

AKTIONSPLAN



STUBS



Eisen- und Stahlerzeugung

Transform.Industry – Transformationspfade und
FTI Fahrplan für eine klimaneutrale Industrie 2040

Wien, Jänner 2024

Erstellt im Auftrag des Klima- und Energiefonds



transform.industry

Aktionsplan Branche Eisen- und Stahlerzeugung

Ausschreibung	Energieforschung 2020
Projektstart	01.10.2021
Projektende	31.07.2023
Auftragnehmer (Institution)	AIT Austrian Institute of Technology GmbH (Koordinator) Österreichische Energieagentur, Montanuniversität Leoben und Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz
Ansprechpartner	Christian Schützenhofer (Projektkoordinator, AIT)
E-Mail	christian.schuetzenhofer@ait.ac.at

Einleitung und Hintergrund	03
1.0 Status-Quo	04
1.1 Allgemeine Brancheninformation	04
1.2 Spezifische Brancheninformation	08
2.0 Transformationspfade	10
2.1 Zusammenfassung der branchenspezifischen Szenarien-Ergebnisse	10
2.2 Investitionsbedarfe und Stranded Assets	15
2.3 Branchenspezifische Schlüsseltechnologien	17
2.4 Handlungsempfehlungen	22
Literaturverzeichnis	24
Kontaktdaten	25

Einleitung und Hintergrund

Innerhalb der kommenden zwei Jahrzehnte wird Österreich zu einem klimaneutralen Land umgebaut. Die Transformation ist eine gewaltige Herausforderung, besonders in der Industrie. Damit der Umbau erfolgreich wird, braucht es große Mengen erneuerbarer Energie, Investitionen in Produktionsprozesse, die zum Teil noch neu entwickelt werden müssen, sowie einen Innovationsvorsprung im internationalen Wettbewerb.

Das Projekt *transform.industry* liefert Antworten auf die Frage, wie diese Transformation der Industrie in Österreich gelingen kann.

transform.industry ist ein Forschungsprojekt, das den produzierenden Sektor beim Weg in die Klimaneutralität unterstützt. Das Projektteam rund um AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Österreichische Energieagentur, Montanuniversität Leoben und Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz zeigt auf, wie sich Klimaschutz, Innovations- und Wettbewerbsfähigkeit in unterschiedlichen Bereichen der österreichischen Industrie miteinander vereinbaren lassen.

Eine Bestandsaufnahme in 13 Branchen und die Identifikation von Schlüsseltechnologien, mit denen Treibhausgasemissionen verhindert oder entfernt werden können, bilden das Fundament des Projekts. Anhand von Transformationsszenarien werden der Investitions- und Energiebedarf sowie volkswirtschaftliche und ökologische Effekte abgeschätzt. Auf dieser Basis entwickeln die ExpertInnen gemeinsam mit VertreterInnen der industriellen Praxis einen strategischen Forschungs-, Technologie- und Innovationsfahrplan. Weiters sprechen sie Handlungsempfehlungen aus, welche Rahmenbedingungen geschaffen werden müssen, um innovative Schlüsseltechnologien „Made in Austria“ entwickeln und zur Marktreife bringen und damit die Wettbewerbsfähigkeit der Industrie weiter ausbauen können.

Die F&E-Dienstleistung ist im Auftrag des Klima- und Energiefonds entstanden und mit Mitteln des Energieforschungsprogramms 2020 finanziert.

1.0 Status-Quo

1.1 Allgemeine Brancheninformation

Es wird angemerkt, dass nicht in allen öffentlich zugänglichen Statistiken die Branchen Eisen- und Stahl-erzeugung sowie Nicht Eisen Metalle gesondert ausgewiesen werden. Zur Wahrung der Vergleichbarkeit werden deshalb diese zwei Branchen, im vorliegenden Abschnitt, innerhalb der Kategorie Metallerzeugung und -bearbeitung zusammengefasst.

Der Produktionswert in der Metallerzeugung und -bearbeitung zeigt seit 2005 einen sehr unstetigen Verlauf (Abbildung 1). Auf mehrjährige Wachstumsphasen folgte jeweils ein Einbruch, so z. B. 2009, 2013 und 2020. Dabei verlief der Produktionsindex zwar ähnlich zum Produktionswert, die Einbrüche fielen hier aber weniger stark aus. Deutlich ersichtlich ist der Rückgang des Produktionsindex 2009, nach 2011 kam es wieder zu einer relativ konstanten Zunahme.

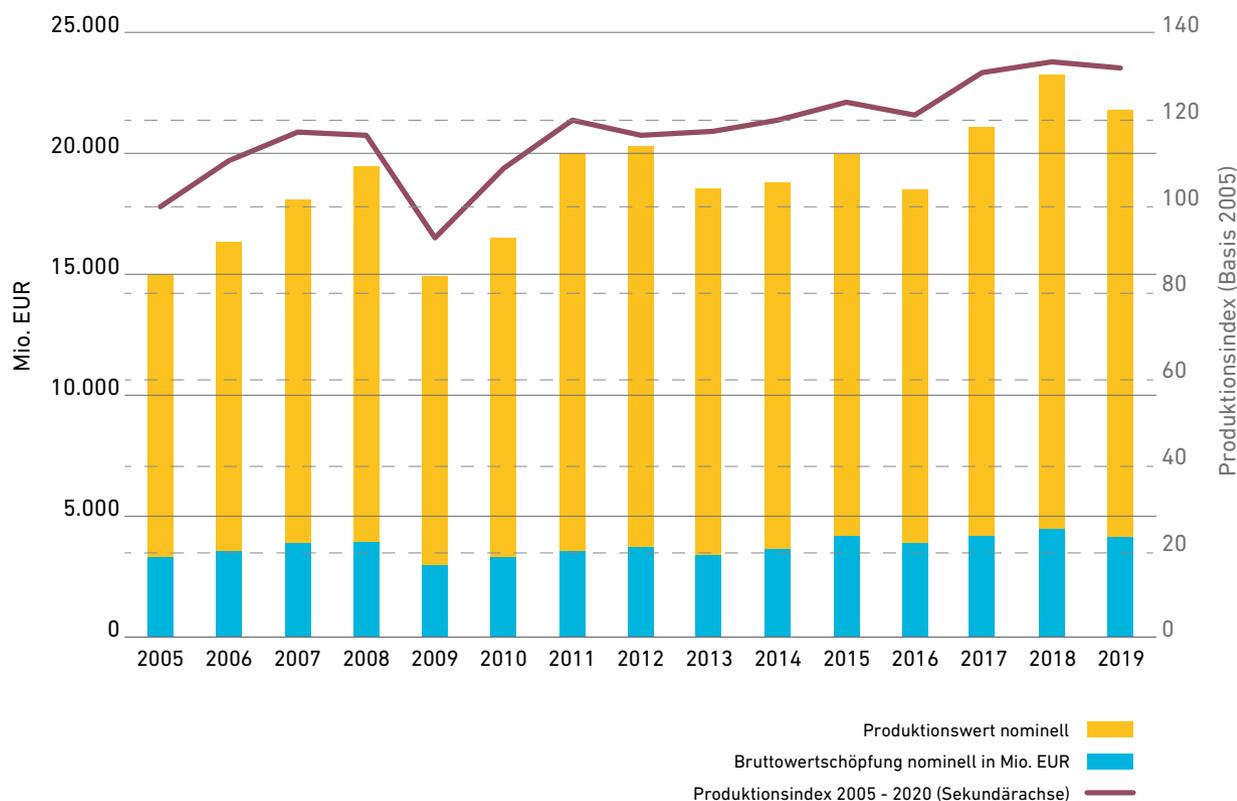


Abbildung 1
Wirtschaftliche Entwicklungen Branche
Metallerzeugung und -bearbeitung. Quelle: [1]

Ein deutlich anderes Bild als Abbildung 1 veranschaulicht Abbildung 2. Während die Anzahl an Erwerbstätigen seit 2010 fast stetig anstieg, nahm die Anzahl an Unternehmen kontinuierlich ab. Dadurch ergab sich eine

steigende durchschnittliche Unternehmensgröße. Zwischen 2008 und 2010 verliefen die Entwicklungen bei den Erwerbstätigen und den Unternehmen ähnlich, beide unterlagen einer deutlichen Abnahme.

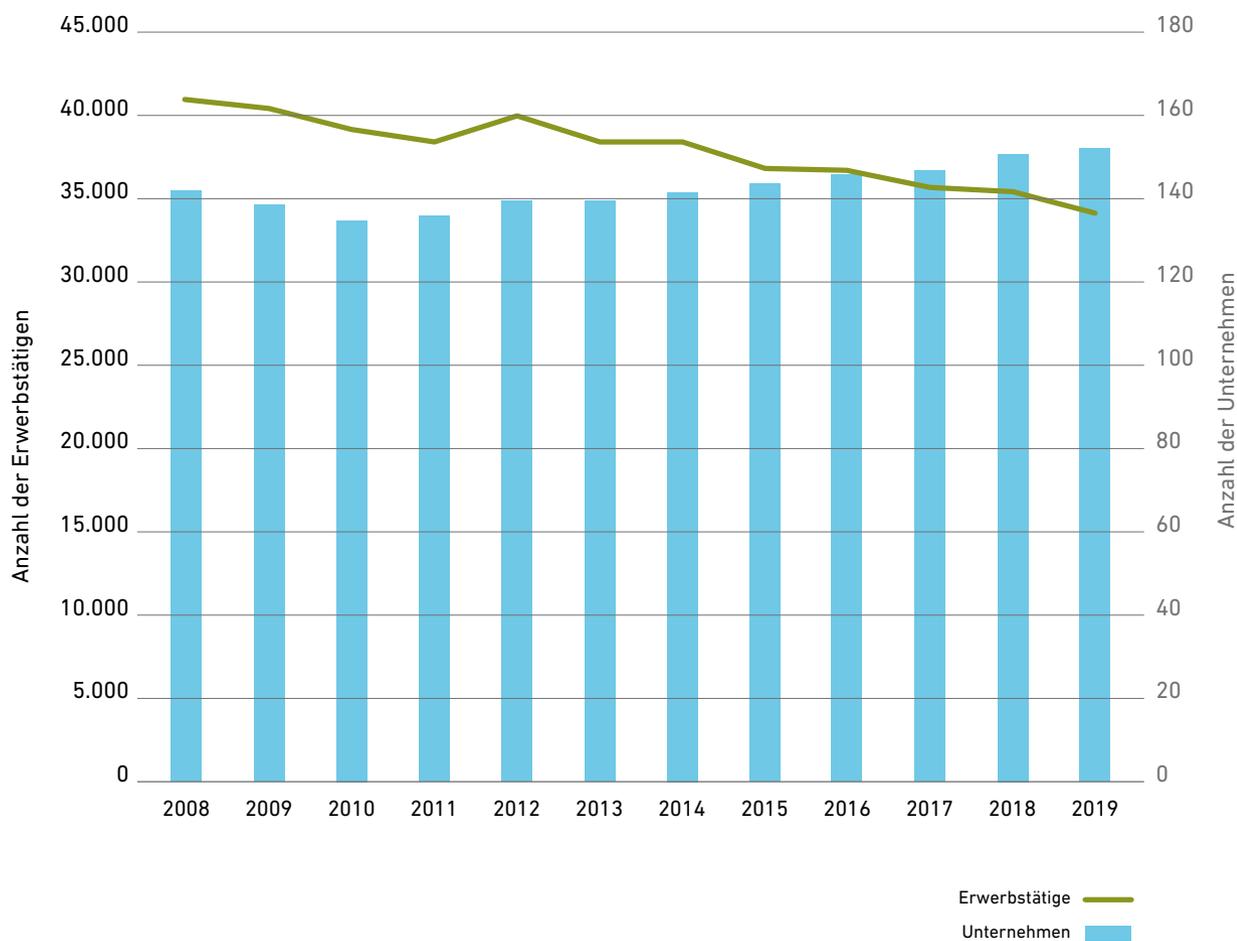


Abbildung 2
Entwicklungen Erwerbstätige & Unternehmen
Metallerzeugung und -bearbeitung, Quelle: [1]

Der Energieeinsatz in der Metallherzeugung und -bearbeitung ist in Abbildung 3 dargestellt. Im Zeitraum von 2009 bis 2017 kam es zu einem steigenden Trend im Energieeinsatz. Der Energieträger Kohle spielt eine wichtige Rolle in der Metallherzeugung und -bearbeitung, knapp 60–70% des gesamten Energieeinsatzes werden durch diesen abgedeckt. Auffallend ist dabei, dass die Anteile der eingesetzten Energieträger über die Jahre relativ stabil blieben: die Veränderung von Energieträgereinsätzen war weitgehend an den Verlauf des Gesamtenergieeinsatzes

der Metallherzeugung und -bearbeitung gekoppelt. Davon ausgenommen ist der Energieträger Öl, dieser nahm zwischen 2008 und 2019 stetig ab. Im Vergleich zur Nutzenergieanalyse der Statistik Austria, welche rein den Endenergiebedarf der Metallherzeugung und -bearbeitung beschreibt, zeigen sich deutliche Unterschiede. Diese sind auf die unternehmenseigenen Anlagen (z. B. Hochöfen und Kokereien) zurückzuführen, welche in der Nutzenergieanalyse nicht berücksichtigt sind.

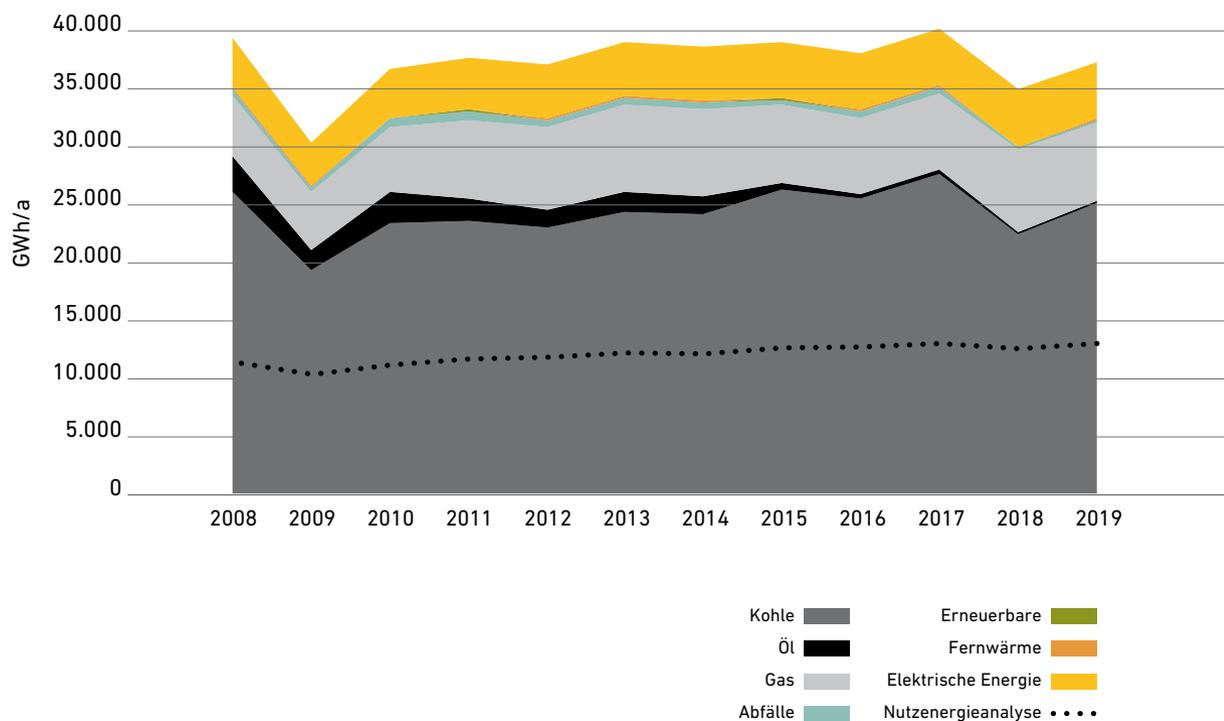


Abbildung 3
Energieeinsatz Metallherzeugung
und -bearbeitung. Quelle: [2]

Die Treibhausgasemissionen der Metallerzeugung und -bearbeitung werden maßgeblich durch die Prozess-emissionen aus der Eisen- und Stahlerzeugung bestimmt (Abbildung 4). Dabei dient der Großteil der eingesetzten Kohle bzw. von Koks als Reduktionsmittel, welches innerhalb des Herstellungsprozesses von Eisen und Stahl verwendet wird. Kleinere Anteile der Treibhausgasemissionen werden durch die energetische Nutzung von Gas und

Kohle bzw. der Erzeugung des eingesetzten Stroms verursacht. Die Metallerzeugung und -bearbeitung war 2019 für über 40% der gesamten Treibhausgasemissionen des produzierenden Bereichs verantwortlich. Gemessen an den gesamten Treibhausgasemissionen Österreichs sind ca. 16% auf die Metallerzeugung und -bearbeitung zurückzuführen.

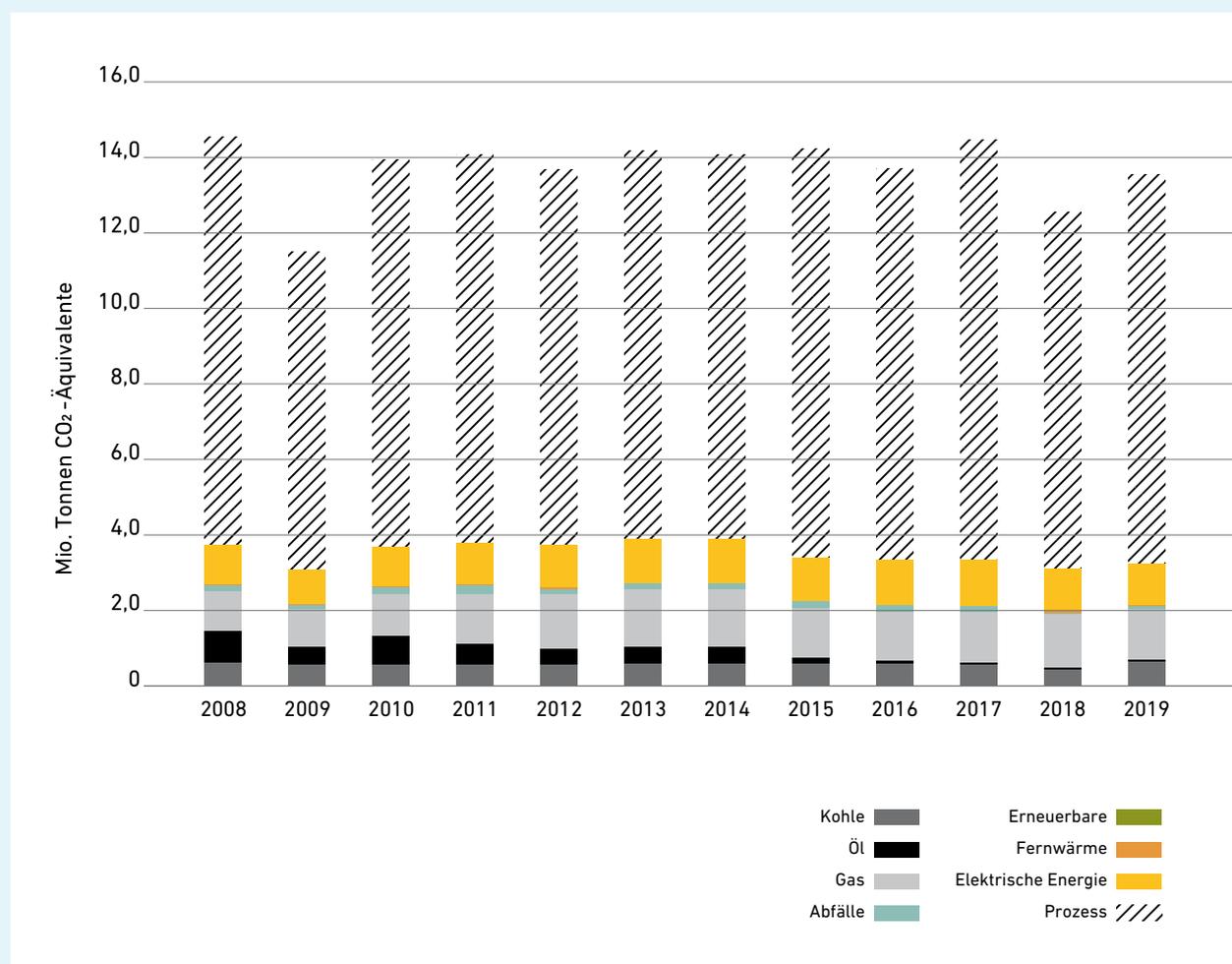


Abbildung 4
Treibhausgasemissionen Branche Metallerzeugung und -bearbeitung. Quelle: [2], [3], eigene Berechnungen

1.2 Spezifische Brancheninformation

Die Branche Eisen- und Stahlerzeugung in Österreich ist der sechstgrößte Stahlproduzent in der EU und hat einen Anteil von 5 % an der Stahlproduktion der EU-27. Derzeit werden in Österreich zwei verschiedene Stahlerzeugungstechnologien eingesetzt: die primäre Stahlerzeugung mit dem Hochofen und die Sekundärstahlerzeugung mit Elektrolichtbogenöfen. Im Jahr 2019 wurden von gesamt 6,9 Mio. t rund 90 % der Stahlproduktion in Österreich im Hochofenverfahren und 10 % im Elektrolichtbogenverfahren hergestellt [4].

Die Branche Eisen- und Stahlerzeugung verbraucht rund 35,1 TWh Gesamtenergie, was 10 % des Bruttoinlandsverbrauchs entspricht [5]. Etwa 88 % dieser Energie stammt aus fossilen Brennstoffen wie Kohle, Koks und Erdgas, die für zwei Zwecke verwendet werden: als Reduktionsmittel und als Energiequelle [5].

Im Jahr 2019 trug die österreichische Stahlproduktion mit rund 13,1 Mio. t CO₂-Äquivalente zur österreichischen Treibhausgasbilanz bei. Dies entspricht ca. 13 % der gesamten nationalen Treibhausgasemissionen und rund 41 % der industriebedingten Emissionen [6]. Die Emissionen sind hauptsächlich auf den Einsatz fossiler Brennstoffe als Reduktionsmittel im Hochofen zurückzuführen.

Tabelle 1 fasst die Benchmarking-Daten für die beiden genannten Stahlherstellungsprozesse getrennt für den EU-Durchschnitt und Österreich zusammen. Die Daten in Tabelle 1 zeigen, dass der spezifische Energieverbrauch und die Emissionen der österreichischen Stahlerzeugung unter dem EU-Durchschnitt liegen (siehe auch Abbildung 5). Dies ist hauptsächlich auf den Einsatz effizientester Techniken bei der Produktionsverarbeitung, sowohl für die primäre Stahlerzeugung mit dem Hochofen und die sekundäre Stahlerzeugung mit Elektrolichtbogenöfen zurückzuführen.

Produkt	Europa – EU 27			Österreich		
	Produktion (Mio. t)	Spezifischer Energieverbrauch (GJ/t Produkt)	Spezifische Emissionen (t CO ₂ Äquivalente/t Produkt)	Produktion (Mio. t)	Spezifischer Energieverbrauch (GJ/t Produkt)	Spezifische Emissionen (t CO ₂ Äquivalente/t Produkt)
Primäre Stahlerzeugung mittels Hochöfen	88,2 [7]	20 [8]	1,9 [9]	6,9 [7]	16,3 [7], [10]	1,79 [6], [10]
sekundäre Stahlerzeugung mit Elektrolichtbogenöfen	63,4 [7]	4,5 [11]	0,2–0,3 [9]	0,7 [7]	3,96 [7], [10]	0,16 [6], [10]

Tabelle 1
Benchmark der Branche Eisen- und Stahlerzeugung für das Jahr 2019

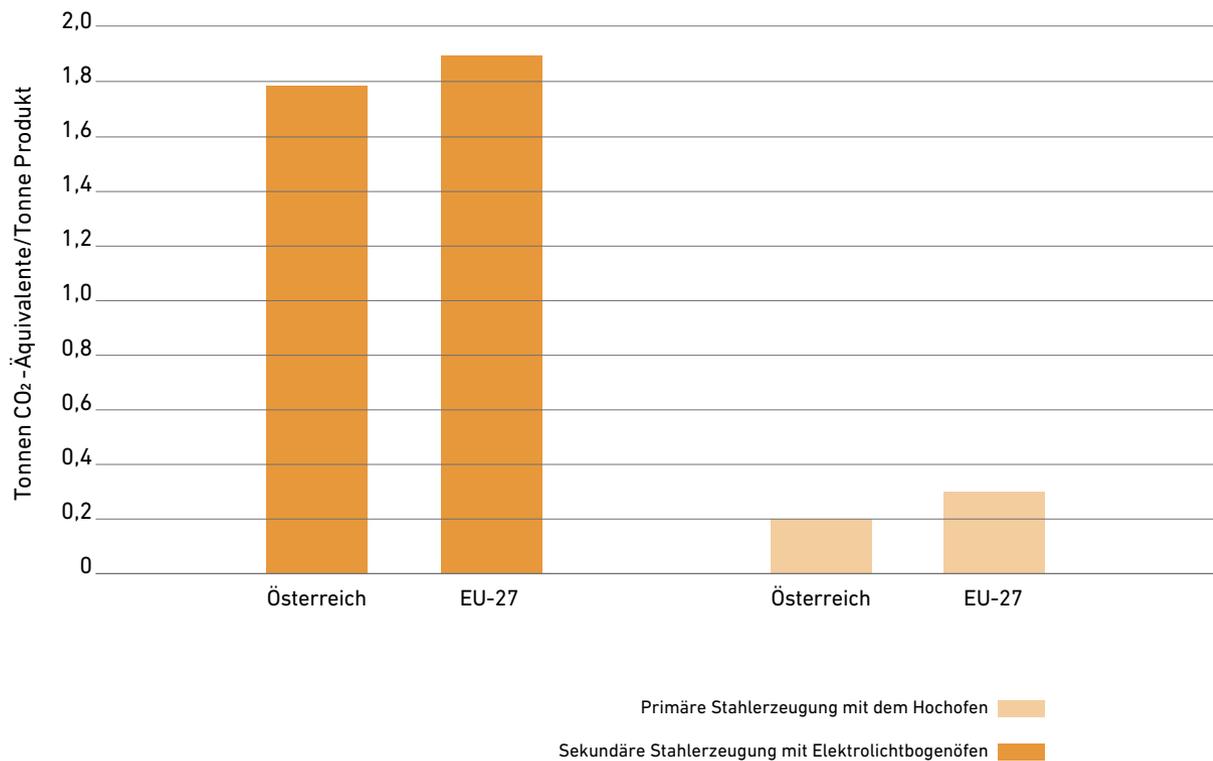


Abbildung 5
Vergleich der spezifischen Emissionen der Branche
Eisen- und Stahlerzeugung in Österreich mit EU-27

2.0 Transformationspfade

Die Erkenntnisse zur Transformation vom Status Quo zur Klimaneutralität in der Branche Eisen und Stahl wurden mit einem mehrstufigen Ansatz gewonnen. Zuerst wurden ausgehend vom Energieeinsatz 2020, der den Übergang zwischen der historischen Betrachtung in Abschnitt 1 zum zukünftigen Energieeinsatz darstellt, zukünftig eingesetzte Energieträger und -mengen für unterschiedliche Entwicklungspfade in Fünfjahresschritten bis 2040 in vier Szenarien modelliert, vgl. Abschnitt 2.1. Ein Überblick zu den Entwicklungspfaden wird im folgenden Abschnitt gegeben, Details zu den Annahmen für die ausgearbeiteten Szenarien finden sich im Gesamtbericht wieder. Auf den Ergebnissen der Szenarien aufbauend wurden volkswirtschaftliche Effekte der einzelnen Entwicklungspfade analysiert, vgl. Abschnitt 2.2. Durch die Analyse der volkswirtschaftlichen Effekte wurden die branchenspezifischen Schlüsseltechnologien identifiziert und weitere innovationspolitische Handlungsempfehlungen abgeleitet, vgl. Abschnitt 2.3 bzw. 2.4.

2.1 Zusammenfassung der branchenspezifischen Szenarien-Ergebnisse

Basierend auf den bisherigen Entwicklungen der Nutzung von Energie und unter der Annahme klimaneutraler Energiebereitstellung bis 2040 wurde in vier Szenarien bzw. technologischen Entwicklungspfaden ermittelt, wie sich der Bedarf an klimaneutralen Energieträgern innerhalb der Branche Eisen- und Stahlerzeugung entwickelt. Die gewählten Szenarien bilden dabei verschiedene Ansätze und Trends ab, wie die Klimaneutralität in der Industrie erreicht werden kann. Allen Szenarien gemein ist die Annahme einer konstant moderaten Wirtschaftsentwicklung bei gleichbleibenden Erzeugungsmengen von Grundstoffen. Die Annahmen und Entwicklungspfade der einzelnen Szenarien werden

im Folgenden in der Diskussion der Ergebnisse für die Branche kurz vorgestellt.

Die Ergebnisse für die vier ermittelten Szenarien im Vergleich zum Basisjahr 2020, das den Übergang zwischen den historischen Betrachtungen und den zukünftigen Entwicklungen darstellt, werden für die Jahre 2025, 2030, 2035 und 2040 und für die eingesetzten Energieträger in *Abbildung 6* dargestellt. Die *Abbildung* zeigt die Substitution fossiler Energieträger durch emissionsfreie Ressourcen sowohl als Rohstoffe als auch als Energieträger.

In allen Szenarien kommt es bei der Umstellung der Primärstahlproduktion, weg von konventionellen Hochöfen hin zur Direktreduktion mittels erneuerbarer Gase, zu einer signifikanten Veränderung der eingesetzten Energieträger. Die spezifische Änderung des Reduktionsmittels für Hochöfen variiert je nach Szenario, wobei Kohle in den Szenarien erneuerbares Gas (EG) und Kreislaufwirtschaft KW durch Biomethan und in den Szenarien Innovation (IN) und Sektorkopplung (SK) durch Wasserstoff ersetzt wird.

Der Gesamtenergieverbrauch steigt in allen Szenarien außer KW stetig an. Im Szenario KW sinkt der Gesamtenergieverbrauch aufgrund eines höheren Anteils an hochwertigem Recyclingschrott, der weniger Energie für die Stahlerzeugung benötigt als Primärmaterialien. In den übrigen Szenarien wird der Anteil des Schrottv Verbrauchs als konstant auf dem Niveau des Basisjahres verbleibend angenommen. Wärmepumpen und biogene Energieträger für Raumheizung und Prozesswärme ersetzen Erdgas und andere fossile Energieträger, deren absoluter Energiebedarf ist in der Branche Eisen- und Stahlerzeugung jedoch vergleichsweise gering.

Energiebedarf | Eisen- und Stahlerzeugung

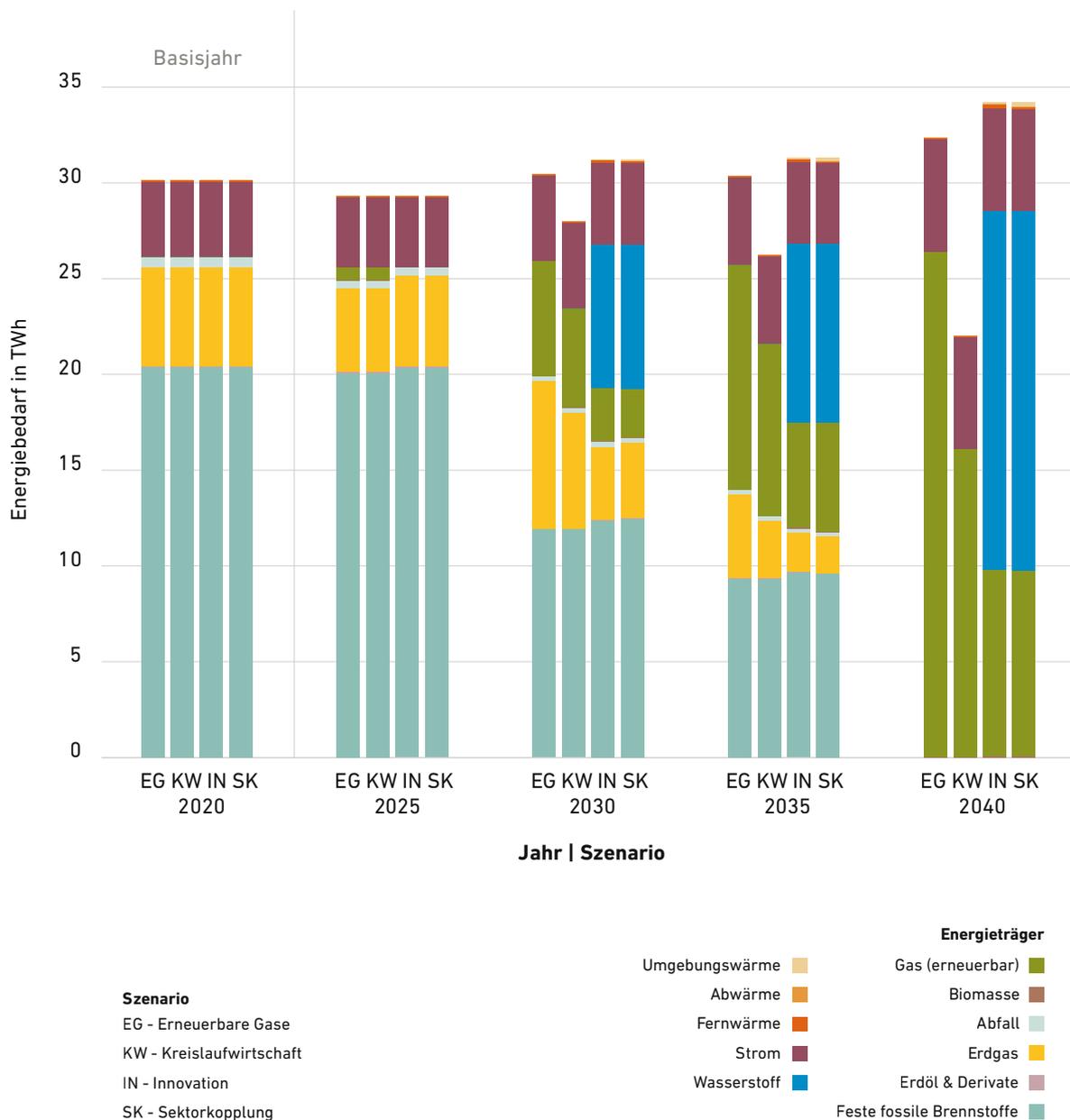


Abbildung 6
Energieverbrauch der Branche Eisen- und Stahlerzeugung
gegliedert nach Energieträger und je Szenario über die Jahre

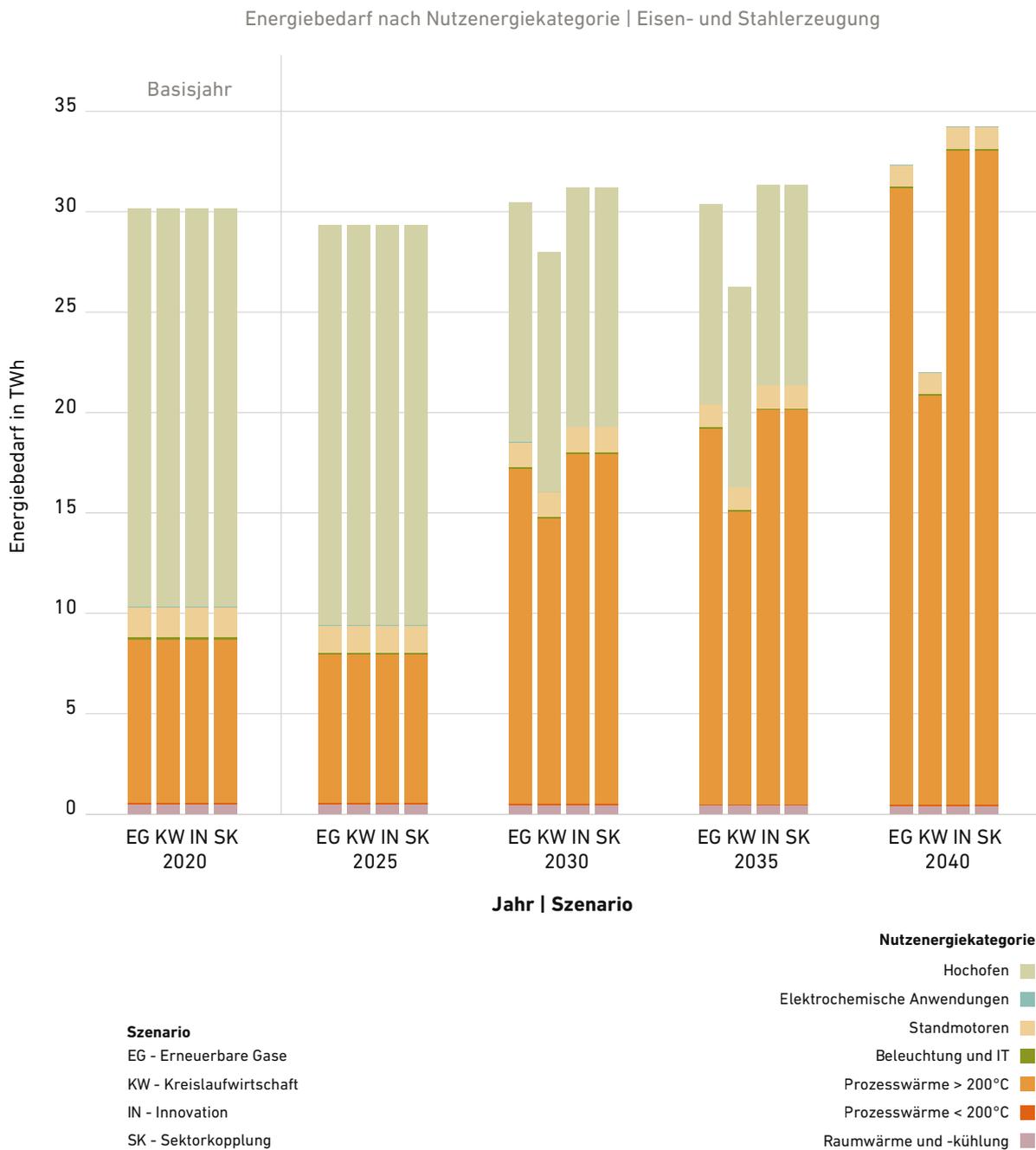


Abbildung 7
Energieverbrauch der Branche Eisen- und Stahlerzeugung nach
Nutzenergie für den Status Quo 2020 und je Szenario über die Jahre

Abbildung 7 illustriert die Verteilung des Energieeinsatzes nach Nutzenergiekategorie. Die Stahlerzeugung mittels Hochofenroute ist hierbei als eigene Kategorie dargestellt, während die Primärstahlerzeugung mittels Direktreduktion und Elektrolichtbogenofen mithilfe der Kategorie Prozesswärme $>200\text{ °C}$ visualisiert wird. Der größte Teil des Energieverbrauchs entfällt auf Prozesswärme mit einer Temperatur von mehr als 200 °C , was etwa 95 % des Energieverbrauchs entspricht und in erster Linie auf den Hochtemperatur-Wärmebedarf (über 1000 °C) in der Stahlerzeugung zurückzuführen ist. Ein wesentlich geringerer Teil des dargestellten Energieverbrauchs entfällt auf die Raumheizung und Standmotoren.

Energiebedarf im Vergleich | Eisen- und Stahlerzeugung

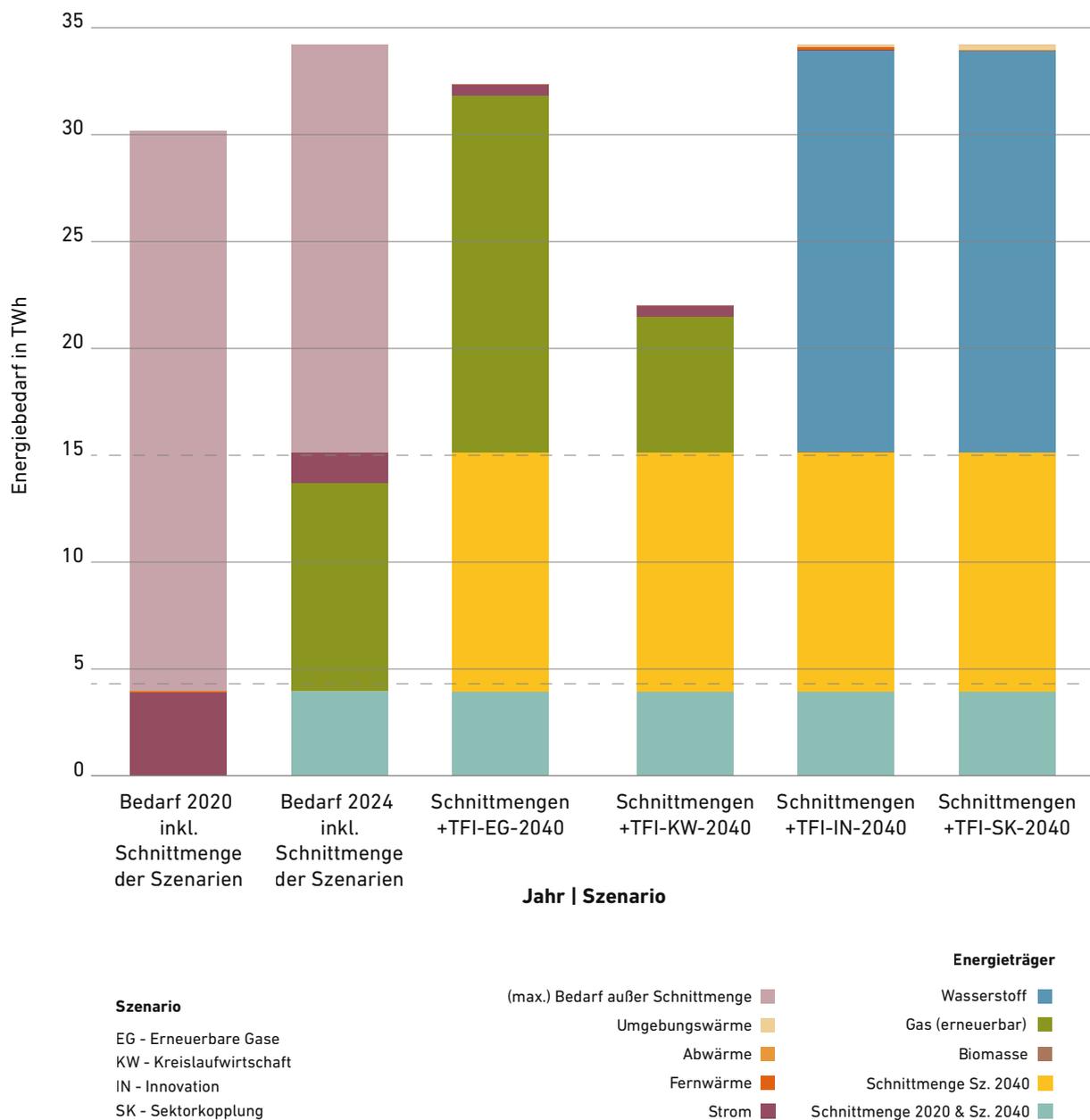


Abbildung 8

Vergleich der Schnittmengen des eingesetzten Energieträgermixes gemäß Modellergebnis: Erste Säule modell-unabhängiger Anteil im Jahr 2020. Zweite Säule modell-unabhängiger Anteil im Jahr 2040, drei bis sechs: Varianz der Szenarien

Abbildung 8 zeigt eine vergleichende Analyse der Szenarien mit Schwerpunkt auf den verschiedenen Energieträgerkategorien. Die Ergebnisse belegen, dass der Übergang von Hochöfen zu einem Direktreduktionsverfahren mit Elektrolichtbogenöfen bei der Stahlerzeugung unter Verwendung von Biomethan oder Wasserstoff die Schlüsseltechnologie ist und die größten Auswirkungen auf den Energieverbrauch hat. Die wichtigsten Umwandlungen betreffen hauptsächlich Biomethan und Wasserstoff. Etwa die Hälfte der Energie in Form von Strom und Biomethan, die zur Deckung des Energiebedarfs für Prozesswärme und Standmotoren anstelle von fossilen Energieträgern verwendet wird, bleibt in allen Szenarien gleich. Der überschüssige Energiebedarf ist auf den Verbrauch von Biomethan oder Wasserstoff als Reduktionsmittel für die Eisenerzeugung zurückzuführen und hängt von den Szenarien ab. Die größte Herausforderung, die es zu bewältigen gilt, ist daher die Verfügbarkeit einer ausreichenden Menge an Wasserstoff und Biomethan zu sichern.

2.2 Investitionsbedarfe und Stranded Assets¹

Die in den Leistungs- und Strukturdaten der Statistik Austria erfassten Gesamtinvestitionen in der Branche Eisen- und Stahlerzeugung lagen in den Jahren 2008–2019 bei durchschnittlich ca. 519 Mio. € pro Jahr. Davon entfielen durchschnittlich 98% auf Investitionen in Sachanlagen. Bei Beibehalten aktueller Prozessketten und entsprechender Fortschreibung dieser Investitionszyklen würde sich damit ein Gesamtvolumen an Investitionen in Sachanlagen von ca. 4,1 Mrd. € bis 2030 bzw. ca. 9,2 Mrd. € bis 2040 ergeben. Im Vergleich dazu betragen die ermittelten Investitionskosten für die Transformation, die in erster Linie die Bereitstellung von Raumwärme betreffen, je nach Szenario, bis zu 1,5 Mrd. € pro Jahr bzw. in Summe bis zu 14,7 Mrd. € bis 2040 (siehe Abbildung 9).

Davon betreffen rd. 30% direkte Investitionen für Equipment, der Rest bezieht sich auf indirekte Investition, wie z. B. Engineering, periphere Komponenten, oder Bautätigkeiten. Zudem sind diese Investition beinahe vollständig der Transformation der Stahlproduktionsroute vom Hochofenprozess hin zu Direktreduktion und Elektrolichtbogenöfen zuzuordnen.

Ein überwiegender Teil der Emissionen in dieser Branche ist auf den Einsatz von Kohle bzw. Koks zur Herstellung von Roheisen in Hochöfen zurückzuführen. Demzufolge ist bei einer Abkehr von der Hochofenroute als Teil der Stahlproduktion im Zuge der Dekarbonisierung vor allem für diese Anlagen mit potenziellen Stranded Assets zu rechnen. Obwohl bei Hochöfen von einer technischen Lebensdauer von etwa 50 Jahren ausgegangen wird, wird die tatsächliche Nutzungsdauer dieser Anlagen gewöhnlich durch regelmäßige Revisionen (sog. Neuzustellungen) verlängert. Basierend auf den Revisionszyklen der vergangenen Jahre, ist für die in Österreich betriebenen Hochöfen mit Revisionen bei vier von fünf Anlagen in den nächsten Jahren zu rechnen. Bis 2025 sind dafür Investitionen von etwa 50 Mio. € zu erwarten, bis 2030 etwa 60–70 Mio. €. Bis 2035 ist mit einer Neuzustellung aller bestehenden Anlagen zu rechnen mit einem geschätzten Gesamtinvestitionsbedarf von 250–300 Mio. €. Bei zusätzlichen Revisionen bis 2040 würden sich die Gesamtinvestitionen auf 350–400 Mio. € belaufen. Die damit verbundenen Stranded Assets sind somit insbesondere vom Zeitraum der Transformation abhängig. Zudem sinkt mit einer Reduktion der Primärstahlerzeugung durch Forcierung der Kreislaufwirtschaft, vgl. Abschnitt 2.1, nicht nur der Energiebedarf, sondern auch der erforderliche Investitionsbedarf für die Direktreduktion. Dadurch könnten bis zu 30% der gesamten Transformationskosten der Branche wegfallen.

¹ *Stranded Assets* bezeichnen Investitionsgüter, die einen unerwartet hohen Wertverlust haben und vorzeitig abgeschrieben werden müssen

Abgesehen von der Primärstahlerzeugung entfällt ein wesentlicher Anteil der sonstigen THG-Emissionen auf den Einsatz fossiler Energieträger zur Bereitstellung von Prozesswärme >200 °C. Potenzielle Stranded Assets sind hier in erster Linie vom Transformationspfad (Elektrifizierung, erneuerbare Gase) abhängig. Für diese Branche ergeben sich jedoch keine stark gegenläufigen Trends für die verschiedenen Entwicklungspfade, vgl. Abschnitt 2.1. Wenngleich für die Bereitstellung von Prozesswärme >200 °C

aufgrund begrenzter Alternativen zu Gas- oder Festbrennstoffkesseln nicht von signifikanten Stranded Assets auszugehen ist, ist eine weitgehende (effiziente) Elektrifizierung, über Wärmepumpen oder direkt, wo möglich vorzuziehen. Dies gilt insbesondere aufgrund begrenzter Verfügbarkeit an erneuerbaren Brennstoffen und damit verbundenen deutlich höheren Energiekosten für erneuerbare Gase.

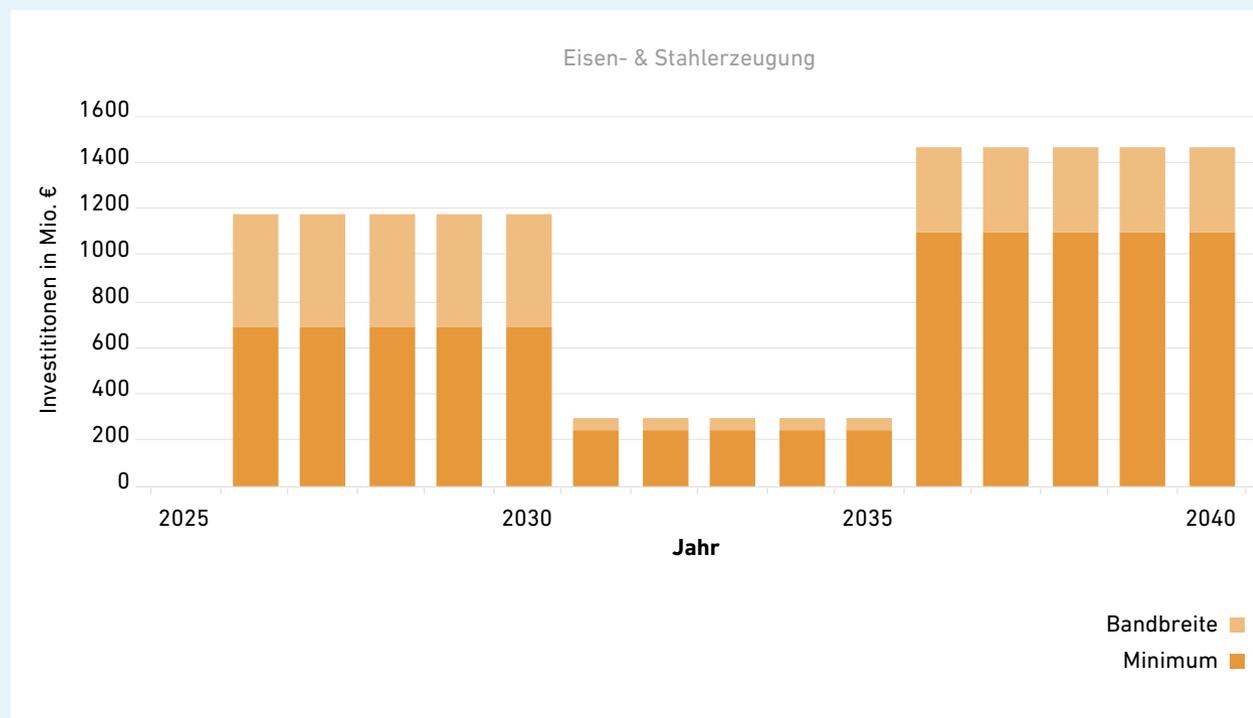


Abbildung 9

Notwendiger Investitionsbedarf für die Transformation (Bandbreite aus den Szenarien) in der Branche Eisen- & Stahlerzeugung

2.3 Branchenspezifische Schlüsseltechnologien

Die in den Entwicklungspfaden berücksichtigten Maßnahmen für die unterschiedlichen Nutzenergiekategorien (Anwendungsbereiche) wurden in den nachfolgenden Tabellen zusammengefasst und hinsichtlich folgender Kriterien verglichen:

- Emissionsreduktions-Potenzial in der Branche,
- Investitionsbedarf bzw. Energiekosten im Vergleich zu Alternativen für den Anwendungsbereich,

- Primärenergiereduktions-Potenzial und
- Reifegrad der Maßnahme.

Aus diesen Kriterien wurde unter Berücksichtigung der Analyse der volkswirtschaftlichen Effekte eine Bewertung jeder Maßnahme vorgenommen.

Anwendungsbereich	Kurzbezeichnung Maßnahme	Emissionsreduktionspotenzial in der Branche bzw. branchenübergreifend (hoch, mittel, niedrig)	Invest-Bedarf in Relationen zu Alternativen im Anwendungsbereich (günstig, mittel, teuer)	Energiekosten in Relation zu Alternativen im Anwendungsbereich (günstig, mittel, teuer)	Primärenergie-reduktionspotenzial in Relation zu Alternativen im Anwendungsbereich (hoch, mittel, niedrig)	Reifegrad (vor-marktreif, marktreif, marktverfügbar, etabliert)	Klassifikation der Maßnahme (empfehlenswert, bedingt empfehlenswert, nicht empfehlenswert)
Raumwärme	Integration Wärmepumpen – Nutzung Umgebungswärme oder industrielle Abwärme (standortintern oder -übergreifend)	Niedrig	Günstig	Günstig	Niedrig	Marktverfügbar	Empfehlenswert
	Direkte Wärmerückgewinnung (standortintern oder -übergreifend)	Niedrig	Günstig	Günstig	Niedrig	Marktverfügbar	Empfehlenswert
	Erhalt/Ersatz der Bestandsstruktur & Energieträgerwechsel für fossile Brennstoffe (erneuerbare Gase – grüner H ₂ /erneuerbares CH ₄)	Niedrig	Günstig	Mittel	Niedrig	Etabliert	Empfehlenswert
Prozesswärme <200 °C	Erhalt/Ersatz der Bestandsstruktur bzw. Neuanlagen und Energieträgerwechsel für fossile Brennstoffe (erneuerbare Gase – grüner H ₂ /erneuerbares CH ₄)	Niedrig	Günstig	Günstig	Niedrig	Etabliert	Bedingt empfehlenswert
	Erhalt Bestandsstruktur bzw. Neuanlagen für feste Brennstoffe wie Biomasse oder Ersatzbrennstoffe	Niedrig	Günstig	Günstig	Niedrig	Etabliert	Bedingt empfehlenswert
	Vergasung biogener Rohstoffe und Einsatz in anderen Branchen	Niedrig	Günstig	Günstig	Niedrig	Vor-marktreif	Bedingt empfehlenswert
	Elektrifizierung bzw. Integration Hochtemperatur-Wärmepumpe	Niedrig	Günstig	Günstig	Niedrig	Vor-marktreif	Empfehlenswert
	Branchen-übergreifende direkte Abwärmenutzung	Niedrig	Günstig	Günstig	Niedrig	Marktverfügbar	Empfehlenswert



Anwendungsbereich	Kurzbezeichnung Maßnahme	Emissionsreduktionspotenzial in der Branche bzw. branchenübergreifend (hoch, mittel, niedrig)	Invest-Bedarf in Relation zu Alternativen im Anwendungsbereich (günstig, mittel, teuer)	Energiekosten in Relation zu Alternativen im Anwendungsbereich (günstig, mittel, teuer)	Primärenergie-reduktionspotenzial in Relation zu Alternativen im Anwendungsbereich (hoch, mittel, niedrig)	Reifegrad (vor-marktreif, marktreif, marktverfügbar, etabliert)	Klassifikation der Maßnahme (empfehlenswert, bedingt empfehlenswert, nicht empfehlenswert)
Prozesswärme > 200 °C	Erhalt Bestandsstruktur & Energieträgerwechsel für fossile Energieträger (erneuerbare Gase – grüner H ₂ oder erneuerbares CH ₄)	Hoch	Günstig	Teuer	Niedrig	Etabliert	Empfehlenswert
	Erhalt Bestandsstruktur für feste Energieträger wie Biomasse oder Ersatz-Energieträger	Hoch	Günstig	Mittel	Niedrig	Etabliert	Empfehlenswert
	Elektrifizierung der Prozesswärmebereitstellung < 1000 °C	Hoch	Mittel	Teuer	Hoch	Marktverfügbar	Empfehlenswert
	Elektrifizierung der Prozesswärmebereitstellung > 1000 °C	Hoch	Mittel	Teuer	Hoch	Vor-marktreif	Bedingt empfehlenswert
Standmotoren	Selbstfahrende Arbeitsmaschinen: Ersatz von Dieselantrieben durch BEV bzw. FCEV	Mittel	Mittel	Mittel	Niedrig	Vor-marktreif	Empfehlenswert
Prozess-emissionen	Prozesswechsel vom konventionellen Hochofen zum Bio CH ₄ -Direktreduktion und EAF	Hoch	Teuer	Teuer	Niedrig	Etabliert	Empfehlenswert
	Prozesswechsel vom konventionellen Hochofen zum H ₂ -Direktreduktion und EAF	Hoch	Teuer	Teuer	Niedrig	Marktreif	Empfehlenswert
	Nutzung von Stahlschrott – vermehrte Kreislaufwirtschaft	Mittel	Mittel	Günstig	Hoch	Etabliert	Empfehlenswert
	Elektrolichtbogenofen (EAF)	Mittel	Mittel	Günstig	Hoch	Etabliert	Empfehlenswert

Tabelle 2
Branchenspezifische Schlüsseltechnologien
in der Branche Eisen- und Stahlerzeugung

Der folgende Abschnitt fokussiert auf die wichtigsten Technologien – die sogenannten No-regret-Technologien – die sich erheblich auf die Emissionsminderung und die Energieeffizienz in der Eisen- und Stahlerzeugung auswirken. Die in Tabelle 2 empfohlenen Technologien, wie z. B. Wärmepumpen und die Umstellung von fossilen Energieträgern auf erneuerbare Energien

für die Raumheizung und Prozesswärme unter 200 °C, werden in diesem Abschnitt nicht im Detail behandelt, da der Anteil des Energieverbrauchs in diesem Bereich am gesamten Energieverbrauch der Eisen- und Stahlindustrie relativ gering ist (siehe Abbildung 7, der Energieverbrauch nach Nutzenergiekategorie der Branche).

Prozesswechsel vom konventionellen Hochofen zum Bio-CH₄/H₂-Direktreduktion und EAF

Kriterium	Beschreibung
Relevanz für die Branche Eisen und Stahlerzeugung	Verwendung von Bio-CH ₄ oder Wasserstoff als Reduktionsmittel anstelle von Kohle zur Reduktion von Eisenerzpellets in einem Schachtofen. Diese Technologie eliminiert Prozessemissionen, und das Emissionseinsparungspotenzial für die Eisen- und Stahlindustrie kann bis zu 95 % betragen.
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Hohes CO₂-Reduktionspotenzial (> 95 % Reduktion) – Etablierte Technologie (DRI mit Bio-CH₄ ist eine etablierte Technologie, H₂-Direktreduktion ist marktreif) – Geringerer Energieverbrauch im Vergleich zur konventionellen Methode (ohne Berücksichtigung des Energiebedarfs für Elektrolyseur) – Möglichkeit, mehr Schrott zu verwenden und den Anteil des Rohstoffverbrauchs (Eisenerz) zu verringern
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Hohe initiale Investitionen – Einstellung/Erhalt/Erhöhung der Produktqualität im Rahmen der Technologieintegration eine Herausforderung
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> – Erfordert erneuerbare Gase (Bio-CH₄ und H₂), um die Emissionen vollständig zu reduzieren. – Verfügbarkeit von ausreichend Energie (H₂ oder bio CH₄).
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – TRL: 9 DRI mit Bio-CH₄ [12] – TRL: 7 DRI mit H₂ [12] – DRI mit Bio-CH₄, eine etablierte Technologie (TRL 9), erfordert Änderungen der Anlageninfrastruktur. – DRI mit H₂ ist noch nicht etabliert (TRL 7) und muss noch einige Herausforderungen bewältigen, z. B. infrastrukturelle Veränderungen, höhere Investitionen als DRI mit Bio-CH₄ und Sicherheitsfragen, um die Technologie vollständig umzusetzen [12]. – Bei dieser Prozessänderung (sowohl CH₄- als auch H₂-DRI mit EAF, bei der sowohl Eisenerz als auch Stahlschrott verwendet werden) ist es eine technische Herausforderung, die Qualität der Stahlerzeugnisse auf dem Niveau des Primärstahls zu halten.

Tabelle 3

Schlüsseltechnologie Direktreduktionseisen (DRI) mit Bio CH₄/H₂ und Elektrolichtbogenofen: Eigenschaften der Technologie

Elektrolichtbogenofen (EAF)

Kriterium	Beschreibung
Relevanz für die Branche Eisen und Stahlerzeugung	Ein Elektrolichtbogenofen ist ein Ofen, der Material (eine Mischung aus Schrott mit Roheisen oder DRI und HBI) durch einen elektrischen Lichtbogen erhitzt, um Stahl zu erzeugen. Das Emissionseinsparpotenzial kann durch diese Technologie für die Eisen- und Stahlindustrie bei bis zu 70 % liegen.
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Rund 70 % geringere Emissionsintensität im Vergleich zum Hochofen – Geringerer spezifischer Energieverbrauch im Vergleich zum Hochofen – Etablierte Technologie
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> – Hoher Strombedarf – Geringere Qualität als Primärstahl (Primärstahl kann nicht vollständig durch Sekundärstahl ersetzt werden, Primärstahl ist für einige Anwendungen weiterhin erforderlich)
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> – Die Verfügbarkeit von ausreichend elektrischer Energie mit geringem CO₂-Fußabdruck ist wichtig für die Dekarbonisierung – Bedarf an hochwertigem Schrott
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Technology-Readiness-Level: 9 – Diese Technologie ist bereits etabliert, sodass keine Änderungen der Infrastruktur, neue Investitionen und neue Forschung erforderlich sind. Allerdings ist die Bereitstellung von hochwertigem Sekundärstahl eine Herausforderung. Um die Qualität des Sekundärstahls zu verbessern, ist die Beschaffung von hochwertigem Schrott zu priorisieren.

Tabelle 4

Schlüsseltechnologie Elektrifizierung der Stahlproduktion durch Elektrolichtbogenofen: Eigenschaften der Technologie

Nutzung von Stahlschrott durch die Kreislaufwirtschaft

Kriterium	Beschreibung
Relevanz für die Branche Eisen und Stahlerzeugung	Der Ansatz der Kreislaufwirtschaft in der Eisen- und Stahlindustrie fördert die nachhaltige und effiziente Nutzung von Ressourcen während des gesamten Produktlebenszyklus. Der Schwerpunkt liegt auf der Reduzierung von Abfällen, der Wiederverwendung und dem Recycling von Materialien sowie der Minimierung des Energieverbrauchs und der Umweltauswirkungen. In diesem Zusammenhang wendet die Eisen- und Stahlindustrie die schrottbasierte Stahlerzeugung an, bei der Stahlschrott zu neuen Produkten recycelt wird, anstatt ausschließlich auf neues Eisenerz zurückzugreifen.
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> – Kostenreduktion – Reduktion des Primärmaterial und -energieeinsatzes – Verringerung der Abfallerzeugung
Nachteile	– Reicht als Einzelmaßnahme nicht für vollständige Dekarbonisierung
Herausforderungen	<ul style="list-style-type: none"> – Entsprechend hohe Recycling- und Rücklaufquoten sowie Qualität erforderlich – Sammlungs- und Aufbereitungsinfrastruktur erforderlich – Erhalten der Produkteigenschaften und -qualität technisch herausfordernd – Umstellung organisatorischer Abläufe erforderlich
Technische Rahmenbedingungen und Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Technology-Readiness-Level: 9 – Analyse des Produktes erforderlich – Die Verbesserung des Abfallmanagementsystems ist notwendig, um qualitativ hochwertigen Stahlschrott bereitzustellen.

Tabelle 5

Schlüsseltechnologien zur Kreislaufwirtschaft:

Eigenschaften der Technologie

2.4 Handlungsempfehlungen

Zusätzlich zu den allgemeinen Handlungsempfehlungen für die gesamte Industrie können für diese Branche folgende spezifische Empfehlungen formuliert werden:

Handlungsfeld	Empfehlungen
Förderung von F&E	<ul style="list-style-type: none"> – H₂-Direktreduktion und Elektrifizierung der Stahlerzeugungsrouten (DR/EAF) – Integration biogener Rohstoffe („Biomasse“) – „F&E-Projekte Qualitätskontrolle“: Aufrechterhaltung der Qualität der Stahlerzeugnisse auf dem Niveau des Primärstahls bei der DR/EAF Route – Kaskadische F&E-Förderung: Synergien mit EU-Projekten suchen und nationale Weiterführung/F&E-Förderung erfolgsversprechender Ergebnisse aus diesen EU-Projekten – Abstimmung und aktive Einbringung in die CleanSteel und Processes4Planet Partnership auf europäischer Ebene
Anreize und Förderungen von Investitionen	<ul style="list-style-type: none"> – Erhöhung der nationalen Budgets für standortsichernde Transformationsinvestitionen (inkl. ETS-Betriebe) – CAPEX Zuschuss – OPEX Zuschuss
Energieinfrastrukturen und Energiebereitstellung	<ul style="list-style-type: none"> – Rascher und umfassender Ausbau der Kapazitäten für Energiebereitstellung (Strom) aus erneuerbarer Energie (Erzeugung und Netze) – Ausbau der Verfügbarkeit von Wasserstoff (Produktion am Standort, Leitungen, externe Produktion)
Bereitstellung von Material und Rohstoffen	<ul style="list-style-type: none"> – Verkürzung der Zeit für die Erteilung von Genehmigungen und Einführung unterstützender Vorschriften, um den Übergang zu neuen Rohstoffen zu beschleunigen (z. B. Abfall als Rohstoff) – Sicherung der Versorgung mit und der Zugang zu Mineralien/Metallerzen und wichtigen Rohstoffen bei gleichzeitiger Berücksichtigung der sozialen und ökologischen Aspekte des Bergbaus – Hervorheben der Rolle des Recyclings von Batterien und Elektronik, um sicherzustellen, dass die EU bereits im Wirtschaftssystem befindliche Rohstoffe behält – Einrichtung zirkulärer Versorgungsketten für den Zugang zu erneuerbarem Kohlenstoff und den Ersatz fossiler Rohstoffe (Abfallbewirtschaftung, Biomasseverarbeitung, Übergang von der Verbrennung zum Recycling)
Auf- und Ausbau von Infrastrukturen	<ul style="list-style-type: none"> – Bereitstellung der notwendigen Infrastruktur für den Einsatz der effektivsten Technologie (insbesondere Strom- und Gasnetze) – Forschungsinfrastrukturen: Weiterführung etablierter Kompetenzzentren (z. B. K1 Met) – Ausbau der Speicherinfrastruktur (Wärme, Strom, CO₂, H₂) und Sektorkopplung (insbesondere Abwärmenutzung) – Digitale Infrastruktur: Gezielte Einbindung von spezialisierten KMU (besonders im Bereich Digitale Lösungen/Steuerung) – Ausbau von Logistiklösungen zur Forcierung der Kreislaufwirtschaft (Upstream und Downstream)
Kooperation und Vernetzung	<ul style="list-style-type: none"> – Engere Kooperation, Abstimmung und aktive Einbringung in EU-Aktivitäten und europäischen F&E-Projekten sowie in die beiden EU Partnerschaften Clean Steel und Processes4Planet. Mitarbeit an Initiativen zur Kooperation von EU-Rahmenprogramm und EU-Innovationsfonds, Regionalfonds und European Social Fund + (ESF+)



Handlungsfeld	Empfehlungen
Gesetzliche Rahmenbedingungen, Standards und Normen	<ul style="list-style-type: none"> – Beschleunigte Zulassungsverfahren – Regulierungen, die explizit die Energietransformation und die Kreislaufwirtschaft (z. B. für Stahlschrott) begünstigen – Aufwandsbeteiligungsklausel für nachgeschaltete Anwender, um den Preisaufschlag auszugleichen – Anforderungen und Normen sollen zugleich funktional und nachhaltig, also leistungsbasiert sein – EU-Ebene: vorhersehbare CO₂-Bepreisung für die Jahre 2030 bis 2050, einschließlich CBAM („Carbon Border Adjustment Mechanism“), entsprechende Positionierung der österreichischen Interessen und Kommunikation mit den Betrieben zur Vorbereitung in der Übergangsphase – Nationale Ebene: Angleichen der österreichischen Förderpraxis an EU-Standards betreffend Förderungen für ETS-Betriebe
Öffentliche Beschaffung und Nachfrage	<ul style="list-style-type: none"> – Standortsicherung durch einen neuen politisch-strategischen Zugang: „Klimaschutz als Chance zur Standortsicherung“ (vgl. Deutschland) – Schaffen von Grünen Leitmärkten durch gesetzliche Grünstahlquoten – Produktdesignstandards zur Förderung „grüner“ Produkte (z. B. Stahl) – Produktpässe (Kennzeichnung usw.) – Initiative für nachhaltige Produkte, die Anreize für eine CO₂-neutrale Produktion setzen
Aus- und Weiterbildung sowie gesellschaftlicher Wandel	<ul style="list-style-type: none"> – Attraktivierung des Arbeitsplatzes „Stahlerzeugung“ durch menschenzentrierte technologische Lösungen und Systeme – Aktiver Einbezug der Belegschaft (insbesondere am „Shop Floor“) in die grüne Transformation und in die damit in Zusammenhang stehenden Veränderungen und Innovationen bei der Stahlerzeugung („Co-Creation“) – Gezielte Ansprache von Frauen als potenzielle Arbeitnehmerinnen über die Themen Kreislaufwirtschaft, Nachhaltigkeit und Klimawandel – Entwicklung von Anforderungskatalogen in Bezug auf erforderliche Fertigkeiten und Tätigkeitsprofile der Gegenwart und Zukunft („skill requirements“), und Mitarbeit und entsprechenden Trainings- und Ausbildungsprogrammen – Identifizierung und Beschreibung der Qualifikationsanforderungen in kooperativen EU-Projekten (Horizon Europe & Research Fund for Coal and Steel) – Nutzung des ESF+ als weiteres Instrument der EU-Förderung im Anschluss an obige F&E-Projekte – Mitwirkung an EU „Industrial Skills Alliances“

Tabelle 6
Handlungsempfehlungen

Literaturverzeichnis

- [1] „Statistik Austria, Volkswirtschaftliche Gesamtrechnung,“ *Statistik Austria, Produktionsindex 2020*, 2020.
www.statistik.at/statistiken/volkswirtschaft-und-oeffentliche-finanzen/volkswirtschaftliche-gesamtrechnungen
- [2] „Statistik Austria, Energiegesamtrechnung,“ *Statistik Austria, Nutzenergieanalyse 2020*, 2019.
www.statistik.at/statistiken/energie-und-umwelt/energie/energiegesamtrechnung
- [3] V. A. A. I. of T. Alton *et al.*, “NEFI PATHWAY TO INDUSTRIAL DECARBONISATION SCENARIOS FOR THE DEVELOPMENT OF THE INDUSTRIAL SECTOR IN AUSTRIA,” 2022.
- [4] World Steel Association, “World Steel in Figures 2020,” 2020.
- [5] Statistics Austria, „Energiebilanzen für Österreich: Gesamtenergiebilanz Österreich 1970 bis 2019,“ 2021.
www.statistik.at/web_de/statistiken/energie_umwelt_innovation_mobilitaet/energie_und_umwelt/energie/energiebilanzen/index.html (accessed Jan. 20, 2021).
- [6] Umweltbundesamt, “Austria’s National Inventory Report 2021, Umweltbundesamt GmbH,” Vienna, 2021.
- [7] World Steel Association, “World Steel in Figures 2022,” 2022. [Online]. Available:
worldsteel.org/steel-topics/statistics/world-steel-in-figures-2022
- [8] K. Pardo, Nicolás; Moya, J A; Vatopoulos, “Prospective scenarios on energy efficiency and CO₂ emissions in the EU iron & steel industry: Re-edition,” 2015.
- [9] Material Economics, “Industrial Transformation 2050 – Pathways to Net-Zero Emissions from EU Heavy Industry,” 2019.
- [10] M. Rahnama Mobarakeh and T. Kienberger, “Climate neutrality strategies for energy-intensive industries: An Austrian case study,” *Clean. Eng. Technol.*, vol. 10, p. 100545, Oct. 2022, doi: 10.1016/j.clet.2022.100545.
- [11] European Commission, “Final Report of the SET-Plan workshop on Technology Innovations for Energy Efficiency and Greenhouse Gas (GHG) emissions reduction in the Iron and Steel Industries in the EU27 up to 2030,” 2010.
- [12] IEA, “ETP Clean Energy Technology Guide,” Paris, 2022. [Online]. Available: www.iea.org/data-and-statistics/data-tools/etp-clean-energy-technology-guide

Kontaktdaten

Projektleiter

Christian Schützenhofer

Center for Energy

AIT Austrian Institute of Technology GmbH

Giefinggasse 6, 1210 Vienna

christian.schuetzenhofer@ait.ac.at

Herausgeber

Klima- und Energiefonds der österreichischen Bundesregierung

Leopold-Ungar-Platz 2 / Stiege 1 / Top 142, 1190 Wien

Tel: (+43 1) 585 03 90

office@klimafonds.gv.at

www.klimafonds.gv.at

AutorInnen:

Christian Schützenhofer, Verena Alton, Bernhard Gahleitner, Sophie Knöttner,

Klaus Kubeczko, Karl-Heinz Leitner, Wolfram Rhomberg

AIT Austrian Institute Of Technology

Martin Baumann, Christoph Dolna-Gruber, Bernhard Felber, Andreas Indinger

Österreichische Energieagentur – Austrian Energy Agency (AEA)

Thomas Kienberger, Maedeh Rahnema Mobarakeh, Peter Nagovnak

Lehrstuhl für Energieverbundtechnik/Montanuniversität Leoben (EVT)

Hans Böhm, Sebastian Goers, Simon Moser, Mario Reisinger

Energieinstitut an der Johannes Kepler Universität Linz (EI-JKU)

Für den Inhalt verantwortlich

Die AutorInnen tragen die alleinige Verantwortung für den Inhalt dieser Studie.

Er spiegelt nicht notwendigerweise die Meinung des Klima- und Energiefonds wider.

Weder der Klima- und Energiefonds noch das Bundesministerium für Klimaschutz,

Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) sind für die

Weiternutzung der hier enthaltenen Informationen verantwortlich.

Gestaltung

www.angineering.net

Titelfoto

Max Larochelle

Herstellungsort: Wien

Wir haben diese Broschüre mit größtmöglicher Sorgfalt erstellt und die Daten überprüft.

Rundungs-, Satz- oder Druckfehler können wir dennoch nicht ausschließen.

www.klimafonds.gv.at





 **Bundesministerium**
Klimaschutz, Umwelt,
Energie, Mobilität,
Innovation und Technologie