13	7
Intensität der THG-Emissionen	t CO ₂ eq/t clinker	0,81	0,82	0,83	0,84	0,84	0,79	0,84
Energieverbrauch	PJ	95	40	46	25	43	48	ND
Energieintensität	GJ/t clinker	3,8	3,0	3,9	3,8	3,2	3,7	ND
Anzahl der Produktionsanlagen für Zementklinker	-	36	31	33	12	32	10	6

Kennzahlen der Zementklinkerproduktion im Jahr 2017 in den untersuchten Ländern. ND steht für keine Daten.

Quelle: Eigene Berechnung basierend auf European Commission (EC) (n.d.); Global Cement and Concrete Association (2020), Germany (2019); Spain (2019); France (2019); United Kingdom (2019); Italy (2019); Poland (2019); Greece (2019).

Abbildung 3: Ausgewählte Mitgliedstaaten: Veränderung der Kennzahlen der Zementklinkerproduktion 2013-2017



Veränderung der Kennzahlen der Zementklinkerproduktion zwischen 2013 und 2017 in den untersuchten Ländern.

Quellen: European Commission (EC) (n.d.); Global Cement and Concrete Association (2020), Germany (2019); Spain (2019); France (2019); United Kingdom (2019); Italy (2019); Poland (2019); Greece (2019)

Die vorliegende Studie bildet eine Grundlage für weitere Untersuchungen zu den Auswirkungen des EU-ETS auf die Treibhausgasemissionen, vor allem nach dem Jahr 2017 und für eine Weiterentwicklung des Emissionshandelssystems der EU. In den Jahren 2018 bis 2020 haben sich die Emissionen des Zementsektors in Deutschland und in der übrigen EU unterschiedlich entwickelt - der leichte Anstieg der Emissionen in Deutschland im Vergleich zum Rückgang der Emissionen der Zementklinkerproduktion in den restlichen vom EU-ETS erfassten Ländern als Reaktion auf die Wirtschaftstätigkeit, die mit den Auswirkungen der COVID-19-Pandemie in Verbindung gebracht werden kann, wird in diesem Bericht nicht berücksichtigt. Der Rückgang der Emissionen des Sektors seit 2021 ist, wie in den meisten Sektoren, auf Produktionsrückgänge infolge der Auswirkungen des russischen Angriffskrieges gegen die Ukraine zurückzuführen. Die damit verbundenen Unsicherheiten, die zu einem Anstieg der Energiepreise, insbesondere für Erdgas und Strom, zu Kostensteigerungen und damit zu einem Nachfragerückgang führten, werden in diesem Bericht ebenfalls nicht behandelt. Ebenso wenig können die Veränderungen der makroökonomischen Rahmenbedingungen, die Entwicklungen auf den Energiemarkten sowie die möglichen Auswirkungen des „Fit for 55“-Paketes berücksichtigt werden, das 2023 gesetzlich verankert wurde. Darüber hinaus sind die Preise für

Emissionsberechtigungen seit 2018 erheblich gestiegen (siehe z. B. DEHSt (2024) für eine grafische Darstellung der beobachteten Preisentwicklung).

Der ganze Bericht "Development of the cement clinker production under the EU ETS: Overview and country level analysis from 2005 to 2017" von Bettina Schäppi, Sophie Kaufmann, Laura Kessler und Jürg Füssler (alle INFRAS) ist unter folgendem Link <https://doi.org/10.60810/openumwelt-7635> zu finden.

2.4 Entwicklung der Erdölraffinerien im Rahmen des EU-ETS

Der Bericht fasst die wichtigsten Trends und Einflussfaktoren der Treibhausgasemissionen der Raffinerien in der EU28 von 2005 bis 2017 zusammen, analysiert die Länder mit dem höchsten Anteil an den Gesamtemissionen der und stellt die wichtigsten Zahlen zu den Emissionstrends der ausgewählten Länder in Form von Faktenblättern vor. Ziel dieses Berichts ist es, die wichtigsten Entwicklungen des Sektors im Zeitraum von 2005 bis 2017 zu beschreiben, d. h. vor dem Ende der dritten Handelsperiode des EU ETS im Jahr 2020.

Allgemeine Anmerkung:

In einigen Ländern (z.B. Deutschland) wurden Anlagen, die Strom für Raffinerien erzeugen, vor 2013 dem Sektor "Feuerungsanlagen" zugeordnet. Seit 2013 werden sie dem Sektor 21 ("Raffination von Mineralöl") zugeordnet. Die Emissionen liegen daher seit 2013 auf einem höheren Niveau und die Daten ab 2013 sind nicht direkt mit dem Zeitraum 2005 bis 2012 vergleichbar. Diese unterschiedliche Zuordnung der Emissionen zu den Sektoren des EU ETS könnte auch ein möglicher Grund sein für die beobachteten Unterschiede in den nationalen Emissionsintensitäten.

Mit Ausnahme von Polen sind die Treibhausgas (THG)-Emissionen der Erdölraffinerien zwischen 2013 und 2017 in allen untersuchten Ländern zurückgegangen. Der Rückgang der Treibhausgasemissionen aus dem Raffineriesektor war mit 11,7 % seit 2013 in Frankreich am größten.

Gleichzeitig stieg der Raffineriedurchsatz (siehe Definition in Kap. 2.1), wobei der höchste Anstieg in Spanien zu verzeichnen war (+9,5%).

Dies führt zu einem Rückgang der Emissionsintensität zwischen 2013 und 2017. Der stärkste Rückgang wurde für Frankreich (-13,5 %) und der geringste für Polen (-5,2 %) beobachtet.

Im Gegensatz zum Anstieg des Raffineriedurchsatzes ist die Raffineriekapazität (siehe Definition in Kap. 2.1) zwischen 2013 und 2017 in den meisten der untersuchten Länder zurückgegangen. Daher ist in diesem Zeitraum die Kapazitätsauslastung (siehe Definition in Kap. 2.1) in den meisten Ländern angestiegen, mit Ausnahme der Niederlande.

Hauptgrund für die beobachtete Entwicklung der THG-Emissionen der Raffinerien zwischen 2005 und 2017 ist die rückläufige **Nachfrage nach Erdölerzeugnissen**, wie beispielsweise Benzin sowie leichtes und schweres Heizöl. Mit Ausnahme von Polen weisen alle untersuchten Länder seit 2005 einen rückläufigen Trend bei der Nachfrage nach Erdöl und Erdölerzeugnissen auf, wobei jedoch seit 2014 ein leichter Anstieg des Verbrauchs von Erdölprodukten zu verzeichnen ist (+4 %).

Die Verschiebung der Nachfrage nach bestimmten Produkten ist für die Emissionen von Bedeutung: Der Anteil von leichtem Heizöl und Diesel ist gestiegen, während der Anteil von Benzin und schwerem Heizöl zwischen 2013 und 2019 gesunken ist. Außerdem ist im Verkehrssektor eine Substitution fossiler Kraftstoffe durch Biokraftstoffe zu verzeichnen. Diese

Veränderungen könnten die sinkenden THG-Emissionen des Raffineriesektors zwischen 2013 und 2017 bei gleichzeitigem Anstieg des Verbrauchs erklären.

Da der größte Teil des Rohöls aus Ländern importiert wird, die keine großen Unterschiede hinsichtlich der atmosphärischen Rückstände aufweisen (d. h. Afrika, EU, GUS), ist der Einfluss der atmosphärischen Rückstände auf die THG-Emissionen des Raffineriesektors in den im vorliegenden Bericht betrachteten Ländern von geringer Bedeutung.

Die Erdölraffinerien konnten die Treibhausgasemissionen des Raffinerieprozesses durch die Substitution flüssiger Brennstoffe durch Erdgas und durch die Umstellung bestehender Erdölraffinerien auf Bioraffinerien reduzieren.

- ▶ In den meisten Ländern ist ein rückläufiger Trend bei flüssigen Brennstoffen, die bei der Erdölraffination verwendet werden, und ein Anstieg bei Erdgas zu beobachten, mit Ausnahme von Polen, wo der Einsatz flüssiger Brennstoffe seit 2013 wieder zunimmt.
- ▶ Einige Erdölraffinerien in Italien und Frankreich wurden auf Bioraffinerien umgestellt. In Italien sind derzeit zwei Bioraffinerien in Betrieb, eine in Venedig und eine weitere in Gela, Sizilien. In Frankreich wurde die Erdölraffinerie "Raffinerie de Provence" in La Mède, die sich im Besitz von TOTAL Raffinage France befindet, im Jahr 2015 in eine Bioraffinerie umgewandelt und ging 2019 in Betrieb. Sie produziert sowohl Biodiesel als auch Biojet-Kraftstoff für die Luftfahrtindustrie und verarbeitet Pflanzenöle sowie tierische Fette, Speiseöl usw.
- ▶ Der kapazitätsgewichtete durchschnittliche Nelson-Index scheint keinen starken Einfluss auf die Treibhausgasemissionen der Raffinerieindustrie auf nationaler Ebene zu haben. Mögliche Korrelationen sollten auf der Ebene der Anlagen weiter untersucht werden.

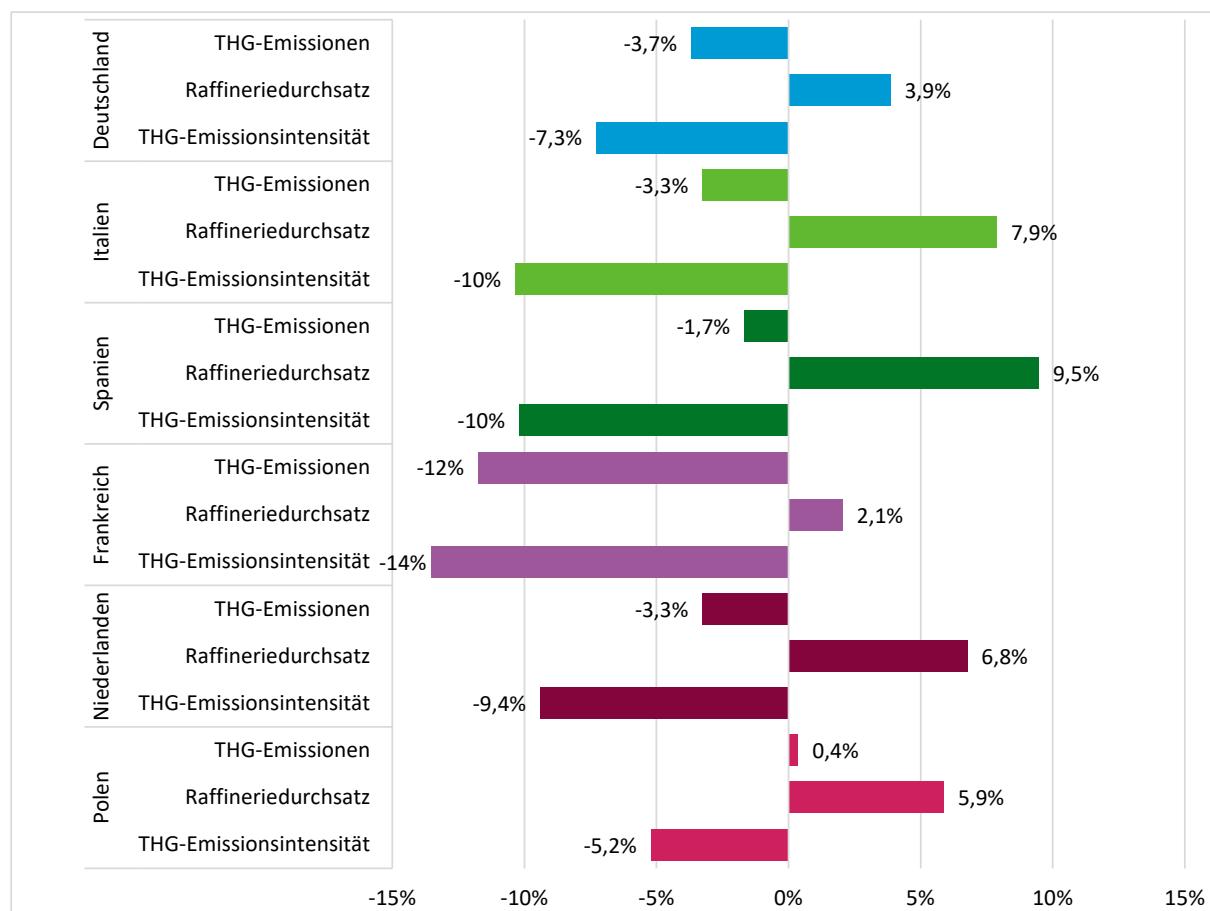
Tabelle 6: Ausgewählte Mitgliedsstaaten: Kennzahlen der erdölverarbeitenden Industrie 2017

Kennzahlen Erdölraffinerien	Einheit	Deutsch- land	Italien	Spanien	Frank- reich	Nieder- lande	Polen
THG-Emissionen	Mt CO ₂ eq	24	18	14	10	10	4
Raffineriedurchsatz	Mt	104	76	67	60	60	27
THG-Emissionsintensität	t CO ₂ eq/t Durchsatz	0,23	0,24	0,21	0,17	0,17	0,15
Energieverbrauch	PJ	288	162	202	110	83	46
Energieintensität	GJ/t Rohöl	2,8	2,1	3,0	1,8	1,4	1,7
Nelson Index (kapazitätsgewichteter Durchschnitt)	-	8,14	9,25	9,61	6,7	7,7	9,75
Trend in der Raffineriekapazität (2013-2017)	%	-7%	-10%	11%	-7%	11%	0%

Kennzahlen der Erdölraffinerien in den untersuchten Ländern im Jahr 2017.

Quellen: European Commission (EC) (n.d.); UN data (2020); Eurostat (2022); abarrelfull (2020)

Abbildung 4: Ausgewählte Mitgliedsstaaten: Veränderung der Kennzahlen der Erdölraffinerie zwischen 2013 und 2017



Veränderung der Kennzahlen der Erdölraffinerien zwischen 2013 und 2017 in den untersuchten Ländern.

Quellen: European Commission (EC) (n.d.); UN data (2020); Eurostat (2022); abarrelfull (2020)

Der Bericht "Development of the petroleum refining industry under the EU-ETS from 2005 to 2017" von B. Schäppi, S. Kaufmann, A. Mäder, and J. Füssler (alle INFRAS) befindet sich in Annex A.

2.5 Dekompositionsanalyse der CO₂-Emissionen der Zementherstellung

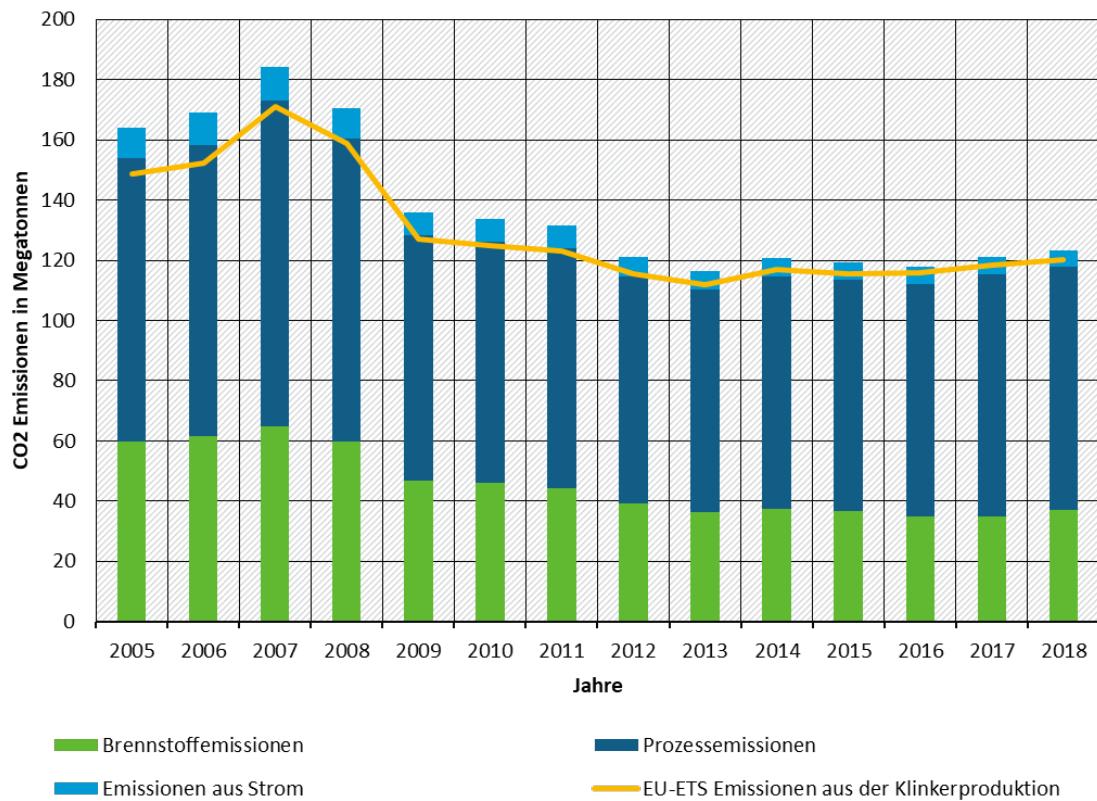
Zement ist einer der wichtigsten Baustoffe. Die Zementherstellung ist ein energie- und emissionsintensiver Prozess und trägt in erheblichem Maße zu den globalen und europäischen Treibhausgasemissionen (THG) bei. Zement wird aus Zementklinker und anderen Materialien hergestellt. In der Europäischen Union fällt die Zementklinkerproduktion unter das EU ETS. Sie ist für etwa 3 % der gesamten Treibhausgasemissionen in der Europäischen Union verantwortlich.

Die vom EU-Emissionshandel erfassten CO₂-Emissionen der Zementklinkerproduktion in der Europäischen Union⁴ erreichten im Jahr 2007 ein Maximum von 172 Mio. t und befinden sich seit 2009 auf einem Plateau von etwa 120 Mio. t (siehe Abbildung 5). Ziel der Studie von Lukas Emele, Jakob Graichen und Roman Mendelevitch ist es, die Treiber zu analysieren und die Effekte zu quantifizieren, die die Entwicklung der mit der Zementproduktion verbundenen CO₂-

⁴ Im Januar 2020 hat Großbritannien die EU verlassen. Diese Analyse umfasst die Jahre bis 2018, dementsprechend ist Großbritannien in den EU-Werten enthalten.

Emissionen im Zeitverlauf bestimmen. Ein besonderer Fokus liegt dabei auf der Analyse der Auswirkungen des EU-ETS.

Abbildung 5 Entwicklung der CO₂-Emissionen der Zementherstellung in der Europäischen Union



Quelle: EU-ETS Emissionen aus EEA (2020a) Emissionen aus Brennstoffen, Prozessemissionen und Elektrizität berechnet aus GNR WBCSD Cement Sustainability Initiative (2020) and EEA (2020b).

Die Treiber für die Entwicklung der CO₂-Emissionen aus der Zementherstellung von 2005 bis 2018 für die EU28 insgesamt und ausgewählte EU-Länder werden mit der Methode der Dekomposition des logarithmischen mittleren Divisia-Index (LMDI) analysiert. Die Autoren bauen auf einem von Branger und Quirion (2015) entwickelten methodischen Ansatz auf. Der Bericht wiederholt und erweitert deren Studie erheblich, indem er den methodischen Ansatz verfeinert und den verwendeten Datensatz auf der Grundlage öffentlich zugänglicher Quellen aktualisiert und konkretisiert. Insbesondere unterteilen die Autoren den von Branger und Quirion (2015) beobachteten dominanten Tätigkeitseffekt in drei Faktoren:

- (i) einen Bautätigkeitseffekt, der auf dem Index der Produktion im Baugewerbe eines Landes basiert;
- (ii) einen weiteren Tätigkeitseffekt, der durch das Verhältnis zwischen Zementverbrauch und Bautätigkeit bestimmt wird, und
- (iii) einen Effekt des inländischen Zementanteils, der den Anteil des im Inland hergestellten Zements am gesamten Zementverbrauch erfasst.

Auf der Ebene der EU28 sind die CO₂-Emissionen von 150 Mio. t CO₂ im Jahr 2005 auf 120 Mio. t CO₂ im Jahr 2018 gesunken. Wir stellen fest, dass Auswirkungen auf die Zementklinkernachfrage die Entwicklung der CO₂-Emissionen im EU-Zementsektor bestimmen. Spanien und Italien, die zu den am stärksten von der Finanzkrise 2008/09 und der europäischen Schuldenkrise 2011/12 betroffenen EU-Ländern gehören, tragen am meisten zum Rückgang der CO₂-Emissionen bei. Die

Dekompositionsanalyse deutet nicht darauf hin, dass die CO₂-Bepreisung im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems seit seiner Einführung im Jahr 2005 wesentlich zur Reduzierung der Emissionen im Zementsektor beigetragen hat. Die Hauptursachen für den beobachteten Rückgang sind die Bautätigkeit und weitere Aktivitätseffekte. Während Ersteres wohl nicht direkt von der CO₂-Bepreisung beeinflusst wird, muss Letzteres genauer verstanden werden, um klare Schlussfolgerungen ziehen zu können. Zusätzliche CO₂-Kosten würden einen Wettbewerbsnachteil für in der EU hergestellten Zement und Klinker bedeuten, doch hat sich der Anteil der inländischen Produktion in der EU für beide Produkte erhöht. Lediglich bei der Zementproduktion lassen sich geringfügige Effizienzsteigerungen und Auswirkungen der Umstellung auf andere Brennstoffe feststellen, aber die Herstellung eines direkten Zusammenhangs mit der CO₂-Bepreisung im Rahmen des EU-Emissionshandelssystems würde zusätzliche Analysen erfordern. Die Ergebnisse müssen vor dem Hintergrund von zwei Wirtschaftskrisen und CO₂-Preisen unter 10 EUR/tCO₂ während des größten Teils des untersuchten Zeitraums interpretiert werden. Sie lassen keine Rückschlüsse auf die Entwicklung der Emissionen der Zementindustrie in einem Umfeld hoher und steigender CO₂-Preise und strenger Klimaschutzmaßnahmen zu.

Der vollständige Bericht "Decomposition analysis of CO₂ emissions in the European cement sector. Identifying drivers of emission trends between 2005 and 2018" von Lukas Emele, Jakob Graichen und Roman Mendelevitch ist online unter folgendem Link verfügbar:
<https://doi.org/10.60810/openumwelt-2791>.

2.6 Dekompositionsanalyse der CO₂-Emissionen der Eisen- und Stahlherstellung

Die Eisen- und Stahlindustrie spielt eine wichtige Rolle für die Wertschöpfung und die Beschäftigung in der EU-27. Sie ist auch der Industriesektor mit den höchsten absoluten CO₂-Emissionen. Seit der Einführung des EU-ETS im Jahr 2005 sind die Gesamtemissionen des Sektors, die unter das System fallen, von 235 Mio. t CO₂ auf 178 Mio. t CO₂ im Jahr 2022 zurückgegangen. Nach zwei Runden der Erweiterung des Geltungsbereichs des EU-ETS sind die Emissionen aus Anlagen, die jetzt unter das System fallen, höchstwahrscheinlich noch stärker zurückgegangen. In diesen Zahlen sind die indirekten Emissionen aus dem Stromverbrauch nicht enthalten, die insbesondere bei Elektrolichtbogenöfen (EAF) besonders wichtig sind. Durch die Dekarbonisierung der Stromversorgung sind die Emissionen um weitere 10 Mio. t CO₂ gesunken. In diesem Papier beleuchten wir die Bedeutung der verschiedenen Treiber für den rückläufigen Trend, einschließlich der direkten und indirekten Emissionen mit besonderem Augenmerk auf die Rolle des EU-ETS.

In der Studie wird die LMDI-Dekompositionsanalyse (Logarithmic Mean Divisia Index) verwendet, um diese Faktoren zu untersuchen, wobei der Schwerpunkt auf der wirtschaftlichen Nachfrage, Produktionsverlagerungen, Änderungen der Produktionsrouten, Änderungen der Emissionsintensität und indirekten Emissionen liegt.

Theoretisch könnte das EU-ETS die Eisen- und Stahlemissionen durch drei Hauptmechanismen beeinflussen:

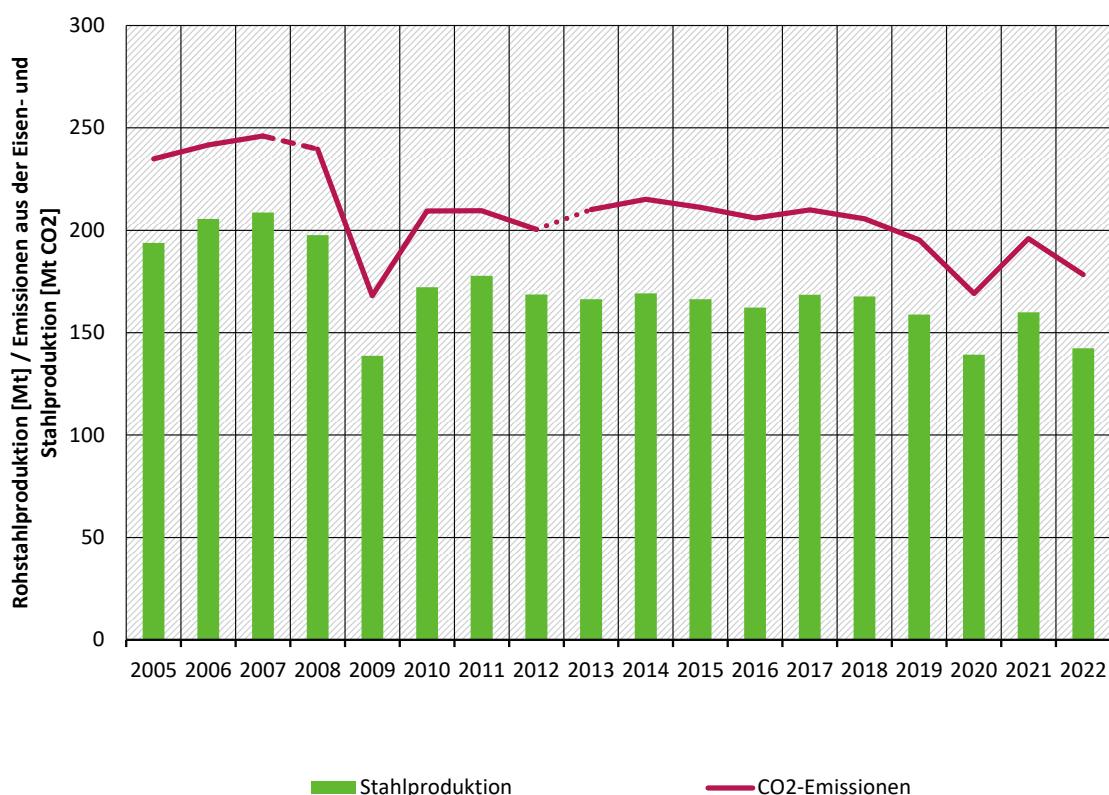
1. **Direkte Emissionsintensität:** Der Kohlenstoffpreis sollte Anreize für weniger CO₂-intensive Brennstoffe schaffen.
2. **Produktionsrouten:** Weniger kohlenstoffintensive Verfahren (Elektrolichtbogenöfen, DRI-EAF) könnten einen Wettbewerbsvorteil erhalten.

3. Inländische Stahlproduktion: Die Kohlenstoffpreise könnten die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen Stahlproduktion gegenüber Importen verringern, auch wenn Maßnahmen zum Schutz vor der Verlagerung von Emissionen (Carbon Leakage) ergriffen werden.

Diese Auswirkungen könnten aufgrund der Regeln für die freie Zuteilung zusammen mit der Höhe der derzeitigen und der erwarteten künftigen Kohlenstoffpreise im untersuchten Zeitraum begrenzt sein. Außerdem sind andere Faktoren wie Brennstoffpreise, Einfuhrzölle und globale Überkapazitäten, die sich mit den Auswirkungen des EU-ETS überschneiden, in dieser Studie nicht bewertet. Erste Überlegungen dazu werden angestellt, können jedoch nicht abschließend analysiert werden und müssen deshalb Gegenstand weiterer Untersuchungen bleiben.

Darüber hinaus trug das EU-ETS zur Verringerung der CO₂-Intensität des Stromsektors bei. Strom mit geringeren CO₂-Emissionen unterstützt die allgemeine Dekarbonisierung der Eisen- und Stahlerzeugung. Dieser Faktor ist jedoch sektorextern und wird in dieser Studie nicht weiter analysiert.

Abbildung 6: Entwicklung der Gesamtemissionen aus der Eisen- und Stahlproduktion und der gesamten Rohstahlproduktion für die EU 27+UK, 2005-2022



Anmerkung: Aufgrund von Änderungen der geografischen Abdeckung und des sektoralen Geltungsbereichs gibt es Inkonsistenzen in der Zeitleiste mit dem Beginn des zweiten (2008) und dritten Handelszeitraums (2013).

Quelle: eigene Berechnungen auf der Grundlage von Worldsteel (2023) und European Environment Agency (EEA) (2023)

Der Rückgang der unter das EU-ETS fallenden Emissionen aus der Eisen- und Stahlerzeugung in der EU-27+Vereinigtes Königreich war in erster Linie auf eine Verringerung der Produktion auf der emissionsintensiven Hochofen-Route zurückzuführen. Die Emissionen der Hochofen-Route machen über 95 % der Gesamtemissionen des Sektors aus, und die Trends und Treiber der Hochofen-Emissionen spiegeln die der Gesamtemissionen wider. Es gab keine größere Verlagerung der Produktionsrouten, vielmehr wurde die Produktion in Zeiten des

wirtschaftlichen Abschwungs zurückgefahren, und statt einer vollständigen Erholung nach einem wirtschaftlichen Aufschwung wurde die steigende Nachfrage auch mit einem Anstieg der Importe beantwortet. Es konnte keine spürbare Verlagerung von der Hochofen-Route zu strombasierten Elektrolichtbogenöfen beobachtet werden, die die direkten Emissionen auf weniger als 20 % reduziert hätte. Dies könnte auf die begrenzten Schrottressourcen in der EU, die Notwendigkeit neuer Großinvestitionen in Elektrolichtbogenöfen und elektrische Anschlussleistung sowie die begrenzte Substituierbarkeit von Stahl auf EAF-Basis und Rohstahl für primäre Produktionsrouten (Hochofen-Route, DRI-EAF-Route) zurückzuführen sein.

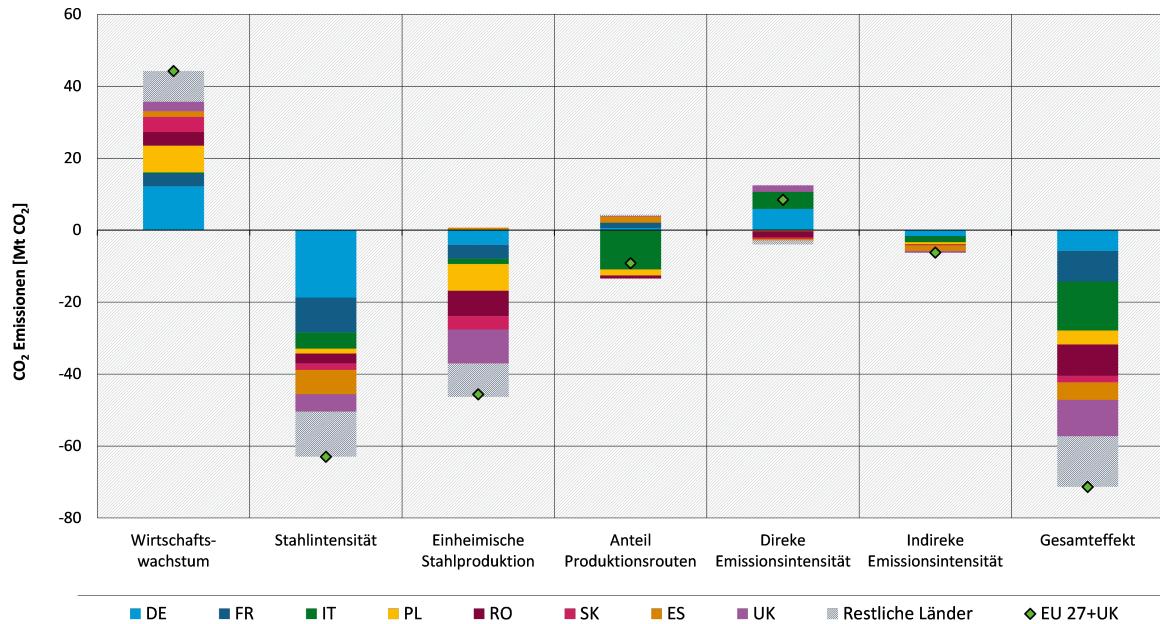
Von 2005 bis 2022 sind die direkten und indirekten CO₂-Emissionen aus der Eisen- und Stahlerzeugung in der EU und im Vereinigten Königreich um mindestens 71,4 Mio. t CO₂ zurückgegangen, was einem Rückgang von 29 % entspricht. Dieser Rückgang ist wahrscheinlich unterschätzt, da der Geltungsbereich des EU-ETS in den Jahren 2008 und 2013 erweitert wurde, wodurch zusätzliche Emissionsquellen einbezogen wurden, die 2005 nicht erfasst waren. Diese Erweiterungen des Geltungsbereichs erschweren direkte Vergleiche zwischen den Jahren und können dazu führen, dass Rückgänge unterschätzt und Anstiege überschätzt werden.

Alle analysierten Mitgliedstaaten trugen zum Rückgang der Emissionen bei. Die Hauptursache für den Anstieg der Emissionen war die wirtschaftliche Entwicklung, trotz eines Rückgangs des absoluten Stahlverbrauchs. Der größte Treiber für den Emissionsrückgang war die geringere Stahlintensität (Stahlverbrauch pro BIP-Einheit). Auch die inländische Stahlproduktion ging deutlich zurück, so dass die EU ab 2015 zu einem Nettoimporteur von Stahl wurde und die inländische Produktion im Jahr 2022 15 % unter dem Verbrauch lag. Die Auswirkungen der verringerten Stahlintensität waren in Deutschland, Frankreich und Spanien am stärksten, während der Rückgang der inländischen Produktion im Vereinigten Königreich, Polen und Rumänien am ausgeprägtesten war.

Bei den Anteilen der verschiedenen Stahlproduktionsrouten gab es nur minimale Veränderungen, außer in Italien, wo der Anteil der Hochofen-Route deutlich zurückging. Die direkte Emissionsintensität nahm im Laufe der Zeit zu, insbesondere in Italien und Deutschland, was auf Faktoren wie die Umstellung von Gas auf Kohle, eine geringere Auslastung und alternde Stahlproduktionsanlagen zurückzuführen ist. Die indirekte Emissionsintensität ging aufgrund eines emissionsärmeren Stromnetzes mit mehr erneuerbaren Energien und weniger Kohleverstromung zurück. Die indirekten Emissionen haben jedoch geringere Auswirkungen als die direkten Emissionen aus der Hochofen-Route.

Auf Länderebene konnten Italien und das Vereinigte Königreich den stärksten absoluten Rückgang der Emissionen verzeichnen. Während die spanische Eisen- und Stahlindustrie von der Finanz- und später von der Eurokrise schwer getroffen wurde, war die deutsche Stahlindustrie weit weniger betroffen. Weder eine signifikante Änderung des Energiemixes auf einer bestimmten Route noch eine Änderung der Technologie, die sich auf die Effizienz auswirkt, wurde in den Daten festgestellt. Zum einen die Kombination aus beidem hatte also keinen wesentlichen Einfluss auf den Emissionsrückgang. Die Emissionsminderungen bei der Stromerzeugung spiegeln sich deutlich in den Daten zu den indirekten Emissionen der Eisen- und Stahlerzeugung wider.

Abbildung 7: Dekomposition der Veränderung der CO₂-Emissionen aus der Eisen- und Stahlerzeugung in der EU 27+UK zwischen 2005 und 2022 nach Ländern und Auswirkungen

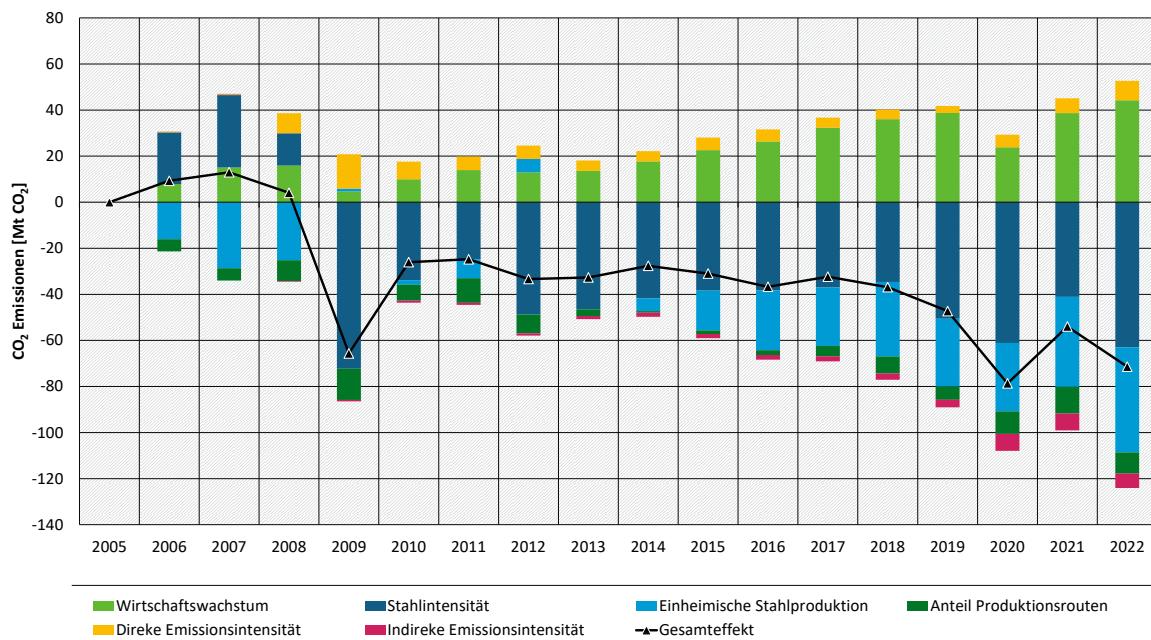


Quelle: Eigene Berechnungen unter Verwendung der Datenquellen in Tabelle 4 des vollständigen Berichts in Annex B, Öko-Institut

Die Zeitachse der Emissionen in Abbildung 8 kann in vier Zeiträume unterteilt werden:

1. **2005-2008:** Stabile Emissionen, wobei die höhere Stahlintensität und die wirtschaftliche Entwicklung durch höhere Importe fast ausgeglichen werden.
2. **2009:** Starker Rückgang der Stahlnachfrage und der Emissionen aufgrund der weltweiten Finanzkrise.
3. **2010-2017:** Stabile Emissionen mit steigender Stahlintensität, aber unter dem Vorkrisenniveau. Die steigende Stahlnachfrage wurde ab 2015 durch höhere Importe gedeckt.
4. **Ab 2018:** Rückläufige Emissionen, wobei die COVID-19-Pandemie im Jahr 2020 einen vorübergehenden Einbruch verursachte. Der Hauptgrund für den Emissionsrückgang war die geringere Stahlintensität.

Abbildung 8: Dekomposition der Entwicklung der CO₂-Emissionen aus der Eisen- und Stahlerzeugung seit 2005 in der EU 27+UK



Quelle: Eigene Berechnungen, Öko-Institut

Die acht Länder mit den größten Auswirkungen auf die Entwicklung der Gesamtemissionen werden im Folgenden in absteigender Reihenfolge erörtert.

Italien hat mit einem Anteil von fast 20 % zu der Gesamtreduktion der CO₂-Emissionen des Eisen- und Stahlsektors in der EU erheblich beigetragen. Im Gegensatz zum allgemeinen EU-Trend ist das italienische BIP seit 2005 stabil geblieben, was bedeutet, dass es nicht zu einem Anstieg der Emissionen beigetragen hat. Allerdings sind die Emissionen pro Stahleinheit aus der Hochofen-Route aufgrund der geringeren Effizienz in Italiens einzigen integrierten Stahlwerk gestiegen. Der Anteil der Elektrolichtbogenöfen-Route (EAF) ist gestiegen, wobei die EAF-Produktion stabil geblieben ist. Der Emissionsfaktor des Stromnetzes ist um 55 % gesunken, was zu einer Verringerung der EAF-Emissionen beigetragen hat.

Von 2014 bis 2022 sank die Stahlproduktion im **Vereinigten Königreich** von 12 Mio. t/Jahr auf 6 Mio. t/Jahr. Die Wirtschaftskrise von 2009 und die Insolvenz eines großen Stahlwerks im Jahr 2015 haben die Produktion erheblich beeinträchtigt. Der Stahlverbrauch erreichte nie wieder das Vorkrisenniveau. Die EAF-Route, die 20 % der britischen Produktion ausmacht (im Vergleich zum EU-Durchschnitt von 40 %), ist konstant geblieben, wobei der Emissionsrückgang hauptsächlich auf ein emissionsärmeres Stromnetz zurückzuführen ist.

Rumäniens CO₂-Emissionen aus der Eisen- und Stahlerzeugung wurden in erster Linie durch einen Rückgang der inländischen Produktion beeinflusst, insbesondere zwischen 2005 und 2007, bevor das EU-ETS in Rumänien eingeführt wurde. Die Finanzkrise 2009 und die jüngsten Preisschocks haben die Produktion weiter beeinträchtigt. Im Gegensatz zum EU-Trend ist die Emissionsintensität aus der Hochofenroute in Rumänien seit 2012 schrittweise zurückgegangen, was möglicherweise auf das EU-ETS zurückzuführen ist. Der Emissionsfaktor des Stromnetzes hat jedoch nicht wesentlich zur Emissionsreduzierung beigetragen.

Die CO₂-Emissionen **Frankreichs** folgten weitgehend den EU-weiten Trends. Die direkte Emissionsintensität hat sich im Vergleich zu 2005 verbessert, außer im Jahr 2022 aufgrund der hohen Gaspreise nach der russischen Invasion in der Ukraine. Der Anteil von Stahl aus der

Elektrolichtbogenöfen-Route an der Gesamtproduktion ging leicht zurück, was im Vergleich zu anderen Ländern ungewöhnlich ist. Indirekte Emissionen waren aufgrund des bereits 2005 weitgehend dekarbonisierten französischen Stromnetzes vernachlässigbar.

Als größte Volkswirtschaft und größter Stahlproduzent der EU sind die Emissionstreiber in **Deutschland** eng mit den EU-Trends verknüpft. Allerdings sind die deutschen Emissionen aus der Eisen- und Stahlerzeugung nahezu stabil geblieben. Der Rückgang der heimischen Stahlproduktion ist weniger ausgeprägt als in anderen EU-Ländern, der Anteil von EAF-Stahl und DRI-Stahl ist leicht zurückgegangen. Anders als in der EU erreichte die Stahlintensität in Deutschland im Jahr 2011 ihren Höhepunkt und ging erst ab 2018 deutlich zurück. Die Dekarbonisierung des Stromnetzes wird in den Daten ebenfalls deutlich.

Die **spanische** Wirtschaft und insbesondere die Stahlnachfrage wurden durch die globale Finanzkrise 2008 und die Eurokrise 2011/2012 stark beeinträchtigt, was zu einem dauerhaften Rückgang der Stahlintensität führte. Die spanische Stahlindustrie kompensierte dies teilweise durch steigende Ausfuhren, obwohl die Exportanteile während der COVID-19-Pandemie und nach der Invasion Russlands in der Ukraine wieder zurückgingen. Spanien hat einen hohen Anteil der EAF-Produktion (fast 70 %), und die Dekarbonisierung des Stromnetzes zeigt sich in den allgemeinen Emissionstrends.

Seit der Einführung des EU-ETS sind die Emissionen **Polens** aus der Eisen- und Stahlerzeugung relativ stabil geblieben. In der Folge des starken Wirtschaftswachstums ging der Anteil der heimischen Stahlproduktion zurück, und die gestiegene Stahlnachfrage wurde durch höhere Importe gedeckt. Die Stahlintensität ist konstant geblieben. Die direkte Emissionsintensität hat sich in den letzten fünf Jahren leicht verbessert, was möglicherweise auf die Schließung eines integrierten Stahlwerks im Jahr 2019 zurückzuführen ist. Obwohl fast 60 % der Stahlproduktion über die Elektrolichtbogenöfen-Route erfolgen, hat sich die indirekte Emissionsintensität nicht wesentlich verbessert.

Die Emissionen in der **Slowakei** blieben in den letzten Jahren stabil. Das starke Wirtschaftswachstum wurde durch höhere Importe ausgeglichen, wobei sich die direkte Emissionsintensität bis 2019 deutlich verbesserte, 2018 einen Höchststand erreichte und 2020 zurückging. Die Stahlintensität schwankte, ging während der Krise 2008 zurück, erholte sich dann und ging während der COVID-19-Pandemie und der russischen Invasion in der Ukraine 2022 wieder zurück. Die Produktionsrouten haben sich nicht wesentlich verändert, nur 10 % der Stahlproduktion erfolgen auf der EAF-Route.

Der vollständige Bericht “Decomposition of CO₂ emissions from iron and steelmaking in the EU: Identifying drivers of emissions trends in the EU ETS” von Jakob Graichen, Roman Mendelevitch, Hauke Hermann und Verena Graichen ist in Annex B enthalten.

3 List of references

abarrelfull (2020): Refineries in Operation in Europe. Online verfügbar unter <http://abarrelfull.wikidot.com/european-refineries>, zuletzt geprüft am 10.06.2020.

Branger, Frédéric; Quirion, Philippe (2015): Reaping the carbon rent: Abatement and overallocation profits in the European cement industry, insights from an LMDI decomposition analysis. In: *Energy Economics* 47, S. 185–205. DOI: 10.1016/j.eneco.2014.11.008.

Deutsche Emissionshandelsstelle (DEHSt) im Umweltbundesamt (Hg.) (2024): Emissions Situation in European Emissions Trading in 2023. Stationary Installations and Aviation Subject to Emissions Trading in Germany. Online verfügbar unter https://www.dehst.de/SharedDocs/downloads/EN/publications/2023_VET-Report.pdf, zuletzt geprüft am 23.09.2024.

EEA (2020a): EU Emissions Trading System (ETS) data viewer. Activity code 29 Production of cement clinker. Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>, zuletzt geprüft am 21.09.2020.

EEA (2020b): Greenhouse gas emission intensity of electricity generation. Years 1990-2019. Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-6>, zuletzt aktualisiert am 08.12.2020, zuletzt geprüft am 08.02.2021.

Ember (2020): Electricity Data Explorer. Online verfügbar unter <https://ember-energy.org/data/electricity-data-explorer/>, zuletzt aktualisiert am 29.01.2020, zuletzt geprüft am 08.01.2021.

EUROFER (2024): European Steel in Figures 2024. Online verfügbar unter <https://www.eurofer.eu/assets/publications/brochures-booklets-and-factsheets/european-steel-in-figures-2024/EUROFER-2024-Version-June14.pdf>, zuletzt geprüft am 17.09.2024.

Europe Beyond Coal (2022): Coal Exit Tracker. Online verfügbar unter <https://beyond-coal.eu/coal-exit-tracker/>, zuletzt geprüft am 22.09.2022.

European Commission (EC) (n.d.): European Union Transaction Log (EUTL). Online verfügbar unter <https://ec.europa.eu/clima/ets/allocationComplianceMgt.do?languageCode=en>, zuletzt geprüft am 30.03.2022.

European Environment Agency (EEA) (2021): EEA greenhouse gas data viewer. European Environment Agency (EEA). Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/data-viewers/greenhouse-gases-viewer>.

European Environment Agency (EEA) (2022): Greenhouse gas emission intensity of electricity generation. Data Visualization. Online verfügbar unter https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/daviz/co2-emission-intensity-10#tab-googlechartid_googlechartid_googlechartid_googlechartid_chart_11111, zuletzt aktualisiert am 04.07.2022, zuletzt geprüft am 08.09.2022.

European Environment Agency (EEA) (Hg.) (2023): EU Emissions Trading System (ETS) data viewer. EEA. Online verfügbar unter <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/dashboards/emissions-trading-viewer-1>, zuletzt geprüft am 06.03.2023.

Eurostat (2022): Complete energy balances. nrg_bal_c.

France (2019): Common Reporting Format (CRF) tables. Hg. v. UNFCCC. Online verfügbar unter <https://unfccc.int/documents/194492>, zuletzt geprüft am 26.11.2024.

Germany (2019): Common Reporting Format (CRF) Tables. Hg. v. UNFCCC. Online verfügbar unter <https://unfccc.int/documents/194817>, zuletzt geprüft am 26.11.2024.

Global Cement and Concrete Association (Hg.) (2020): GNR 2.0 – GCCA in Numbers. Online verfügbar unter <https://gccassociation.org/sustainability-innovation/gnr-gcca-in-numbers/>, zuletzt geprüft am 26.11.2024.

Greece (2019): Common Reporting Format (CRF). Hg. v. UNFCCC. Online verfügbar unter <https://unfccc.int/documents/194941>, zuletzt geprüft am 26.11.2024.

Italy (2019): Common Reporting Format (CRF) tables. Hg. v. UNFCCC. Online verfügbar unter <https://unfccc.int/documents/194577>, zuletzt geprüft am 26.11.2024.

Nissen, Christian; Gores, Sabine; Healy, Sienna; Hermann, Hauke (2023): Trends and projections in the EU ETS in 2023. The EU Emissions Trading System in numbers. Hg. v. European Environment Agency (EEA). European Topic Centre on Climate change mitigation (ETC-CM Report, 2023/07). Online verfügbar unter https://www.eionet.europa.eu/etc/etc-cm/products/etc-cm-report-2023-07-1/@download/file/ETC_CM_ETS%20Report_2023_07_2.pdf, zuletzt geprüft am 17.09.2024.

Poland (2019): Common Reporting Format (CRF) tables. Hg. v. UNFCCC. Online verfügbar unter <https://unfccc.int/documents/194611>, zuletzt geprüft am 26.11.2024.

Spain (2019): Common Reporting Format (CRF) tables. Hg. v. UNFCCC. Online verfügbar unter <https://unfccc.int/documents/194484>, zuletzt geprüft am 26.11.2024.

UN data (2020): Energy Statistics Section. Crude petroleum - refinery capacity. Hg. v. United Nations. Online verfügbar unter <http://data.un.org/Explorer.aspx?d=EDATA&f=cmID%3aCR%3btrID%3a131>, zuletzt geprüft am 20.10.2020.

United Kingdom (2019): Common Reporting Format (CRF) tables. Hg. v. UNFCCC. Online verfügbar unter <https://unfccc.int/documents/194910>, zuletzt geprüft am 26.11.2024.

WBCSD Cement Sustainability Initiative (2020): Getting the Numbers Right Project – Emissions Report 2018. Used datasets: 593AG - Carbon intensity of the fuel mix - Weighted average | Grey clinker (CO₂ / MJ); 33AGW - Cement plant power consumption - Weighted average ((kWh / t cement); 33AGW - Cement plant power consumption - Weighted average ((kWh / t cement); 25aTGW - Total thermal energy consumption | excluding drying of fuels - Grey and white cement (GJ). Online verfügbar unter https://gccassociation.org/gnr/Excel/GNR%20-%20Totals_&_Averages%20-%20Light%20Report%202018.xls, zuletzt geprüft am 04.09.2020.

World Steel Association (2024): December 2023 crude steel production and 2023 global crude steel production totals. World Steel Association. Online verfügbar unter <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/December-2023-crude-steel-production-and-2023-global-crude-steel-production-totals-1.pdf>, zuletzt geprüft am 17.09.2024.

Worldsteel (Hg.) (2023): World Steel in Figures 2023. Worldsteel Association. 2023 (World Steel in Figures). Online verfügbar unter <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/World-Steel-in-Figures-2023-4.pdf>, zuletzt geprüft am 29.10.2023.

Worldsteel Association (2020): Steel Statistical Yearbook 2020 concise version. World Steel Association. Brussels. Online verfügbar unter <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:5001dac8-0083-46f3-aadd-35aa357acbcc/Steel%2520Statistical%2520Yearbook%25202020%2520%2528concise%2520version%2529.pdf>, zuletzt geprüft am 04.01.2022.

WV Stahl (2024): Jahresbilanz der Stahlindustrie. Stahlproduktion sinkt 2023 auf historisch niedriges Niveau. WV Stahl. Online verfügbar unter https://www.stahl-online.de/wp-content/uploads/20240123_PM_Jahresbilanz_Stahlproduktion_Deutschland-1.pdf, zuletzt geprüft am 17.09.2024.