



Österreichs Stahlindustrie und der Schienengüter- verkehr: geopolitische Faktoren, Transformation und Zukunftsaussichten

**Agnes Kügler, Werner Hölzl, Isabel Pham,
Tim Slickers, Gerhard Streicher,
Fabian Unterlass**

Data Science: Georg Böhs

Wissenschaftliche Assistenz:

Fabian Gabelberger, Kathrin Hofmann,

Nicole Schmidt-Padickakudy

Jänner 2024

Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

Österreichs Stahlindustrie und der Schienengüterverkehr: geopolitische Faktoren, Transformation und Zukunftsaussichten

Agnes Kügler, Werner Hölzl, Isabel Pham, Tim Slickers,
Gerhard Streicher, Fabian Unterlass

Jänner 2024

Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung
Im Auftrag der ÖBB-Infrastruktur AG

Begutachtung: Klaus Friesenbichler

Data Science: Georg Böhs

Wissenschaftliche Assistenz: Fabian Gabelberger, Kathrin Hofmann,
Nicole Schmidt–Padickakudy

Die Studie untersucht die österreichische Eisen- und Stahlindustrie hinsichtlich geopolitischer Risiken, Handelspolitik, Energiekosten, Dekarbonisierungszielen und technologischem Wandel. Dabei werden die aktuellen Herausforderungen, wie z. B. die fortschreitende Energiewende und der gestiegene internationale Wettbewerb – insbesondere aus Asien – aufgezeigt. Schließlich werden mögliche Lösungsansätze, darunter die Entwicklung von CO₂-neutralen Produktionstechnologien, und ihre Auswirkung auf den Schienengütertransport diskutiert. Die Dekarbonisierung und der technologische Wandel sind dabei die größten mittelfristigen Herausforderungen der Stahlbranche. Diese werden strukturelle Veränderungen mit sich bringen und haben das Potenzial die Handelsströme nachhaltig zu verändern. Im Gegensatz dazu haben geopolitische Spannungen und Handelskonflikte eher kurzfristige Auswirkungen. Die Abhängigkeit von Importen und der damit einhergehende Anstieg des Bedarfs an Schienenverkehr rücken, angesichts des Auslaufens der heimischen Erzvorkommen, aber in den Fokus. In Hinblick auf die Zukunft gewinnt die Digitalisierung, insbesondere die künstliche Intelligenz, an Relevanz, um die technische Effizienz und Energieoptimierung in der Stahlindustrie zu steigern.

2024/5/S/WIFO-Projektnummer: 22075

© 2024 Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

Medieninhaber (Verleger), Hersteller: Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung

1030 Wien, Arsenal, Objekt 20 • Tel. (43 1) 798 26 01 0 • <https://www.wifo.ac.at> • Verlags- und Herstellungsort: Wien

Kostenloser Download: <https://www.wifo.ac.at/publication/pid/49227924>

Vorwort

„Auslöser für die Studie waren die seit dem Jahr 2021 stetig steigenden Energiepreise und hier insbesondere der Preis für Gas, der sich zwischen Juni 2021 und Dezember 2021 / Jänner 2022 nahezu vervierfachte sowie die neuen geopolitischen Herausforderungen durch den Krieg in der Ukraine und den damit verbundenen Handelseinschränkungen. Die Annahme zu Projektbeginn war, dass durch Handelsbarrieren Rohstoffe aus anderen Nationen bezogen werden müssten. Das hätte zur Folge, dass sich auch Verkehrsströme verändern. Ziel war, Antworten und Aussagen zu den Auswirkungen auf den Schienengüterverkehr zu finden.

Beim Design des Projektes wurde darauf Wert gelegt, keine allgemein gültigen Aussagen für den Wirtschaftsstandort Österreich und den Schienengüterverkehr zu treffen, sondern einen Sektor tiefergehend zu untersuchen. Die Wahl fiel auf den Sektor „Roheisen- und Stahlerzeugen“. Gründe dafür waren,

- potentielle Handelsbarrieren bei Rohstoffen,
- die Bahnaffinität im Transport,
- die Energieintensivität des Sektors,
- das Ziel der CO₂-Reduktion im Sektor und damit verbundene Änderungen der Produktion,
- die Bedeutung für den österreichischen Industriestandort.

Nachdem empirische Daten einen Timelag aufweisen, der möglicherweise die eingetretenen Handelsbarrieren nicht bzw. noch nicht vollständig abbilden, wurden zusätzlich durch das WIFO Befragungen durchgeführt.

Bereits die ersten Ergebnisse zeigten, dass die Handelsbarrieren bei weitem nicht die erwarteten Auswirkungen auf die Unternehmen und damit auf Verschiebungen im Schienengüterverkehr hatten. Dieser Trend verstärkte sich im Lauf des Projektes noch.

In Bezug auf den Schienengüterverkehr stellen die hohen Energiepreise, die Auflagen zur CO₂-Reduktion sowie der Inflation Reduction Act und die damit verbundenen Abwanderungsrisiken der Produktion bzw. von Teilen der Produktion eine zentrale Herausforderung dar. Nicht minder relevant ist aber auch der technologische Wandel (KI) sowie der Technologiewechsel hin zu „grünem Stahl“ und der damit verbundene Entfall von Inputstoffen für die Produktion, wie z.B. Koks.

Damit bestätigt die aktuelle Studie die vorangegangenen Studien, dass der technische Wandel und Regularien Treiber der Produktion und des Transportes von Gütern sind.“

Ing. Mag. Marko Koren, ÖBB-Infrastruktur AG

Wien, 11. Januar 2024

Inhalt

Executive Summary	7
1. Einleitung	11
2. Die Eisen- und Stahlindustrie in Österreich	14
2.1 Die Entwicklung der Eisen- und Stahlindustrie in Österreich – ein kurzer historischer Abriss	14
2.2 Aktuelle Entwicklungen	15
2.3 Die Roheisen- und Stahlerzeugung in Österreich heute	17
2.4 Die Entwicklung der Roheisen- und Stahlerzeugung weltweit	19
2.4.1 Stahlproduktion weltweit	19
2.4.2 Stahlkonsum weltweit	20
2.4.3 Internationale Verflechtung	21
2.4.4 Substituierbarkeit	21
2.5 Die wichtigsten vor- und nachgelagerten Industriezweige der Eisen- und Stahlindustrie in Österreich	21
2.5.1 Produktionstechnologien	21
2.5.2 Produkte	22
2.5.3 Die Wertschöpfungskette Stahl – Upstream	23
2.5.4 Die Wertschöpfungskette Stahl - Downstream	27
2.6 Eisen und Stahl in der Input-Output-Tabelle	27
2.7 Beschäftigung in Eisen- und Stahlrelevanten Branchen	32
2.8 Der Außenhandel mit Eisen und Stahl	37
2.9 Transport	48
2.10 Zusammenfassung	61
3. Auswirkungen des strukturellen Wandels und der gestiegenen geopolitischen Unsicherheit auf den Standort Österreich	63
3.1 Energiepreise, Unsicherheit und Unternehmensstrategien	64
3.2 Die größten Herausforderungen der Eisen- und Stahlindustrie	69
3.2.1 Herausforderungen durch Klimawandel und Dekarbonisierung	69
3.2.2 Herausforderungen durch Geopolitik und Handelskriege	79
3.2.3 Herausforderung Digitalisierung	83
3.2.4 Auswirkungen auf den Standort Österreich	85
3.3 Validierung durch eine Expertenbefragung	87
3.4 Zusammenfassung	88
4. Einflussfaktoren des Schienentransportes von Eisen- und Stahl	90
4.1 Datenbeschreibung	90
4.1.1 Logistikpunkte	90
4.1.2 Produktionswerte und -mengen	92
4.1.3 Unternehmensdaten	96
4.1.4 Digitalisierungsindikatoren	98

4.1.5	Treibhausgasemissionen	99
4.1.6	Autobahnauffahrten	102
4.2	Regressionsanalyse	104
4.2.1	Modellierung der Gütermengen	104
4.2.2	Deskriptive Regressionsanalyse der Treibhausgasemissionen	105
4.3	Ergebnisse	105
4.3.1	Die Gütermenge auf der Schiene und Firmen- & regionsspezifische Einflussfaktoren	105
4.3.2	Zusammenhänge mit Treibhausgasemissionen	108
4.4	Zusammenfassung	111
	Appendix	112
	Literaturverzeichnis	125

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1: Gliederung	13
Abbildung 2: Beschäftigte und abgesetzte Produktionsmenge der Roheisen- und Stahlerzeugung	18
Abbildung 3: Entwicklung der Stahlproduktion der größten Produzenten weltweit	19
Abbildung 4: Exportportfolio Österreichs (2008-2022)	23
Abbildung 5: Kalksteinvorkommen in Österreich	25
Abbildung 6: Verwendung von Eisen, Stahl und Gießereierzeugnissen (Gut C24_A)	29
Abbildung 7: Beschäftigung in eisen- und stahlrelevanten Branchen, 2011-2021	35
Abbildung 8: Beschäftigung im Metallsektor 2019 – Herstellung vs. Weiterverarbeitung	36
Abbildung 9: Beschäftigung im Metallsektor 2019 in den Bezirken	37
Abbildung 10: Der österreichische Außenhandel mit eisen- und stahlrelevanten Gütern, 2022	38
Abbildung 11: Der österreichische Außenhandel mit eisen- und stahlrelevanten Gütern, 2011- 2022	39
Abbildung 12: Struktur der Handelspartner Österreichs – Einfuhren, 2010-2022	40
Abbildung 13: Struktur der Handelspartner – Ausfuhren, 2010-2022	41
Abbildung 14: Ein- bzw. Ausfuhrmengen eisen- und stahlrelevanter Güter, 2022	43
Abbildung 15: Außenhandel mit eisen- und stahlrelevanten Gütern, nach Ursprungs- bzw. Bestimmungsland, 2022	44
Abbildung 16: Außenhandel mit Gütergruppe KN 7204 Abfälle, Schrott u. Abfallblöcke aus Eisen oder Stahl; 2007-2022	45
Abbildung 17: Außenhandel mit der Gütergruppe KN 7204 Abfälle, Schrott u. Abfallblöcke aus Eisen oder Stahl, 2022	46
Abbildung 18: Außenhandel mit Gütergruppe KN 7204 Abfälle, Schrott u. Abfallblöcke aus Eisen oder Stahl, nach Ursprungs- bzw. Bestimmungsland, 2022	47
Abbildung 19: Transportmengen von Eisen- und stahlrelevanten Gütern in den Ländern der EU27, 2022; in Mio. Tonnen	49
Abbildung 20: Transportvolumina in Tsd. Tonnen nach Transportmodus und Verkehrsart, 2003- 2022	51
Abbildung 21: Transportmenge des Empfangsverkehrs nach Einladeländern, Erze und Metallabfälle in Tsd. Tonnen, 2010-22	53
Abbildung 22: Transportmenge des Versandverkehrs nach Ausladeländern, Erze und Metallabfälle in Tsd. Tonnen, 2010-2022	55
Abbildung 23: Transportmenge des Empfangsverkehrs nach Einladeländern, Eisen, Stahl und NE-Metalle in Tsd. Tonnen, 2010-22	56
Abbildung 24: Transportmenge des Versandverkehrs nach Ausladeländern, Eisen, Stahl und NE-Metalle in Tsd. Tonnen, 2010-22	57
Abbildung 25: Erztransporte aus der Ukraine nach Modus in Tsd. Tonnen, 2003-2022	58
Abbildung 26: Quell- und Zielverkehr vs. Importe und Exporte nach Regionen, 2022	59
Abbildung 27: Importvolumina nach Ursprungs- bzw. Einladeland lt. Außenhandels- bzw. Transportstatistik in Tsd. Tonnen, 2022	60
Abbildung 28: Veränderung der Wettbewerbsposition auf EU- und außereuropäischen Märkten, Salden in % aller Meldungen	65
Abbildung 29: Hemmnisse für Investitionen in energiesparende Maßnahmen, nach ausgewählten zusammengefassten Kategorien	74
Abbildung 30: Logistikkpunkte in Österreich	91

Abbildung 31: Abgesetzte Produktion (in EUR) nach NUTS3-Regionen (Ø 2016-2020) und Unternehmen der Metallerzeugung und -bearbeitung	94
Abbildung 32: Abgesetzte Produktion (in Kilogramm) nach NUTS3-Regionen (Ø 2016-2020) und Unternehmen der Metallerzeugung und -bearbeitung	96
Abbildung 33: Durchschnittliche Emissionen in CO ₂ -Äquivalenten (in Mio. Tonnen), Vergleich nach NUTS3-Ebenen (2016-2020)	101
Abbildung 34: Beispiel der räumlichen Verortung von Autobahnauf- und -abfahrten	103
Abbildung 35: Beispiel der räumlichen Verortung von Autobahnknoten	103

Verzeichnis der Übersichten

Übersicht 1: Output der Branche C24 Metallerzeugung, 2018	28
Übersicht 2: Produzenten von Eisen, Stahl und Gießereierzeugnissen (Gut C24_A), 2018	28
Übersicht 3: Eisen und Stahl – Verwendung in der Gütereinsatzstatistik, 2018	30
Übersicht 4: Produktionstechnologie der Metallerzeugung und -bearbeitung (NACE C24), 2018	32
Übersicht 5: Eisen- und Stahlrelevante Branchen	33
Übersicht 6: Beschäftigung in relevanten Branchen (2011-2021)	34
Übersicht 7: Transportmengen im Güterverkehr mit relevanten Gütergruppen, 2022	50
Übersicht 8: Transportvolumina im Schienen-Güterverkehr mit relevanten Gütergruppen, 2022	50
Übersicht 9: Auswirkung der Entwicklung der Energiekosten auf die Ertragslage, Sachgütererzeugung	64
Übersicht 10: Abschätzbarkeit und Relevanz globaler wirtschaftspolitischer Risikofaktoren	67
Übersicht 11: Auswirkungen der wirtschaftspolitischen Unsicherheit auf ausgewählte Unternehmensentscheidungen	68
Übersicht 12: Technologische Lücken bei Technologien zur Dekarbonisierung	72
Übersicht 13: Einschätzungen der mittelfristigen Energieeinsparungspotentialen	73
Übersicht 14: Hemmnisse für Investitionen in energiesparende Maßnahmen, Detailergebnisse	74
Übersicht 15: Auswirkungen weiterhin hoher Energiepreise auf Investitionen	80
Übersicht 16: Auswirkungen auf strategische Entscheidungen der Unternehmen, wenn die Energiepreise hoch bleiben (Auswahl)	81
Übersicht 17: Nutzung von Technologien von Künstlicher Intelligenz im Unternehmen, 2021	84
Übersicht 18: Auswirkungen auf Standort und Gütertransport in der Stahlindustrie	86
Übersicht 19: Überblick Logistikpunkte (2016- 2020)	92
Übersicht 20: Produktionswerte (in Mio. EUR) der österreichischen Metallerzeugung und -bearbeitung nach NUTS3-Regionen (2016-2020)	93
Übersicht 21: Produktionsmengen (in 1.000 kg) der österreichischen Metallerzeugung und	95
Übersicht 22: Deskriptive Statistik Unternehmen der Metallerzeugung und -bearbeitung (2016-2020)	97
Übersicht 23: Unternehmen und Autobahnauf- bzw. -abfahrten und Logistikpunkte	98
Übersicht 24: IKT-Spezialist:innen und ihr Anteil an der erwerbstätigen Bevölkerung nach Bundesländern (2016-2020)	99
Übersicht 25: Treibhausgasemissionen pro NUTS3-Region, in Tonnen (2016-2020)	100
Übersicht 26: Regressionsergebnisse basierend auf Informationen zum nächsten Unternehmen, inkl. Zeit-fixen Effekten	107
Übersicht 27: Regressionsergebnisse basierend auf distanzgewichteten Unternehmensinformationen, inkl. Zeit-fixen Effekten	108
Übersicht 28: Regressionsergebnisse Emissionen auf NUTS3-Ebene	110
Übersicht 29: Regressionsergebnisse Emissionen pro erwerbstätige Person auf NUTS3-Ebene	110

Executive Summary

- Im 16. Jahrhundert war Österreich aufgrund der Standortfaktoren Erz, Holz und Wasserkraft der bedeutendste Eisenproduzent Europas, verlor jedoch im Laufe der Jahrhunderte durch die Industrialisierung und den technologischen Wandel diese Position. Trotz Krisen und Umstrukturierungen, insbesondere nach den Weltkriegen und des Ölpreisschocks, konnte die **österreichische Eisen- und Stahlindustrie** durch Innovationen und erfolgreicher Privatisierung ab den 90er Jahren ihre Position in hochwertigen Marktsegmenten stärken.
- Die österreichische Metallerzeugung und Metallverarbeitung weisen in den letzten beiden Jahrzehnten sehr **stabile Entwicklungen** auf. Die Beschäftigung in diesen Branchen ist sogar leicht gestiegen.
- Heute ist Österreich der **fünftgrößte Rohstahlerzeuger Europas** mit rund 15.000 Beschäftigten in 17 Unternehmen, die im Jahr 2022 7,5 Millionen Tonnen Rohstahl erzeugten.
- Die österreichische Stahlproduktion hatte im Jahr 2022 einen Weltmarktanteil von etwa 0,4%. Die wichtigsten **Konkurrenten** sind mittlerweile in Asien zu finden, wo die Produktionskapazitäten (insbesondere in China) massiv ausgebaut wurden.
- Das wichtigste österreichische Exportgut sind **Flachstähle**, die in der deutschen (und italienischen) Automobilherstellung verwendet werden. Dieses Geschäftsfeld hängt damit wesentlich von der Entwicklung dieser Branche ab. Aktuell sind die Aussichten nicht ungetrübt, könnte die Umstellung auf E-Mobilität doch zu einem schmerzlichen Verlust an Marktanteilen für europäische (v.a. deutsche) Hersteller führen.
- Trotz prognostizierter Steigerungen der Nachfrage in Ländern wie Indien und den Regionen Nahost und Nordafrika (aufgrund von starkem Bevölkerungswachstum und Infrastrukturerneuerung) sind weltweit sowohl stagnierende als auch rückläufige Trends in der Stahlindustrie zu beobachten, wie etwa **sinkende Export- und Importzahlen**. Gründe liegen mitunter in der Krise im chinesischen Bausektor und der rückläufigen Nachfrage in Nord-, Mittel- und Südamerika.
- In Europa hat die Rohstahlproduktion in den letzten Jahren weniger stark zugenommen als der Stahlverbrauch, und Produktionskapazitäten wurden abgebaut, was auf **begrenztes zukünftiges Produktionswachstum** hinweist. Dennoch bleibt die Stahlindustrie in Europa relevant, vor allem aufgrund der Integration in lokale Wertschöpfungsketten.
- Der Markt der Metallerzeugung selbst ist in Österreich **regional stark konzentriert** und wird von wenigen Unternehmen dominiert. Diese punktuellen Einfüllpunkte stellen gute Rahmenbedingungen für den **Schienentransport** dar. Tatsächlich ist der Modal Split hier besonders günstig. Im internationalen Verkehr ist es in erster Linie die Binnenschifffahrt, die eine Konkurrenz beim Handel mit Donau-Anrainerstaaten darstellt.
- Die gesicherten Erzvorkommen am Erzberg, dem bedeutendsten heimischen Erzabbau, gehen zur Neige, womit die Eisenerzeugung vollständig auf Importe angewiesen wäre. Derzeit ist der Anteil der **Binnenschifffahrt** beim Erztransport beträchtlich. Eine

Verschlechterung der Schiffbarkeit der Donau im Zuge des Klimawandels könnte diese Transporte zunehmend auf die Schiene verlagern.

- Um einen möglichen Rückgang der Binnenschifffahrt in Österreich zu kompensieren sind **Investitionen in die Infrastruktur** (nicht zuletzt in rollendes Material) nötig, wie die derzeitige Situation in der Ukraine (dem Hauptlieferanten von Eisenerz) zeigt. Kriegsbedingt ist der Seetransport merklich eingeschränkt. Die Schiene kann aber nicht die Kapazitäten bieten, um den Wegfall des Seetransportes auch nur annähernd zu kompensieren.
- Andererseits wird die traditionelle Hochofenroute der Stahlerzeugung in Österreich und Europa aufgrund der **Dekarbonisierung** und des Klimawandels langfristig durch CO₂-neutrale Produktionstechnologien ersetzt werden, was auch den Transport von Rohstoffen beeinflussen wird, da sich der **Transport von Kohle und Koks** verringern wird. Die Umstellung auf Elektrolichtbogenverfahren könnte kurzfristig den Wegfall von möglicherweise 1-1,5 Mio. Tonnen an Steinkohle bedeuten, die derzeit noch überwiegend auf der Schiene importiert werden.
- Die **Dekarbonisierung** und Umstellung auf CO₂-neutrale Produktionsmethoden ist insgesamt die wahrscheinlich größte Herausforderung für die Stahlindustrie, wobei geopolitische Risiken und handelspolitische Verzerrungen im Vergleich dazu zurücktreten, da sie in der Regel kurzfristiger Natur sind. Die Auswirkungen der Dekarbonisierungspolitik und des technologischen Wandels sind größtenteils mittel- bis langfristig und führen zu erheblichen Veränderungen in der Stahlindustrie.
- Ergebnisse der WIFO-Industriebefragung 2023 deuten darauf hin, **dass wirtschaftspolitische Unsicherheit, Handelspolitik und Energiepreise** zu den bedeutendsten Risiken für die Stahlindustrie zählen, wobei eine besonders hohe Unsicherheit und Relevanz dieser Risikofaktoren gemeldet werden.
- Der Klimawandel erfordert tiefgreifende Veränderungen in Wirtschaftsstrukturen, die speziell die energieintensive Stahlindustrie betreffen, die für etwa 20% der industriellen **CO₂-Emissionen** in Europa verantwortlich ist. Die Transformation hin zu klimaneutralen Produktionsmethoden in der Stahlerzeugung wird hauptsächlich durch den Übergang vom energieintensiven Sauerstoffblasverfahren zum weniger energieintensiven Elektrostahlverfahren getrieben, wobei Wasserstoff-basierte Technologien langfristig als vielversprechendste Lösung angesehen werden.
- Die befragten Unternehmen identifizieren eine Vielzahl von **Hemmnissen für Investitionen** in energiesparende Maßnahmen, darunter regulatorische, technologische und finanzielle Hindernisse. Schwierigkeiten bei der Dekarbonisierung sind in der Eisen- und Stahlindustrie nicht nur ökonomisch begründet (Investitionskosten), sondern vor allem auch technologisch bedingt.
- Infolge der Dekarbonisierungsziele in Europa wird "**Carbon Leakage**" befürchtet, also die Verlagerung der Produktion aufgrund strengerer europäischer Auflagen in Länder mit lockereren Vorschriften. Um dieses Risiko zu mindern, implementiert die EU den Grenzausgleichsmechanismus (CBAM), der ab 2026 die CO₂-Preise sowohl für europäische als auch nicht-europäische Unternehmen angleichen soll.

- Der neue Tarif wird den von den europäischen Herstellern gezahlten CO₂-Preis widerspiegeln und schrittweise die kostenlosen CO₂-Zertifikate ersetzen, die die Stahlhersteller derzeit im Rahmen des EU-Emissionshandelssystem (ETS) erhalten. **CBAM** kann der europäischen Stahlindustrie allerdings nicht ausreichend helfen, ihre Wettbewerbsfähigkeit bei einer Umstellung auf wasserstoffbasierte Direktreduktion mit Elektrolichtbogenöfen zu garantieren, und schützt sie auch nur auf dem EU-Markt vor Carbon Leakage, wobei höhere Transportkosten jedoch Vorteile auf Heimatmärkten verschaffen könnten.
- Der Ukrainekrieg verursachte 2022 erhebliche **Energiepreisanstiege**, insbesondere für Gas, was erhebliche Auswirkungen auf die europäische Wirtschaft und besonders auf energieintensive Industrien hatte. Obwohl die Preise seitdem zurückgegangen sind, bleiben sie über den Vorkriegsniveaus und Unternehmen reagieren darauf, unter anderem durch Investitionen in Energieeffizienz, Prozessentwicklung und Forschung und Entwicklung, was insbesondere in der Eisen- und Stahlindustrie häufiger gemeldet wird.
- Höhere Energiepreise, ausgelöst durch geopolitische Schocks und die Dekarbonisierungspolitik, beeinflussen nachhaltig Unternehmensstrategien, indem sie zur **Reorganisation von Lieferketten** hin zu mehr Sourcing aus außereuropäischen Destinationen und verstärkter Auslagerung von Produktionsschritten führen. Zölle und andere nichttarifäre Handelshemmnisse, einschließlich des geplanten EU-Grenzausgleichsmechanismus, dienen als Schutzinstrumente für die Stahlindustrie.
- Der **Inflation Reduction Act** (IRA), verabschiedet in den USA im August 2022, zielt darauf ab, Inflation zu senken und die Dekarbonisierung durch Subventionen und steuerliche Anreize zu beschleunigen. Dies begünstigt Produktions- und Investitionsverlagerungen in die USA und verzerrt den internationalen Handel. Die EU reagiert mit eigenen Dekarbonisierungsprojekten und Anpassungen ihrer Beihilferegulungen. Die langfristigen Auswirkungen des IRA auf Produktions- und Transportkosten für Branchen wie die Stahlindustrie bleiben weitgehend unsicher.
- Die **Digitalisierung**, einschließlich Künstlicher Intelligenz (KI) und additiver Herstellungsverfahren, kann einen signifikanten Beitrag zu Wirtschaftswachstum und Nachhaltigkeit leisten. Das Potential der Digitalisierung liegt vor allem in der Ermöglichung inkrementeller technischer Verbesserungen bestehender Technologien, der Optimierung des Energieverbrauchs und in der Unterstützung der Technologiediffusion, wobei ihre Anwendung besonders attraktiv bei kapital- und energieintensiven Technologien ist, da hier die größten Einsparungspotentiale liegen.
- Vergleicht man die Nutzungsstatistiken der Informations- und Kommunikationstechnik zwischen Sachgüterbranchen hat der Einsatz neuer, digitaler Technologien in der österreichischen und europäischen Stahlindustrie bisher nur **begrenzte Verbreitung** gefunden. Allerdings werden KI-Technologien insbesondere in der Produktionsprozessoptimierung, Qualitätskontrolle und Energieeinsparpotentialverbesserung in Österreich im Vergleich zur EU in der Stahlindustrie überdurchschnittlich häufig verwendet.
- Große Herausforderungen für die Stahlindustrie ergeben sich aus dem **Wettbewerb mit alternativen Materialien**, die für additive Fertigungsverfahren besser geeignet sind und Gewichtsvorteile bieten, wobei diese Aspekte eher mit der Möglichkeit digitaler

Technologien zur Ermöglichung von Stahlalternativen als mit der Digitalisierung der Stahlindustrie selbst zu tun haben. Jedoch kann die Dekarbonisierungspolitik die Verwendung von Stahl begünstigen, besonders wenn digitale Technologien das Recycling von Stahl weiter verbessern.

- Die empirische Analyse auf Basis der **ÖBB-Infrastruktur AG-Mikrodaten** zeigt, dass Elemente wie Autobahnnähe und die Größe des nächsten Unternehmens, repräsentiert durch Faktoren wie den Produktionswert und die Anzahl der Beschäftigten, einen positiven Einfluss auf die Menge der umgeschlagenen Güter in einem Logistikpunkt haben.
- Überraschend ist der negative Effekt der **Distanz der Unternehmen zur Autobahn** auf das über die Schiene umgeschlagene Gütervolumen. Die Ergebnisse weisen auf eine Komplementarität zwischen Schienen- und Straßentransport hin.
- Bei (distanzgewichteter) Berücksichtigung aller Unternehmen im Sample, bleiben die **Ergebnisse weitgehend stabil**: Negative Koeffizienten der Distanz eines Unternehmens zur nächsten Autobahn und positive Koeffizienten der Produktionswerte sowie der Anzahl der Beschäftigten.
- Es besteht ein positiver Zusammenhang zwischen der (absoluten) Höhe der regionalen **Treibhausgasemissionen** und der abgesetzten Produktion in der Metallerzeugung und -bearbeitung. Gleichzeitig zeigt sich eine negative Korrelation zwischen den Emissionen und der durchschnittlichen Entfernung der Unternehmen in diesem Bereich zur nächsten Autobahn. Dies spiegelt wahrscheinlich die Tatsache wider, dass ländliche, landwirtschaftliche geprägte Gebiete tendenziell weniger Emissionen aufweisen.
- Der auf **Schiene**n transportierte, regionale Güterverkehr aus der Metallerzeugung und -bearbeitung weist keinen signifikanten statistischen Zusammenhang mit den absoluten Treibhausgasemissionen auf, korreliert aber negativ mit der Höhe der pro-Kopf Emissionen einer Region.

1. Einleitung

Im Laufe der Jahrhunderte durchlief die österreichische Stahlindustrie bedeutende Phasen der Veränderung und Anpassung. Österreich erlangte dank seiner privilegierten natürlichen Ressourcen – Erz, Holz und Wasserkraft – schon früh die Position des bedeutendsten Eisenproduzenten Europas. Indessen führte der technologische Wandel während der industriellen Revolution zu einem allmählichen Verlust dieser Rolle. Angesichts neuer Herausforderungen in Form von Kriegen, dem Ölpreisschock und der Globalisierung gelang es der Branche jedoch, sich neu zu erfinden. Vor allem ab den 1990er Jahren trugen eine erfolgreiche Privatisierungswelle und Innovationen dazu bei, die Position der österreichischen Eisen- und Stahlindustrie in hochwertigen Marktsegmenten zu stärken.

Im Gegensatz zu vielen anderen Branchen, zeigte die Metallverarbeitung und -produktion in Österreich in den letzten Jahrzehnten eine bemerkenswert stabile Entwicklung. Nicht nur konnte sie Stand halten, sondern die Beschäftigung in diesen Sektoren hat sogar leicht zugenommen. Österreich ist heute der fünftgrößte Rohstahlerzeuger Europas. Trotz umfangreicher Veränderungen und Herausforderungen in der globalen Stahllandschaft, wie beispielsweise der wachsenden Konkurrenz aus Asien, oder negativer Nachfragetendenzen, bleibt die Branche ein zentraler Pfeiler der österreichischen Wirtschaft.

Der österreichische Sektor der Eisen- und Stahlindustrie weist eine hohe Affinität zum Gütertransport auf der Schiene auf. Aufgrund der Größe und Beschaffenheit der zu transportierenden Input- und Outputgüter der Eisen- und Stahlindustrie, ist diese ein wichtiger Kunde für Transportdienstleistungen über die Schienen. Sowohl die Herstellung als auch die Verteilung von Produkten vertrauen in hohem Maße auf die Schieneninfrastruktur. Sowohl die wesentlichen Vorleistungsgüter, wie etwa Erze und Kohle, als auch die Erzeugnisse weisen eine relativ hohe Bahn-Affinität auf. Das bedeutet, dass alle Phasen des Produktionsprozesses – von der Beschaffung der Rohstoffe bis zur Auslieferung der fertigen Produkte – stark auf den Schienentransport angewiesen sind. Dies wird durch das regulatorische Umfeld begünstigt, das den Gütertransport auf der Schiene begünstigt und die Effizienz und Umweltverträglichkeit der gesamten Industrie zu verbessern versucht.

Darüber hinaus waren in Anbetracht des kriegerischen Einmarsches Russlands in die Ukraine spürbare Auswirkungen auf diesen Industriezweig und folglich auf den Gütertransport in Österreich zu erwarten. Auch geopolitische Unsicherheiten aufgrund der Handelsstreitigkeiten zwischen den USA und China bergen das Potential Effekte auf die Handelsrouten und Transportmodi in der österreichischen Eisen- und Stahlindustrie zu haben. Die geopolitischen Spannungen könnten die Versorgungsketten unterbrechen und sowohl die Produktion als auch den Transport von Waren erheblich beeinträchtigen. Es ist daher wichtig, diese potenziellen Herausforderungen frühzeitig zu erkennen und geeignete Anpassungsstrategien zu entwickeln.

Ziel dieser Studie ist es, die Entwicklung, Herausforderungen und Chancen der österreichischen Eisen- und Stahlindustrie und ihre Beziehung zum Schienenverkehr zu verstehen und zu analysieren. Darüber hinaus werden mögliche Auswirkungen geopolitischer Unsicherheiten und Ereignisse, wie die russische Invasion in der Ukraine und die Handelsstreitigkeiten zwischen den USA und China, auf Handelsrouten, Transportmethoden und Lieferketten in dieser Industrie

untersucht. Verschiedene Anpassungsstrategien der Unternehmen zur Verbesserung der Widerstandsfähigkeit und Effizienz der Industrie werden erörtert, insbesondere hinsichtlich ihrer möglichen Auswirkungen auf den Schienengüterverkehr.

Abbildung 1 gibt einen Überblick über die Gliederung der Studie, die zentralen Fragen, die in den einzelnen Abschnitten bearbeitet werden und die Datenquellen, auf die zurückgegriffen werden. Die Studie ist wie folgt strukturiert:

Kapitel 2 gibt einen Überblick über die Entwicklung und Eigenarten der Eisen- und Stahlindustrie in Österreich, sowie eine kurze Zusammenfassung der zentralen Charakteristika des Weltmarktes. Dabei werden auch die vor- und nachgelagerten Wertschöpfungsketten beschrieben und auf Basis der Input-Output Statistiken mit Zahlen untermauert. Abschließend wird der Modal-Split der österreichischen Eisen- und Stahlindustrie näher beleuchtet und mögliche Risikofaktoren für den Schienengüterverkehr angeführt.

Im darauffolgenden Kapitel werden rezente Entwicklungen, die Veränderungen der Wettbewerbsposition der Eisen- und Stahlindustrie in Folge der Energiepreisanstiege in Folge des Ukrainekriegs, sowie einen Überblick über die wichtigsten Faktoren der wirtschaftspolitischen Unsicherheit und ihrer Auswirkungen diskutiert. Besonderes Augenmerk wird auf die Herausforderungen durch Klimawandel und Dekarbonisierung, durch geopolitische Risiken und Handelspolitik sowie der Digitalisierung gelegt. Die Auswirkungen dieser Faktoren werden näher diskutiert und ihre Rückkoppelungen auf den Standort Österreich herausgearbeitet.

Abschließend wird in Kapitel 0 eine empirische Analyse durchgeführt, um potenzielle Faktoren zu identifizieren, die den Schienengütertransport in der Metallerzeugungs- und -verarbeitungsindustrie in Österreich beeinflussen könnten. Die Untersuchung basiert auf Daten von den Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB), genauer gesagt, auf der Menge der an verschiedenen österreichischen Verladestellen verladene Güter. Zu den potenziellen Einflussfaktoren zählen sowohl unternehmensspezifische als auch regionale Merkmale.

Abbildung 1: **Gliederung**



2. Die Eisen- und Stahlindustrie in Österreich

Die Eisen- und Stahlerzeugung in Österreich kann auf eine lange Geschichte zurückblicken. Bereits im 7. Jh. v. Chr. wurde Eisenerz auf österreichischem Gebiet abgebaut und zu Eisen weiterverarbeitet. Im Mittelalter entwickelte sich der Erzberg in der heutigen Steiermark aufgrund seines üppigen Erzvorkommens zum Bergbauzentrum (Bender & Pindur, 2004). Mitte des 19. Jh., in Zeiten der Kriegswirtschaft, wurde Linz aufgrund der Nähe zur Donau und des hohen Arbeitskräftepotenzials zum neuen Produktionszentrum bestimmt (Gebhardt, 1990). Nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges gingen Eisenerz- und Kohlebergbau sowie der Betrieb von Eisenhütten in staatliche Hand über. Konsolidierung und Reprivatisierung begann etwa ab den neunziger Jahren (Bender & Pindur, 2004).

2.1 Die Entwicklung der Eisen- und Stahlindustrie in Österreich – ein kurzer historischer Abriss

Österreich war Mitte des 16. Jahrhunderts mit einer Jahresproduktion von Eisen von etwa 20.000 Tonnen der wichtigste europäische Eisenproduzent. Die Standortfaktoren Erz, Holz und Wasserkraft waren die Grundlage des Wettbewerbsvorteils der österreichischen Eisenerzeugung bis weit ins 19. Jahrhundert hinein. Kennzeichnend war damals die große Zahl der Betriebe und die dezentrale Standortstruktur, die sich um den steirischen Erzberg und die Kärntner Erzvorkommen bildeten.

In den folgenden Jahrhunderten büßte Österreich seine Vormachtstellung bei der Eisenproduktion ein und fiel im Vergleich zu anderen Ländern in den nächsten Jahrhunderten zurück. 1880 produzierte Österreich trotz Verfünffachung der Produktion nur mehr rund 1,5% der europäischen Eisenproduktion (Chaloupek et al., 2003). Die Entwicklung der österreichischen Eisenindustrie wurde durch die Übernutzung der Holzversorgung und die kleinteilige Unternehmensstruktur verhindert. Diese Vorteile der kleinteiligen Organisation der Produktion gingen mit der Industrialisierung verloren. Die technologischen Veränderungen hin zur Massenproduktion von Eisen, unter Einsatz von Kohle, begünstigten Großbetriebe, welche die hohen Investitionskosten tragen konnten. Dementsprechend wurden die neuen technologischen Verfahren in Österreich erst spät übernommen. 1840 entfielen auf Österreich nur mehr rund 2,5% der europäischen Eisenproduktion (Butschek, 2011). Der Verlust der Wettbewerbsfähigkeit führte zu einem Konzentrations- und Modernisierungsprozess in der steirischen und Kärntner Eisenindustrie. 1881 wurde aus vielen steirischen und Kärntner Unternehmen die Alpine Montangesellschaft gebildet. Während die steirische Eisenindustrie davon profitierte, wurde die Kärntner Eisenindustrie sukzessive stillgelegt. Die Eisenverarbeitung hingegen entwickelte sich dynamisch, die Industrialisierung ermöglichte neue Produkte und neue Unternehmen (Butschek, 2011). Die eisenverarbeitende Maschinenindustrie gewann zunehmend an Bedeutung und die Eisenbahn ermöglichte die Errichtung moderner Großanlagen (z.B. in Donawitz).

Der Erste Weltkrieg führte zu einer Zäsur. Der Zusammenbruch des k.u.k.-Reiches führte dazu, dass die Eisenindustrie von den Kohlerevieren der Tschechoslowakei abgeschnitten war und auch von den Absatzmärkten (Jetschgo et al., 2003). Aus innerstaatlichen Warenströmen wurden solche des Außenhandels, die in der Nachkriegszeit gedämpft blieben, auch weil die

neuen Staaten versuchten die nationale Eisenindustrie auszubauen (Butschek, 2011). In der Folge stieg die Produktion wieder an und konnte infolge des Wirtschaftsaufschwungs in den 1920ern auch expandieren. Die Weltwirtschaftskrise bremste diese Entwicklung. Österreich wurde davon stärker betroffen, weil Handelshemmnisse die wichtigen Exporte deutlich erschwerten und der Zusammenbruch des österreichischen Bankensystems die Krise in Österreich deutlich verschärfte. Österreich konnte sich lange nicht aus der Stagnation lösen. Im Zuge des „Anschluss“ an Deutschland 1938 wurde die österreichische Eisen- und Stahlindustrie in die deutsche Rüstungspläne integriert und in Linz mit dem Bau eines Werkes begonnen, welches 1941 in Produktion ging. 1944 waren mehr als doppelt so viele Arbeitskräfte in der österreichischen Eisen- und Stahlindustrie beschäftigt als 1939 (Jetschgo et al., 2003).

Nach dem Zweiten Weltkrieg wurden die in deutschen Besitz befindlichen Eisen- und Stahlunternehmen verstaatlicht und ab 1947 wurde die Produktion planmäßig aufgebaut. 1955 wurde in Österreich viermal so viel Roheisen erzeugt wie 1937. Die Eisen- und Stahlindustrie war ein Symbol des Wiederaufbaus. Die Standorte der österreichischen Stahlindustrie in der Nachkriegszeit blieben Linz und die Kernregionen in der Steiermark. Im Zuge der Ölpreisschocks 1970 geriet die österreichische Eisen- und Stahlindustrie in eine länger anhaltende Krise, der insbesondere die verstaatlichten Unternehmen nicht gewachsen waren. Umstrukturierungen waren die Folge und ab 1993 Teilprivatisierungen. Längerfristig führten Umstrukturierungen und die Privatisierung zu neuen Marktpositionierungen der Unternehmen, insbesondere seit Mitte der 90er-Jahre, auch zu wesentlichen Innovationsschüben, welche die Positionierung der Unternehmen in Marktsegmenten hochwertiger Stahlerzeugnisse ermöglichte.

2.2 Aktuelle Entwicklungen

Heute lässt sich die Eisen- und Stahlerzeugung unter den Schlagwörtern hoch-technologisierte Produktionsverfahren und Innovationstätigkeit fassen. Der Weg hierhin war aber geprägt von Gegensätzlichem, nämlich „Deindustrialisierung“ und „strukturschwache Regionen“ (Lichtenberger, 1997).

Bis auf die Konzentrationsgebiete in Nieder- und Oberösterreich hatten Produktionsstandorte wie Donawitz lange mit Standortnachteilen zu kämpfen. Der erhebliche Mehraufwand beim Transport der produzierten Güter aus der Peripherie setzte eine sehr gute Verkehrsanbindung der einzelnen Produktionsstandorte voraus. Durch den Niedergang des Erzbergbaus fiel der wichtige Standort- und Wettbewerbsvorteil der niedrigen Transportkosten weg. Donawitz musste mit beträchtlichen Einbußen kämpfen. Der Antransport von Eisen aus Übersee war aufwändig und teuer, war jedoch immer noch billiger als die Verarbeitung steirischer Erze (Bender & Pindur, 2004). Im Zuge der Deindustrialisierung sahen sich die durch die Eisen- und Stahlproduktion entstandenen Industriegemeinden mit einer Vielzahl von Problemen konfrontiert, insbesondere mit einem Überangebot an Arbeitssuchenden und einer daraus resultierenden hohen Arbeitslosigkeit.

Die zunehmende Umstellung auf die Veredelung von Rohprodukten und die Weiterverarbeitung in höher-technologisierten Produktionsverfahren bot einen Weg aus der Krise. Heute gehört die Stahlbranche in Österreich zu den forschungsintensiven Industriezweigen, während sie in der Vergangenheit als arbeitsintensiver Industriezweig galt.

Box 1: Voestalpine AG

Wie kein anderes Unternehmen spiegeln die Vereinigten Österreichischen Eisen- und Stahlwerke AG den Werdegang der gesamten Österreichischen Eisen- und Stahlproduktion des 20. Jh. wider. Mit der Entwicklung des LD-Verfahrens und der Inbetriebnahme des ersten LD-Werkes 1953 revolutionierte die „VOEST AG“ die Stahlherstellung.¹ Bis vor zehn Jahren wurden weltweit über 60% des Stahls mit diesem Verfahren hergestellt, 2019 waren es 70% (International Energy Agency, 2022; voestalpine, 2012). Direkt nach Ende des Krieges boomte der Handel mit Blechen, wie Zahlen aus dieser Zeit zeigen. 1956 gehörten die Erzeugnisse der Eisen- und Stahlindustrie zu den wichtigsten Trägern der österreichischen Exportwirtschaft. Schon damals waren neben Blechen, Edelstahl in Stäben international am meisten gefragt (Wifo, 1957).

Mit Einsetzen der Stahlkrise in den Siebziger reduzierte der in Linz ansässige Betrieb seinen Personenstand. Ende 1993 wird die VOEST-ALPINE STAHL AG als Management-Holding in die drei Divisionen Flachprodukte, Langprodukte und Handel mit Leit- und Tochtergesellschaften sowie Beteiligungen gegliedert. Der Beginn der Privatisierung der VOEST-ALPINE STAHL AG erfolgt im Oktober 1995 durch den Verkauf von 31,7 Prozent der Staatsanteile über die Börse. Auch die Böhler-Uddeholm AG geht in diesem Jahr an die Börse. Im September 2003 erfolgte die vollständige Privatisierung der voestalpine über die Börse. Ab 2008 ist sie vollständige Eigentümerin der Böhler-Uddeholm AG. Im Geschäftsjahr 2017/18 verzeichnet die voestalpine den höchsten Umsatz und das beste Ergebnis seit Beginn ihrer Privatisierung 1995. 2017 halten durch das Mitarbeiterbeteiligungsmodell die Mitarbeiter:innen rund 14,5% der Anteile der voestalpine AG (voestalpine, 2023b).

Die etappenweise Privatisierung und die neue Ausrichtung der Produktion weg von der massenhaften Stahlerzeugung hin zur Veredelung des selbst produzierten Stahls bereitete den Weg zu dem heutigen Geschäftsmodell. 2008 baute die voestalpine AG ihre führende Position im wachstumsträchtigen Bahnmarkt mit Weichenaufträgen für Hochgeschwindigkeitsstrecken in Europa und Asien weiter aus. 2016 eröffnete am Standort Düsseldorf ein neues Forschungs- und Entwicklungszentrum für den 3D-Druck von Metallteilen.

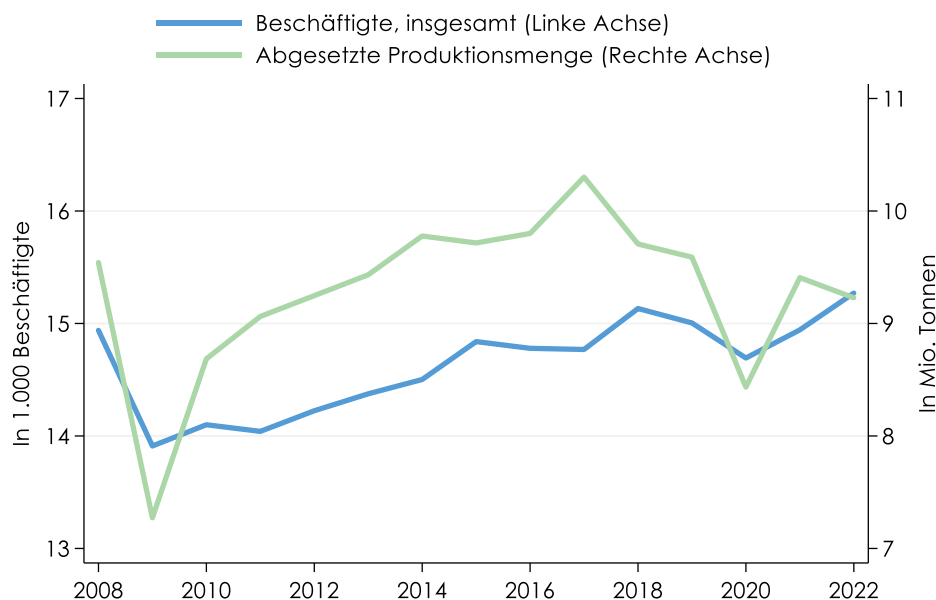
¹ Linzer-Düsenstahl-“ später „Linz-Donawitz-“Verfahren; auf Englisch unter „Blast Furnace & Basic Oxygen Furnace“ (BF/BOF)

In den letzten Jahren wurde vermehrt Augenmerk auf die Umstellung auf klimafreundlichere Produktionsprozesse gelegt. Mit dem teilweisen Umstieg von der Hochofen- auf die Elektrostahlroute ist geplant ab 2027 die CO₂-Emissionen um bis zu 30% zu reduzieren. Der Übergang von der kohlebasierten Hochofen- auf eine grünstrombasierte Elektrostahlroute erfolgt schrittweise. Ab dem Jahr 2030 ist zudem geplant, je einen Hochofen in Linz und Donawitz abzulösen. 2019 ging zudem die derzeit weltgrößte Pilotanlage zur CO₂-freien Herstellung von grünem Wasserstoff in der Stahlindustrie in Betrieb. Insgesamt lagen die Forschungsaufwendungen der voestalpine im Geschäftsjahr 2022/23 bei rund 191 Mio. EUR, wobei Schwerpunkte in den Bereichen Digitalisierung von Produktionsprozessen und „smarte“ Produkte, Nachhaltigkeit und CO₂-neutrale Stahlproduktion und innovative Konzepte für die Mobilitäts- und Energieindustrie gesetzt wurden (voestalpine, 2023a).

2.3 Die Roheisen- und Stahlerzeugung in Österreich heute

In Österreich wurden im Jahr 2022 7,5 Mio. Tonnen Rohstahl erzeugt, das entspricht in etwa 5,5% der europäischen Rohstahlproduktion (Eurofer, 2023). Somit ist Österreich der fünftgrößte Erzeuger in der EU nach Deutschland (27%), Italien (15,8%), Frankreich (9%) und Spanien (8,4%). Die Zahl der Beschäftigten in der Roheisen- und Stahlerzeugung (NACE C241) lag im Jahr 2022 bei rund 15.000 verteilt auf 17 Unternehmen (vgl. Leistungs- und Strukturstatistik 2022, STAT.AT). Während die Anzahl der Beschäftigten zwischen den Jahren 2008 und 2022 relativ konstant geblieben ist, variiert die abgesetzte Produktionsmenge in der Roheisen- und Stahlerzeugung in diesem Zeitraum wesentlich stärker (zwischen 7,3 und 10,3 Mio. Tonnen) (Abbildung 2).

Abbildung 2: **Beschäftigte und abgesetzte Produktionsmenge der Roheisen- und Stahlerzeugung**



Quelle: STAT.AT, WIFO.

Dies ist ein Abbild der zyklischen Marktentwicklung der Stahlbranche, aber auch ihrer strukturellen Herausforderungen: Überkapazität am Weltmarkt, hohe Marktkonzentration, Rohstoffversorgung, die notwendige Anpassung von Energie- und Nachfragepolitik, konjunkturelles Umfeld und geopolitische Risiken (Luchetta et al., 2013).

China bleibt als weltweit größter Eisenerz- und Rohstahlerzeuger mit relativ günstigen Produktionskosten der größte Konkurrent der europäischen Produzenten. Die österreichische Stahlindustrie kann im internationalen Vergleich die Kostennachteile mit effizienten Produktionsverfahren und hochspezialisierten und hochqualitativen Produkten zum Großteil kompensieren.

Laut Statistik Austria zählen zu den Hauptexportprodukten der Eisen- und Stahlindustrie in Österreich vor allem Bleche, Platten, Bänder aus Stahl, Eisen- und Stahlschrott, Stahlstäbe, Walzdrähte und Weichen. Die Zielmärkte liegen meist in der EU: Deutschland, Slowakei, Italien, Tschechien, Polen. Importiert werden neben den Rohstoffen Erz und Kohle auch Halbfertig- und Fertigerzeugnisse sowie Schrott.

Neue technische Verfahren zur treibhausgasarmen Erzeugung von Stahl wurden angestoßen. Zu nennen wäre etwa der Voestalpine-Standort in Kapfenberg. Hier wird die Errichtung des weltweit modernsten Edelstahlwerks mit weitgehend digitalisierten und automatisierten Produktionsabläufen vorbereitet (Bundesministerium für Finanzen, 2022). Als Erfolgsmodell lässt sich auch die Erzeugung von Eisenbahnschienen, Weichen und Spezialfahrzeugen für den Schienenverkehr hervorheben. Der Voestalpine ist es beispielsweise gelungen, durch Zusammenschluss in Clusterstrukturen, Weltmarktführer in der Herstellung von Weichen zu werden (Zottler,

2023). Aktuell wird daran gearbeitet, die erzbasierte Hochofenproduktion in Donawitz schrittweise auf die Produktion via Elektrolichtbogenofen umzustellen (voestalpine, 2023a).

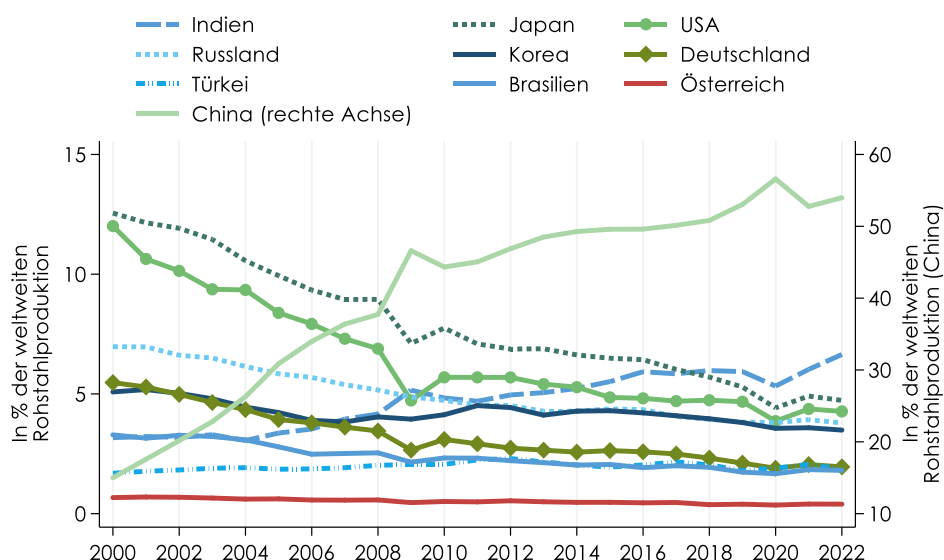
2.4 Die Entwicklung der Roheisen- und Stahlerzeugung weltweit

2.4.1 Stahlproduktion weltweit

Die Stahlunternehmen in Österreich stehen im intensiven Wettbewerb mit anderen Stahlproduzenten weltweit. Aktuelle Zahlen der World Steel Association (2023) zur Stahlproduktion weltweit zeigen, dass seit 2000 vor allem die Länder in Asien ihre Produktionskapazitäten massiv ausgebaut haben.

Abbildung 3 zeigt die prozentuale Entwicklung der Stahlproduktion der größten Weltproduzenten. Wichtige außereuropäische Konkurrenten der österreichischen Stahlunternehmen sind in China, Indien, und Japan beheimatet.

Abbildung 3: **Entwicklung der Stahlproduktion der größten Produzenten weltweit**



Quelle: World Steel Association (2023), WIFO. Die Reihenfolge der Länder auf der linken Achse wurde absteigend nach ihrem Anteil an der weltweiten Stahlproduktion im Jahr 2022 gewählt.

So entfielen im Jahr 2000 rund 0,7% der weltweiten Stahlproduktion auf die Stahlunternehmen in Österreich. Im Jahr 2022 lag dieser Anteil bei rund 0,4% (vgl. World Steel Association, 2023). Vor allem in China und Indien wurden die Produktionskapazitäten in den letzten 20 Jahren deutlich ausgeweitet. So stieg der Anteil der Produktion von Stahl in China von 15% im Jahr 2000 auf 53,9% im Jahr 2022. Auch Indien hat seinen Anteil mit 3,2% im Jahr 2000 auf 6,5% im Jahr 2022 verdoppelt. Anteile verloren haben dagegen vor allem Japan und die USA. War Japan im Jahr 2000 mit rund 13% der weltweiten Stahlproduktion der zweitgrößte Produzent, bleibt der Anteil mit 4,7% heute deutlich hinter den chinesischen Produktionsmengen zurück.

Auch die USA haben deutlich an Weltmarktanteilen verloren. Ihr Anteil fiel von 12% im Jahr 2000 auf aktuell rund 4,3% im Jahr 2022. Der starke Rückgang der Weltmarktanteile der USA und Japan basiert dabei vor allem auf der starken Ausweitung der Stahlproduktion in China. In absoluten Zahlen hat sich die Produktionsmenge in Japan und den USA nur geringfügig reduziert (Fritsch et al., 2022).

Im vorangegangenen Jahr 2022 kam es zu Kapazitätswachstum vor allem im Nahen Osten, wo die Ausbringungsmenge um zusätzliche 8,6 Mio. Tonnen stieg (OECD, 2022a). Die Daten der OECD deuten darauf hin, dass der Anteil der weltweiten Stahlproduktion an der Gesamtkapazität, von 78,5% auf 77,1% gesunken sein könnte. Diese Zahlen verdeutlichen die anhaltende Diskrepanz zwischen Kapazität und Produktion und das vorherrschende Problem der Überkapazitäten. Auch für Indonesien, Malaysia und Vietnam wird erwartet, dass sie ihre Kapazität ausbauen und eine zunehmend wichtige Rolle als Stahlproduzenten und -exporteure einnehmen werden. Die Stahlproduktion in der Ukraine hingegen ist durch den anhaltenden Krieg stark beeinträchtigt, der Bau neuer Anlagen wird verschoben, die Gesamtproduktion ging im ersten Halbjahr 2022 um 50% zurück, was auf Rohstoffknappheit und unterbrochene Lieferketten zurückzuführen ist (OECD, 2022a).

2.4.2 Stahlkonsum weltweit

In Indien wird erwartet, dass die Stahlnachfrage 2023 um 6,7% steigt. Trotz positiver Nachfrageprognosen sind jedoch 2022 die indischen Export- und Importzahlen um 18,2% bzw. 7,2% zurückgegangen, was damit in Verbindung gebracht wird, dass 2022 die Ausfuhr von Fertig- und Halbfertigprodukten beschränkt wurde, um die Preise zu stabilisieren und die inländische Versorgung zu garantieren. In China wird die Stahlnachfrage 2023, wovon etwa 60% auf das Baugewerbe fällt, voraussichtlich leicht zurückgehen (um 1,1%). Dies ist auf die krisenhaften Entwicklungen im Baugewerbe zurückzuführen. Systematische Überbewertung des Immobilienvermögens in den vergangenen Jahren haben zu hoher Verschuldung und Konkursen geführt, das Ergebnis sind rückläufige Investitionen und sinkende Preise im Immobilien- und Infrastruktursektor (OECD, 2022a, 2023).

Die wichtigsten Treiber für Investitionsprojekte in der MEA-Region in den nächsten Jahren sind die wachsende Bevölkerungszahl, die Energiewende und die Erneuerung alter Infrastruktur. Sowohl Saudi-Arabien als auch die Vereinigten Arabischen Emirate planen große Investitionsprojekte in den Bereichen Energieversorgung, Transport, und Dekarbonisierung. In Ägypten und Südafrika werden zwischen 2023 und 2026 für das Baugewerbe Wachstumsraten zwischen 3,1% und 10% erwartet. Marokko ist mit einer Produktionskapazität von 700.000 Fahrzeugen pro Jahr führend in der afrikanischen Automobilindustrie.

Für Nord-, Mittel-, und Südamerika ist für 2023 eine stagnierende bzw. rückläufige Nachfrage zu erwarten. In Europa sind die Exportzahlen rückläufig, während die Importzahlen steigen. Die Zulassung von PKWs verzeichnet in der ersten Hälfte des Jahres 2022 Rückgänge in Höhe von 14% (OECD, 2022a).

2.4.3 Internationale Verflechtung

Die geopolitischen Verwerfungen der letzten Jahre haben signifikanten Einfluss auf eine Branche, die seit vielen Jahren strukturellem Wandel unterworfen ist. Während die Produktion aus Asien seit Mitte der 2000er stetig wächst, ist die Produktion in den GUS-Staaten (die „Gemeinschaft Unabhängiger Staaten“ umfasst die meisten Nachfolgestaaten der Sowjetunion; Ukraine bis 2018) zuletzt durch den russischen Angriff auf die Ukraine und die damit einhergehenden Handelspolitiken der Weltgemeinschaft eingebrochen (siehe Kapitel 2.4.1). Die GUS-Staaten waren lange Netto-Exporteure von Halbfertig- und Fertigerzeugnissen aus Stahl (Luchetta et al., 2013; OECD, 2022b). Sanktionen gegen Russland und bestimmte dort ansässige Stahlproduzenten, sowie die Zerstörung von Produktionsstätten in der Ukraine haben zu Engpässen bei der Lieferung von Halbfertig- und Fertigerzeugnissen und Rohstoffen, die traditionell aus dieser Region geliefert wurden, geführt. Die multilaterale Handelsgemeinschaft reagierte unterschiedlich, einerseits wurden Zölle gesenkt z.B. zwischen den USA/UK oder USA/Japan. Andererseits wurden Zölle erhöht, um das Binnenangebot zu stabilisieren und die Inflation einzudämmen, wie z.B. Indien, China, Russland und Saudi-Arabien.

Die anhaltenden geopolitischen Risiken könnten die strukturellen Herausforderungen in der Branche verstärken. In Folge des anhaltenden Konfliktes kommt es zu einer Neuorganisation von Handelsrouten. Länder greifen auf neue Partner zurück, worauf mit weiteren Maßnahmen wie Ausfuhrzölle auf bestimmte Stahlerzeugnisse reagiert wird. Falls Länder auf die drohenden Schließungen aufgrund eines Nachfragerückgangs mit weiteren Subventionen reagieren, wird das Leidthema Überkapazität am Weltmarkt abermals aktuell (OECD, 2022b).

2.4.4 Substituierbarkeit

Im Allgemeinen müssen Stahlgüter globalen Standards entsprechen, daher sind Erzeugnisse von unterschiedlichen stahlerzeugenden und -verarbeitenden Unternehmen nahezu perfekt substituierbar. Dies gilt allerdings nicht für hochspezialisierte Stahlerzeugnisse. Auch konnten Qualitätsunterschiede zwischen der Hochofenproduktion und jene im Elektrolichtbogenofen lange Zeit nicht überbrückt werden (siehe Kapitel 2.5.1).

Erzeugnisse aus anderen Industriezweigen wie Aluminium, Glasfaser oder andere Kunststoffe ersetzen zunehmend Stahl in der Herstellung von Fahrzeugen und Haushaltsgeräten. Insofern ist langfristige Substitution durch andere Materialien möglich, kurzfristig jedoch schwierig aufgrund der hohen Umstellungskosten in der gesamten Wertschöpfungskette.

Auf nachfrageseitige Impulse nach Stahl mit höherer Umweltverträglichkeit reagiert die Stahlindustrie mit erhöhten Innovationsausgaben, was wiederum die Gefahr der Substituierbarkeit dämpft (Luchetta et al., 2013).

2.5 Die wichtigsten vor- und nachgelagerten Industriezweige der Eisen- und Stahlindustrie in Österreich

2.5.1 Produktionstechnologien

Stahl wird hauptsächlich mittels zweier Verfahren erzeugt. Bei der traditionellen Herstellung im Hochofen (Blast Furnace & Basic Oxygen Furnace – BF/BOF) wird aus Eisenerz unter

Zuhilfenahme von Koks als Reduktionsmittel erst Roheisen und im weiteren Schritt Rohstahl hergestellt. Bei der Erzeugung im Elektrolichtbogenofen (Electric Arc Furnace – EAF) wird Stahl- und Eisenschrott mittels Zufuhr von Energie per Direktreduktion bei 3.500°C geschmolzen und zu Rohstahl weiterverarbeitet. Als Energieträger wird elektrischer Strom verwendet (Eurofer, 2023).

Rund 13 Mio. Tonnen Kapazität in Österreich 2020 standen über die Hochofenroute zur Verfügung, rund 0,8 Mio. Tonnen über den Weg des Elektrolichtbogenofens. Von den 2021 in Österreich produzierten 8 Mio. Tonnen Rohstahl wurden 91,3% im Hochofen und 8,7% im Elektrolichtbogenofen hergestellt (World Steel Association, 2022). Da Stahl vollständig wiederverwertbar ist, stellt Stahlschrott eine wichtige, nachhaltige Ressource bei der Stahlerzeugung in Österreich dar.

2.5.2 Produkte

Neben Rohstahl, das nach Qualitätsgrad in unlegiertem Stahl mit hohem Kohlenstoffgehalt, legiertem Stahl mit hohem Kohlenstoffgehalt und rostfreiem Stahl unterteilt wird, werden in Österreich Fertigerzeugnisse aus warmgewalztem Stahl hergestellt. Diese werden unterteilt in Flacherzeugnisse (z.B. Quattoblech, warmgewalztes Breitband) und Langerzeugnisse (z.B. Walzdraht, Stäbe). Warmgewalzte Breitbänder gehen auch als Vorleistungsprodukt in sogenannte kaltgewalzte Flacherzeugnisse ein, wobei hier zwischen feuerverzinkt und organisch beschichtet unterschieden wird (Eurofer, 2022).

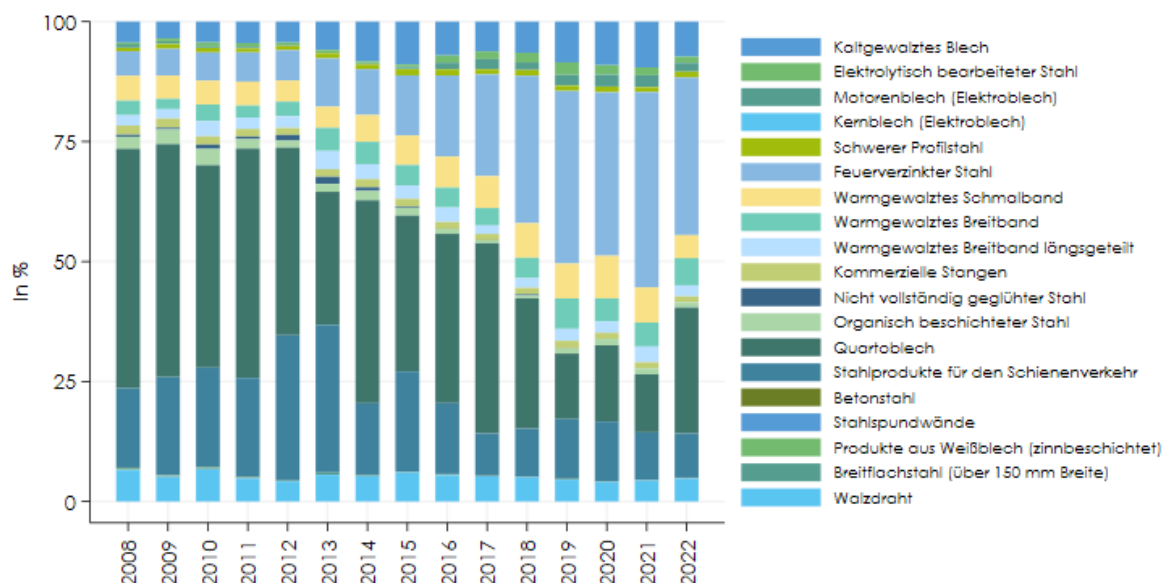
42% der Umsatzerlöse 2021 an der Metallerzeugung und -bearbeitung wurde mit der Roheisen- und Stahlerzeugung erwirtschaftet, der Rest entfällt auf Stahlrohre, sonstige Produkte aus Eisen und Stahl und Gießereierzeugnisse (LSE, 2021).

Laut Außenhandelsstatistik der Statistik Austria (ITGS – International Trade in Goods Statistics) werden nach wie vor am häufigsten Bleche, Platten und Bänder exportiert; an zweiter Stelle Eisen- und Stahlschrott, und an dritter Stelle gewalzte Halbfertigerzeugnisse sowie Stäbe und Schienen/Weichen. Die zunehmende Ausfuhr von Schrott zeugt von der klaren europaweiten Umstellung auf Lichtbogenöfen, um hochlegierte Qualitäts- und Edelstähle herzustellen. Nicht zuletzt planen auch zentrale Produktionsstandorte in Österreich den schrittweisen Austausch von kohlebasierten Hochofen gegen Lichtbogenöfen (voestalpine, 2023a).

Abbildung 4 zeigt die Veränderungen in der Zusammensetzung des österreichischen Exportportfolios im Zeitverlauf (2008-2022) mit Daten der European Steel Association (Eurofer). Während Walzdrähte, warmgewalzte Langerzeugnisse (z.B. warmgewalztes Schmalband) sowie kaltgewalzte Flacherzeugnisse (z.B. kaltgewalztes Blech) beständige Exportprodukte sind, ist der Anteil der feuerverzinkten Erzeugnisse an der jährlich exportierten Menge im Zeitverlauf gestiegen. Bleche (z.B. Quattobleche) waren traditionell ebenfalls immer besonders gefragt, doch ihr Anteil am gesamten Exportportfolio Österreichs ging in den letzten Jahren etwas zurück². Außerdem machen laut Eurofer Stahlprodukte für den Schienenverkehr einen beträchtlichen Anteil am österreichischen Exportmix aus.

² Im Jahr 2022 ist der Anteil der Quattobleche allerdings wieder gestiegen. Es bleibt abzuwarten, ob sich diese Trendwende auch in den kommenden Jahren durchsetzen wird.

Abbildung 4: Exportportfolio Österreichs (2008-2022)



Quelle: European Steel Association, WIFO.

2.5.3 Die Wertschöpfungskette Stahl – Upstream

Um Stahl herzustellen, braucht es Eisenerz, Kalk und Ferrolegierungen³. Als Energieträger und Reduktionsmittel werden Kohle, Strom, Erdgas und Öl herangezogen (World Steel Association, 2021). Österreichs Bedarf an diesen Rohstoffen wird fast vollständig durch Importe gedeckt: die entsprechenden Zahlen aus der Input-Output Tabelle ergeben eine Importquote von 97% (vgl. Übersicht 4 in Kapitel 2.6). Zudem ist der Bezug von Erzen, Kohle und Stahlschrott über wenige Firmen aus wenigen Ländern organisiert. Diese Oligopolstruktur in der besonders vorleistungensintensiven vorgelagerten Wertschöpfungskette, führt dazu, dass die Stahlbranche gegenüber den Marktbedingungen des globalen Bergbaus erhöhte Exponiertheit aufweist. Besonders relevant sind daher die wirtschaftlichen Bedingungen in den Abbaugebieten, die mehrheitlich in Schwellen- und Entwicklungsländern liegen (Luchetta et al., 2013). Der insgesamt steigende Bedarf an mineralischen Rohstoffen im Zusammenhang mit der Energiewende⁴ bedeutet aber, dass der heimische Bergbau in Zukunft weiterhin eine wichtige Rolle spielen wird (Bundesministerium für Finanzen, 2022).

Kohle

Die Kohlegewinnung in Österreich wurde im Jahr 2006 beendet. Die daraus resultierende hundertprozentige Importabhängigkeit wurde seitdem vorwiegend durch Kohlelieferungen (Steinkohle bzw. Steinkohlekoks) aus Polen, Russland, den USA, Tschechien und Deutschland

³ Ferrolegierungen sind Eisenlegierungen, die einen hohen Anteil an einem oder mehreren anderen Elementen als Kohlenstoff haben, wie etwa Chrom, Mangan oder Aluminium.

⁴ Z.B für die Errichtung von Photovoltaikanlagen

gedeckt. Im Jahr 2022 wurden 3,5 Mio. Tonnen an Steinkohle importiert, deren Hauptabnehmer die (fünf) Hochöfen in Linz und Donawitz bilden.

Das Bergbauerbe des Kohlenabbaus wird von der GKB-Bergbau GmbH in Form von operativen Sicherungsmaßnahmen und Risikoanalysen in Zusammenhang mit bergbaulich geprägtem Gelände (Bauen im Bergbaubereich) wahrgenommen. Die ehemaligen Bergbauflächen wurden bzw. werden rekultiviert und einer Nachnutzung zugeführt (Bundesministerium für Finanzen, 2022) (siehe auch Box 3 in Abschnitt 2.9 für eine kurze Diskussion zum Transport von Kohle in Österreich).

Eisenerz und Eisenglimmer

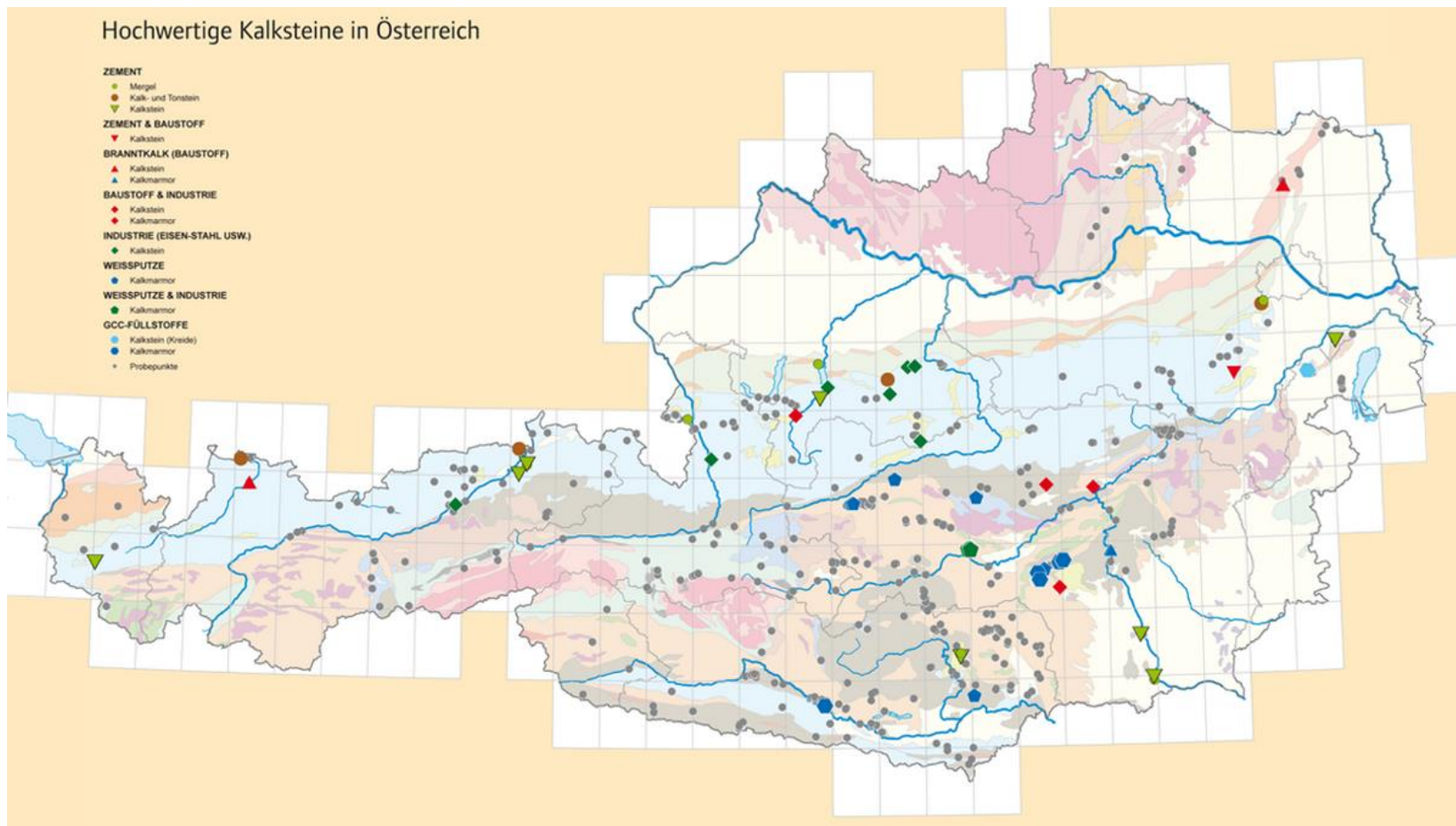
Die österreichische Eisenerzproduktion bei der VA Erzberg GmbH am steirischen Erzberg lag im Jahr 2021 sowohl bei der Fördermenge als auch bei der Produktion von Feinerz deutlich über dem Niveau des Vorjahres. Die Gesamtabbaumenge (Verhau) belief sich 2021 auf 12,84 Mio. Tonnen, die Erzproduktion erreichte eine Jahrestonnage von rund 3,3 Mio. Tonnen und liegt um 12,0% über dem geplanten Wert. Damit erreichten die Eisenerzproduktion und Erzabnahme einen historischen Höchstwert seit 1984. Trotz der COVID-19-Pandemie lief die Produktion durchgehend im Vollbetrieb, die Zahl der Beschäftigten hat sich gegenüber dem Vorjahr leicht erhöht (2021: rund 230 Mitarbeiter:innen). Auch für die Kärntner Montanindustrie Gesellschaft m.b.H. hat sich die Produktion von Eisenglimmer gegenüber 2020 leicht erhöht (Bundesministerium für Finanzen, 2022).

Kalkstein

Trotz der allgemeinen Verbreitung sind Kalksteine, welche die Kriterien von Industriemineralien erfüllen, relativ selten. Zu diesen Kriterien zählt: hohe chemische Reinheit (> 98 % CaCO₃), und hohe Weiße (> 90 % Hellbezugswert). Sie entstanden meist in landunbeeinflussten Bildungsmilieus, z.B. Riffe, oder durch Metamorphose. Diese Rohstoffe werden für viele technische Produkte und zahlreiche industrielle Verfahren verwendet (GeoSphere Austria, 2023).

Im Berichtsjahr 2021 wurde eine Produktion von in Summe rund 7,1 Mio. Tonnen Kalkstein (Festgesteinsabbau) im Sinne des § 5 MinroG von insgesamt 59 Gewinnungsstätten gemeldet (Bundesministerium für Finanzen, 2022).

Abbildung 5: **Kalksteinvorkommen in Österreich**



Quelle: (GeoSphere Austria, 2023).

Schrott

Auch für die heimische Stahlindustrie wird Schrott zunehmend ein wichtiger Inputfaktor (siehe dazu auch Kapitel 3.2.1). Die Herstellung von Stahl aus Schrott erfordert deutlich weniger Energie im Vergleich zur herkömmlichen Stahlerzeugung aus Eisenerz. Verbesserungen in der Technologie ermöglichen eine effizientere und effektivere Trennung und Wiederverwendung von Schrott. Dies könnte die Rentabilität der Schrottverwertung erhöhen und ihre Nutzung in der Stahlerzeugung fördern. Im Vergleich zur herkömmlichen Hochofenroute (BF/BOF) können momentan bereits ca. 75 Prozent der Emissionen eingespart werden (*Stahlschrott-Außenhandel 2022, 2022*).

Im Jahr 2017 wurden in Österreich insgesamt etwa 1,5 Millionen Tonnen Schrott für die Stahlherstellung verwendet, sowohl in den LD-Konvertern der integrierten Stahlwerke als auch in den Elektrolichtbogenöfen (Dworak et al., 2023)¹. Diese Menge umfasst sowohl den importierten als auch den inländischen Schrott, wobei der Anteil des erstgenannten 58 % und der des letzteren 42 % betrug. Österreich bezieht den Schrott für die Stahlerzeugung vor allem aus Deutschland (544.000 Tonnen), Tschechien (225.000 Tonnen), Slowakei (80.000 Tonnen), Italien (17.000 Tonnen) und Slowenien (16.000 Tonnen) (vgl. auch Kapitel 2.8). Aufgrund der Umstellung der Stahlproduktion auf Elektrolichtbogenöfen rechnen Dworak und Ko-AutorInnen mit einer Steigerung des Bedarfs von 70-100% in den kommenden 5 bis 10 Jahren (Dworak et al., 2023).

Die österreichische Stahlproduktion ist durch ein qualitativ anspruchsvolles Produktportfolio gekennzeichnet (insbesondere Flachstahlerzeugnisse). Verschmutzungen im Stahl müssen daher weitgehend vermieden werden. Dies setzt auch einen gewissen Qualitätsstandard bei Inputgütern voraus. Beim Schrott stehen diesbezüglich spezifische Begleitelemente (hauptsächlich Cu, Ni, Mo, Cr und/oder Sn) und potenzielle Methoden zu deren Entfernung im Fokus der Forschung. In Japan ist ein Überschuss an Schrott mit geringem Reinheitsgrad, der zur Wiederverwertung mit Primärstahl verdünnt werden muss, bereits Realität. Auf globaler Ebene wird erwartet, dass dieses Problem in naher Zukunft ebenfalls auftreten wird. Für Österreich mit seinem hoch-qualitativen Spezialstahl bedeutete dies eine besondere Herausforderung beim angestrebten erhöhten Einsatz von Schrott zur Rohstahlproduktion (Dworak et al., 2023).

Andere

Energie- und Versorgungsunternehmen sind nach dem Bergbau der zweitgrößte Zuliefersektor der Stahlbranche. Nicht nur Rohstoffe, sondern auch im geringen Ausmaß nötige Dienstleistungen von Transport, Finanzierung, Versicherung und Beratungsleistung sind in den Vorleistungsströmen zu berücksichtigen.

¹ Der Eigenschrott der Stahlerzeuger, der als werksinterner Rücklauf in der Stahlproduktion eingesetzt wird, ist in dieser Menge nicht enthalten.

2.5.4 Die Wertschöpfungskette Stahl - Downstream

Rohstahl wird in Österreich mitunter zu nicht rostendem Spezialstahl („stainless and specialty steel“) weiterverarbeitet, dazu stehen in Österreich 480.000 Tonnen Kapazität pro Jahr zur Verfügung (Eurofer, 2019).

Die von den Stahlunternehmen produzierten Erzeugnisse sind vielseitig einsetzbar und wichtige Werkstoffe für nachgelagerte Industrien. Zu den Kunden der Stahlunternehmen zählen in Österreich vor allem die Unternehmen der Bauindustrie, der Automobilindustrie, der Metallverarbeitung und des Maschinenbaus. In diesen Branchen werden die Vorleistungsgüter zu Investitions- und Konsumgütern weiterverarbeitet.

Zwar liegt Downstream keine ausgeprägte Oligopolstruktur vor, aber dennoch sind die Märkte zum Teil relativ stark konzentriert. Dadurch hat beispielsweise die Automobilindustrie eine tendenziell stärkere Verhandlungsposition innerhalb der Wertschöpfungskette als die Stahlindustrie. Dies wird durch die zunehmend hochspezialisierte, just-in-time-Produktion von Stahlsorten noch verstärkt. Jedenfalls sensibel reagiert die Branche daher auf Entwicklungen in der Automobilindustrie und der Baubranche. Insbesondere die langfristigen, strukturellen Veränderungen in diesen Industriezweigen, wie etwa der Umstieg auf Elektroautos oder die Auswirkungen der Klimapolitik auf die verwendeten Materialien in der Baubranche, sind für die Stahlindustrie von Interesse. Diese Abnehmerindustrien reagieren aber auch sehr sensibel auf Konjunkturverläufe und agieren als Nachfrager daher sehr prozyklisch. So war beispielsweise in der Autoindustrie in der ersten Hälfte des Jahres 2022 ein deutlicher Nachfragerückgang zu beobachten: Die Zulassung von PKWs in der EU sind um 14% gesunken (OECD, 2022a).

Die meisten Stahlerzeugnisse weisen eine relativ transparente Kostenstruktur auf: 60% der Kosten entfallen auf Rohstoffe, deren Marktpreise allgemein bekannt sind. Dies gilt nicht für hochspezialisierte Stahlwaren. In diesen Bereichen sind Stahlunternehmen noch in der Lage höhere Gewinnspannen zu erzielen. Davon können auch die spezialisierten, österreichischen Unternehmen profitieren (Luchetta et al., 2013). Im Allgemeinen reicht die Nachfrage nach Spezialstahl aber nicht aus, um den Rückgang traditioneller Märkte vollständig zu kompensieren.

2.6 Eisen und Stahl in der Input-Output-Tabelle

Im Folgenden werden hauptsächlich detaillierte Zahlen und Fakten der Jahre 2018 und 2019 präsentiert. Diese werden durch aktuellere Überblickszahlen ergänzt. Der Grund für die Wahl des hier dargestellten Zeitraums liegt zum einen in der Datenverfügbarkeit. Die aktuellsten Input-Output-Tabellen der Statistik Austria betreffen die Jahre 2018 bzw. 2019. Zum anderen waren die Folgejahre 2020 und 2021 durch pandemiebedingte Sondereffekte überlagert, die ein verzerrtes Bild zeichnen würden.

Die Zerlegung der Produkte der Industriesparte „Metallerzeugung und -bearbeitung“ (NACE Rev. 2 C 24) in die Untersektoren

- 24A (Eisen, Stahl und Produkte daraus; Gießereierzeugnisse) und
- 24_Rest (übrige Metalle)

erlaubt eine Sonderauswertung der österreichischen IO-Tabelle des Jahres 2018 eine recht trennscharfe Fokussierung auf die Verwendung des Gutes „Eisen und Stahl“. Auf Herstellungsseite ist diese Trennung aus Geheimhaltungsgründen leider nicht möglich. Die Branche C24 ist allerdings dominiert von der Eisen- und Stahlherstellung. Laut PRODCOM betrug die Technische Gesamtproduktion des Gutes 24 (Metalle und Halbzeuge daraus) im Jahr 2019 rund 15,7 Mrd. EUR. Gut ein Drittel davon, 5,5 Mrd. EUR, betrifft Nichteisenmetalle und Produkte daraus. Ähnliche Werte zeigt die IOT 2018 (siehe Übersicht 1).

Übersicht 1: **Output der Branche C24 Metallerzeugung, 2018**

	In 1.000 EUR
Insgesamt	18.725.539
Eisen, Stahl und Produkte daraus; Gießereierzeugnisse	11.688.160
Übrige Metalle	5.079.058
Metallerzeugnisse	562.333

Quelle: STAT.AT, IOT 2018, WIFO.

Laut IOT 2018 beträgt die Gesamtproduktion des Gutes 24A 11,7 Mrd. EUR (siehe Übersicht 2). Produziert wird Gut 24A in erster Linie naturgemäß vom Sektor C24. Gut 1 Mrd. EUR wird von anderen heimischen Branchen erzeugt (fast ausschließlich von der Branche C25, Herstellung von Metallerzeugnissen), importiert wird Gut 24A im Ausmaß von 4,4 Mrd. EUR. Das Gesamtaufkommen betrug 2018 in Österreich damit etwas mehr als 17 Mrd. EUR.

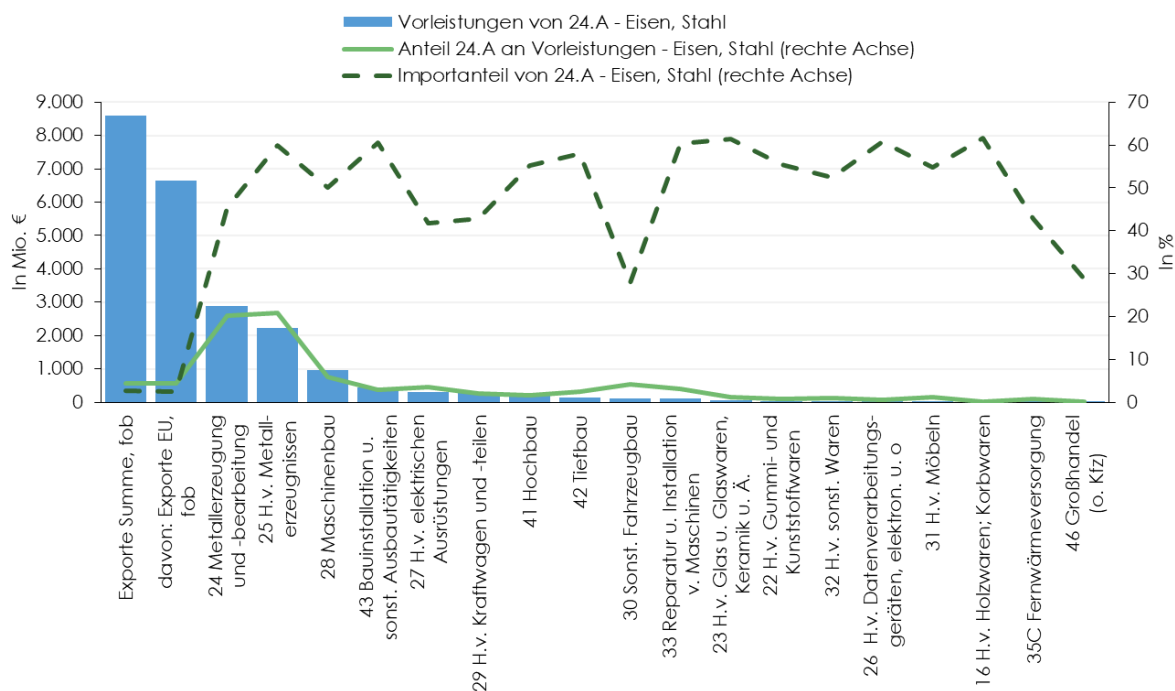
Übersicht 2: **Produzenten von Eisen, Stahl und Gießereierzeugnissen (Gut C24_A), 2018**

	In 1.000 EUR
Aufkommen und Verwendung	
C24 Metallerzeugung	11.688.160
andere Sektoren	1.024.679
Importe	4.367.187
Gesamt	17.080.026
heimische Verwendung	8.481.091
Exporte	8.598.935

Quelle: STAT.AT, IOT 2018, WIFO.

Ein Großteil der heimischen Produktion (rund zwei Drittel) wird exportiert (8,4 Mrd. EUR), in erster Linie in die EU (6,5 Mrd. EUR) (Abbildung 6). Der Rest geht großteils in die heimische Weiterverarbeitung im Sektor C24 oder als Rohstoff für die Herstellung von Metallerzeugnissen in der Branche C25 (1,6 Mrd. bzw. 900 Mio. EUR). Maschinenbau, Baugewerbe, Elektrische Ausrüstungen und KFZ-Herstellung bilden weitere Abnehmer, mit allerdings in Summe nur noch 1,4 Mrd. EUR an heimischem Eisen und Stahl.

Abbildung 6: Verwendung von Eisen, Stahl und Gießereierzeugnissen (Gut C24_A)



Quelle: STAT.AT, IOT 2018, WIFO.

Im Gegensatz zur IO-Tabelle, die monetäre Ströme beschreibt, gibt die Gütereinsatzstatistik auch ein Bild der mengenmäßigen Verwendung von Eisen und Stahlprodukten, die sich in ihrer Struktur allerdings nur wenig von den monetären Strömen unterscheidet (siehe Übersicht 3). Insgesamt werden rund 6 Mio. Tonnen an Roheisen und Stahl in der Metallerzeugung und Metallverarbeitung eingesetzt, 800 Tsd. Tonnen im Maschinenbau, insbesondere als Stahl bzw. Metallkonstruktionen.

Übersicht 3: **Eisen und Stahl – Verwendung in der Gütereinsatzstatistik, 2018**

NACE	17	22	23	24	25	26	27	28	29	30	32	33	41	42	Gesamt
	In 1.000 Tonnen														
ÖCPA 2015, 4-Steller															
2410/- Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen	-	-	-	3.229,50	2.034,50	-	11,9	315,3	-	-	-	-	262,9	179,1	6.033,20
2420/- Stahlrohre, Rohrform-, Rohrverschluss- und Rohrverbindungsstücke aus Stahl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2430/- Sonstige Erzeugnisse der ersten Bearbeitung von Eisen und Stahl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2431/t Blankstahl	-	1,6	6,8	0,5	62,4	0,1	21,4	51,9	3,4	1,5	-	-	-	-	149,6
2432/- Kaltband mit einer Breite von weniger als 600 mm	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2433/t Kaltprofile	-	1,2	0,7	-	14,2	-	9,3	51,7	12,5	0,1	-	2,6	-	-	92,2
2434/t Kalt gezogener Draht	0,5	5,9	2,6	97,4	174,3	-	3,7	3,5	0,3	-	-	-	-	-	288,3
2450/- Gießereierzeugnisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2451/t Eisengießereierzeugnisse	-	-	-	-	2,1	-	11,2	45,1	25,4	-	-	0,4	-	-	84,1
2452/t Teile aus Stahlguss	-	-	-	-	0,9	-	1,5	17,2	10	22,4	-	-	-	-	52
2500/t Metallerzeugnisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2510/- Stahl- und Leichtmetallbauerzeugnisse	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2511/- Metallkonstruktionen	-	2,8	-	-	-	-	118,5	266,2	4,6	9,8	-	22,1	-	-	424
2512/- Ausbauelemente aus Metall	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2521/- Heizkörper und -kessel für Zentralheizungen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2529/- Andere Tanks, Sammelbehälter und ähnliche Behälter, aus Metall	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2530/- Dampfkessel (ohne Zentralheizungskessel); Kernreaktoren	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2540/- Waffen und Munition	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2550/- Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteile, gewalzte Ringe und pulvermetallurgische Erzeugnisse	-	-	-	-	2,2	0,3	-	1,4	-	-	-	-	-	-	3,9
2562/t Mechanikleistungen	-	-	-	-	2,8	2,3	4,9	55,5	2,2	6,6	0,2	0,2	-	-	74,8
2571/- Schneidwaren und Bestecke aus unedlen Metallen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2572/- Schlösser und Beschläge aus unedlen Metallen	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2573/- Werkzeuge	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2591/- Trommeln und ähnliche Behälter, aus Stahl	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2592/- Verpackungen und Verschlüsse aus Eisen, Stahl und NE-Metall	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2593/- Drahtwaren, Ketten und Federn	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2594/- Schrauben und Niete	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2599/- Sonstige Metallwaren a.n.g.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gesamt	0,5	11,4	10,1	3.327,40	2.293,30	2,8	182,4	807,9	58,4	40,4	0,2	25,3	262,9	179,1	7.202,20

Quelle: STAT.AT, GEST, WIFO.

Ähnlich außenhandelsorientiert wie der Absatz ist auch die Produktionstechnologie des (gesamten) Industriezweiges der Metallerzeugung und -bearbeitung (NACE C24): mehr als die Hälfte der Vorleistungen wird importiert, die Rohstoffe Kohle und Erz werden fast zur Gänze importiert. Hier ist allerdings anzumerken, dass der Abbau am Erzberg in der voestalpine integriert ist. Daher stellen die Lieferungen dieses Erzes an die Hochofenstandorte Linz und Donawitz keine Markttransaktionen dar, und werden dementsprechend auch nicht als Vorleistungskäufe verbucht⁶(weshalb die Ausgaben der Metallerzeugungsbranche für Dienstleistungen des Eisenbahnverkehrs mit rund 90 Mio. € auch relativ gering ausfallen). Mit mehr als 6 Mrd. EUR stellen Produkte der Branche C24 40% der Vorleistungen der Branche C24 dar, sind also Lieferungen innerhalb der Branche und reflektieren die Weiterverarbeitung von Roheisen (bzw. Rohmetallen) zu verschiedenen Stahl- bzw. Leicht- und Buntmetallsorten. Fast 10% der Vorleistungen, 1,3 Mrd. EUR, entfallen auf Abwasser- und Abfallentsorgung sowie Rückgewinnung. Die IO-Tabelle erlaubt keine weitere Aufteilung dieses Aggregats. Der Importanteil von 70% weist aber darauf hin, dass es sich bei diesem Input in erster Linie um Produkte der Rückgewinnung handelt, in diesem Fall also Metallschrott, der im Stoffkreislauf verbleibt (die Bedeutung von Schrott wird sich bei Einführung alternativer Produktionsprozesse – Stichwort Lichtbogenofen – weiter deutlich erhöhen; siehe Kapitel 3). Der Importanteil hier sehr hoch – auch Schrott unterliegt einem starken internationalen Handelsaustausch (siehe Kapitel 2.8).

⁶Diese Transporte werden über eine eigene Tochter, die Logistik Service GmbH, abgewickelt. Sie sind also ebenfalls nicht in den Vorleistungen enthalten, die im Bereich der Dienstleistungen im Eisenbahnverkehr knapp 90 Mio. € ausmachen.

Übersicht 4: **Produktionstechnologie der Metallerzeugung und -bearbeitung (NACE C24), 2018**

Vorleistungsgut		Vorleistungen	Davon Importe	
		In Tsd. EUR	In %	
05-07	Kohle; Erdöl u. Erdgas; Erze	1.334.272	1.289.698	97
24_A	Eisen, Stahl und Produkte daraus; Gießereierzeugnisse	2.886.381	1.311.539	45
24_REST	Übrige Metalle	3.296.882	2.414.773	73
25	Metallerzeugnisse	664.040	202.497	30
37-39	DL der Abwasser- u. Abfallentsorgung; Rückgewinnung	1.273.170	888.243	70
49A	Beförderungsleistungen im Eisenbahnfernverkehr	88.325	28.377	32
49B	Sonstige Personenbeförderungsleistungen im Landverkehr	9	1	11
49C	Dienstleistungen des Taxibetriebs	2.607	242	9
49D	Personenbeförderungsleistungen mit Standseilbahnen, Seilschwebbahnen und Skiliften	0	0	0
49E	Güterbeförderungsleistungen im Straßenverkehr	272.225	133.444	49
49F	Transportleistungen in Rohrfernleitungen	0	0	0
50	Schifffahrtsleistungen	55.907	52.731	94
51	Luffahrtleistungen	20.802	6.359	31
52	Lagereleistungen, sonst. DL für den Verkehr	160.259	77.732	49
53	Post- und Kurierdienste	10.408	0	0
Andere Vorleistungen		4.159.110	1.046.516	25
Summe		14.224.397	7.452.152	52

Quelle: IOT 2018, WIFO.

Die Außenhandelsverflechtungen reflektieren die Position der österreichischen Metallbranche in internationale Wertschöpfungsketten: Erze werden ausschließlich importiert und im Inland zu Eisen und Stahl verarbeitet; Exporte von Eisen- und Stahlwaren übersteigen die Importe, weisen damit auf Weiterverarbeitung und -veredelung, aber auch auf Spezialisierung hin (Export von Spezialstählen).

2.7 Beschäftigung in Eisen- und Stahlrelevanten Branchen

Übersicht 5 zeigt jene Branchen hervorgehoben, die für die Zwecke dieser Analyse als eisen- und stahlrelevant definiert wurden. Sie sind auf unterschiedlichen Klassifikationsebenen angesiedelt (3-5-Steller) und hier innerhalb der 2- bis 5-Steller-Struktur verortet:

Übersicht 5: Eisen- und Stahlrelevante Branchen

B 07	Erzbergbau
B 07.1	Eisenerzbergbau
B 07.2	NE-Metallerzbergbau
C 24	Metallerzeugung und -bearbeitung
C 24.1	Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen
C 24.2	Herstellung von Stahlrohren, Rohrform-, Rohrverschluss- und Rohrverbindungsstücken aus Stahl
C 24.3	Sonstige erste Bearbeitung von Eisen und Stahl
C 24.4	Erzeugung und erste Bearbeitung von NE-Metallen
C 24.5	Gießereien
C 24.51-0	Eisengießereien
C 24.52-0	Stahlgießereien
C 24.53-0	Leichtmetallgießereien
C 24.54-0	Buntmetallgießereien
C 25	Herstellung von Metallerzeugnissen
C 25.1	Stahl- und Leichtmetallbau
C 25.2	Herstellung von Metalltanks und -behältern; Herstellung von Heizkörpern und -kesseln für Zentralheizungen
C 25.3	Herstellung von Dampfkesseln (ohne Zentralheizungskessel)
C 25.4	Herstellung von Waffen und Munition
C 25.5	Herstellung von Schmiede-, Press-, Zieh- und Stanzteilen, gewalzten Ringen und pulvermetallurgischen Erzeugnissen
C 25.6	Oberflächenveredlung und Wärmebehandlung; Mechanik a.n.g.
C 25.7	Herstellung von Schneidwaren, Werkzeugen, Schlössern und Beschlägen aus unedlen Metallen
C 25.9	Herstellung von sonstigen Metallwaren
E 38	Sammlung, Behandlung und Beseitigung von Abfällen; Rückgewinnung
E 38.1	Sammlung von Abfällen
E 38.2	Abfallbehandlung und -beseitigung
E 38.3	Rückgewinnung
E 38.31-0	Zerlegen von Schiffs- und Fahrzeugwracks und anderen Altwaren
E 38.32-1	Rückgewinnung von Eisen und NE-Metallen
E 38.32-9	Rückgewinnung sonstiger sortierter Werkstoffe

Quelle: ÖNACE 2008, STAT.AT.

Im aktuellsten Jahr 2021 führt die Abgestimmte Erwerbsstatistik (AEST) mehr als 100 Tsd. Beschäftigte in den relevanten Branchen (siehe Übersicht 6).

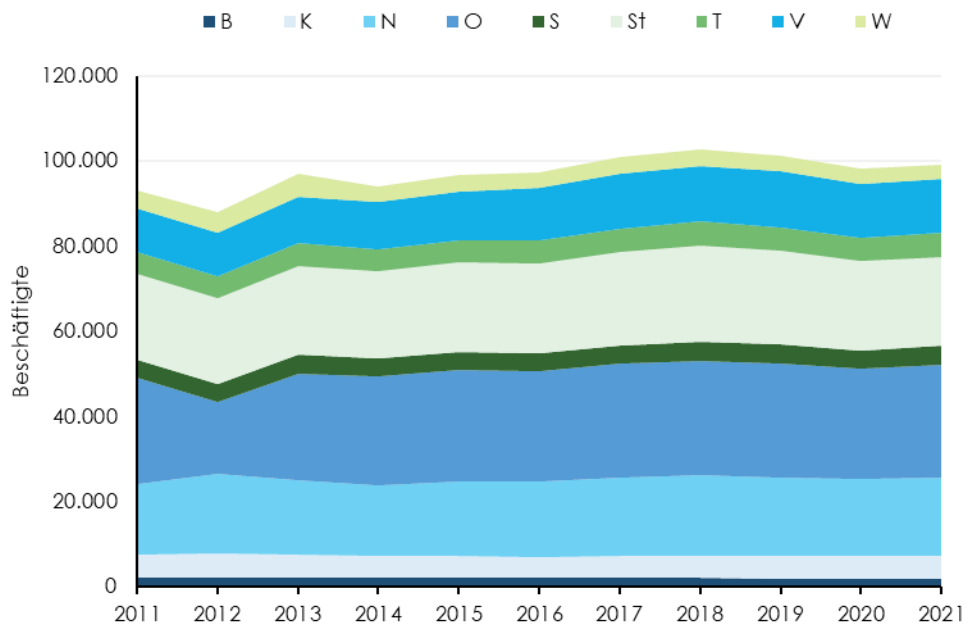
Übersicht 6: **Beschäftigung in relevanten Branchen (2011-2021)**

	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021
	In 1.000 Beschäftigte										
Erzbergbau <B07>	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3
Eisenerzbergbau <B071>	0,1	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Metallerzeugung und -bearbeitung <C24>	33,1	26,6	38,8	36,2	37,0	37,0	37,8	38,5	38,2	37,2	37,3
Roheisen- und Stahlerzeugung <C241>	14,4	7,5	18,2	14,8	15,4	15,2	15,1	15,4	15,4	15,1	15,2
H.v. Stahlrohren <C242>	3,6	3,9	3,8	3,9	3,7	3,7	3,9	4,0	3,9	3,6	3,4
Sonst. Bearbeitung v. Eisen und Stahl <C243>	3,2	2,9	2,8	3,3	3,4	3,5	3,6	3,7	3,7	3,6	3,6
Erzeugung v. NE-Metallen <C244>	6,0	6,1	7,4	7,6	7,7	7,8	8,0	8,1	8,2	8,3	8,5
Gießereien <C245>	5,9	6,2	6,5	6,7	6,8	7,0	7,2	7,4	7,0	6,7	6,7
Eisengießereien <C2451>	1,3	1,8	1,4	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,3	1,3
Stahlgießereien <C2452>	0,8	0,4	0,8	0,8	0,8	0,7	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5
H.v. Metallerzeugnissen <C25>	73,1	74,4	73,8	73,5	76,0	76,8	79,2	80,8	80,1	78,7	78,6
Stahl- und Leichtmetallbau <C251>	23,6	24,1	22,2	22,5	23,0	22,8	23,0	22,7	22,6	22,3	22,4
H.v. Metalltanks und Heizkörpern <C252>	2,9	3,0	3,3	3,3	3,2	3,0	3,0	3,1	3,4	3,3	3,5
H.v. Dampfkesseln <C253>	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
H.v. Waffen und Munition <C254>	1,0	1,1	1,3	1,3	1,4	1,6	1,7	1,7	1,7	2,0	2,2
H.v. Schmiede- und Stanzteilen <C255>	6,1	5,8	6,1	6,1	6,8	7,0	7,5	7,6	7,1	7,1	6,8
Oberflächenveredlung; Mechanik a.n.g. <C256>	13,3	13,5	13,8	14,1	14,2	14,6	15,1	16,0	16,1	15,5	15,1
H.v. Schneidwaren und Werkzeugen <C257>	17,9	18,6	18,7	18,1	18,8	18,9	19,8	20,5	20,2	19,8	20,2
H.v. sonst. Metallwaren <C259>	8,1	8,0	8,0	8,0	8,2	8,5	8,6	8,8	8,7	8,3	8,2
Abfallbehandlung <E38>	13,7	17,0	16,5	14,4	14,3	16,0	15,6	15,5	19,2	18,7	18,7
Zerlegen v. Schiffs-/Fahrzeugwracks <E3831>	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01
Rückgewinnung v. Eisen und NE-Metallen <E38321>	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	1,2	0,9	0,6	0,5	0,5
Rückgewinnung <E383>	2,2	3,6	2,5	2,6	2,6	2,6	2,6	2,6	2,5	2,4	2,4
Rückgewinnung sortierter Werkstoffe <E3832>	2,2	3,5	2,5	2,6	2,5	2,6	2,6	2,5	2,5	2,4	2,4
Rückgewinnung v. Eisen und NE-Metallen <E38321>	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,9	0,0	0,9	0,6	0,5	0,5
Summe eisenrelevante Branchen	97,3	91,9	101,9	98,9	101,8	102,3	104,1	107,0	105,7	103,5	103,4

Quelle: STAT.AT, AEST, WIFO.

Die Summe der Beschäftigten zeigt sich bei rund 100 Tsd. Personen vergleichsweise stabil. Seit 2011 hat sich die Beschäftigtenzahl um rund 6 Tsd. Personen sogar leicht erhöht. Diese Stabilität zeigt sich auch auf regionaler Ebene (Abbildung 7): Niederösterreich, Oberösterreich und die Steiermark sind die stärksten Metallregionen (wobei, bezogen auf die Gesamtbeschäftigung, Vorarlberg mit fast 6% das metalllastigste Bundesland ist; Oberösterreich und die Steiermark weisen je 3% Anteil auf).

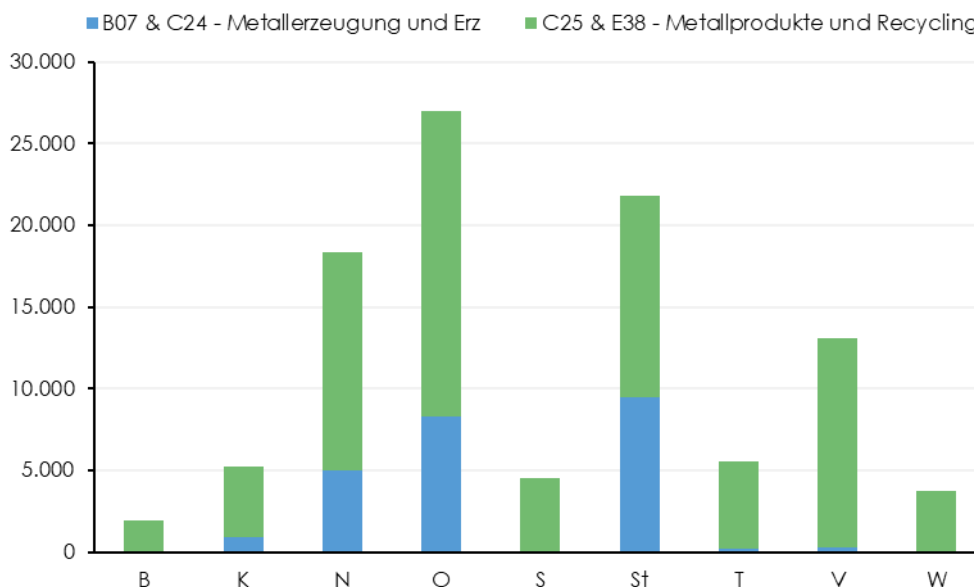
Abbildung 7: **Beschäftigung in eisen- und stahlrelevanten Branchen, 2011-2021**



Quelle: STAT.AT, AEst, WIFO.

In den meisten Bundesländern ist es die Herstellung von Metallprodukten, die den Metallsektor dominiert; nur in Niederösterreich, Oberösterreich und der Steiermark weist die Metallherzeugung einen größeren Anteil an der Beschäftigung auf (siehe Abbildung 8).

Abbildung 8: **Beschäftigung im Metallsektor 2019 – Herstellung vs. Weiterverarbeitung**



Quelle: STAT.AT, AEST, WIFO.

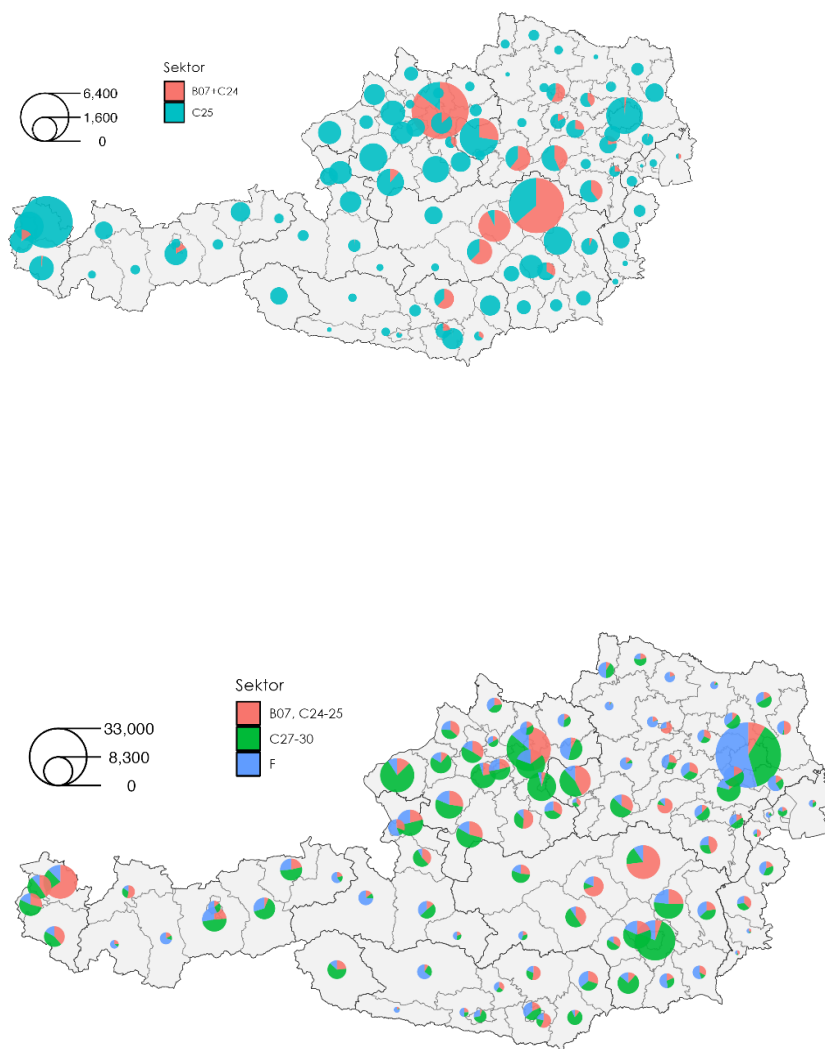
Auf einer kleinräumigeren Ebene, nämlich auf der Bezirksebene, erweist sich der Metallsektor als regional noch merklich konzentrierter: die mit Abstand höchste Beschäftigung weisen Linz, Leoben und Bregenz auf (Abbildung 9). Linz und Leoben sind auch die einzigen, die in der Eisen- und Stahlerzeugung tätig sind (Leoben hat zusätzlich noch rund 230 Beschäftigte im Erzbergbau B07); sie stellen also auch Ziel und Quelle der größten Transportbewegungen eisen- und stahlrelevanter Güter dar (von Erz und Kohle bis Waren aus Eisen und Stahl).

Werden zusätzlich Branchen mitberücksichtigt, für die (Waren aus) Eisen und Stahl nennenswerte Vorprodukte bilden, nämlich die Branchen C27, C28, C29 und C30 (Herstellung elektrischer Anlagen, Maschinenbau, KFZ- und Fahrzeugbau) sowie F41 und F42 (Hoch- und Tiefbau), so verringert sich die Konzentration merklich⁷.

Diese unterschiedlichen Konzentrationen führen zu unterschiedlichen Transportorganisationen: je stärker konzentriert eine Branche, umso bessere Bedingungen ergeben sich für die Bahn. Der Modal Split ist auch tatsächlich bei, für die Metallerzeugung benötigten Rohstoffen (Kohle, Erz), am höchsten.

⁷ Die Dominanz Wiens in dieser Darstellung ist etwas irreführend, da Wien als ein Bezirk dargestellt ist – der „Bezirk Wien“ beschäftigt damit ein Viertel der österreichischen Erwerbstätigen.

Abbildung 9: **Beschäftigung im Metallsektor 2019 in den Bezirken**



Quelle: STAT.AT, AEST, WIFO.

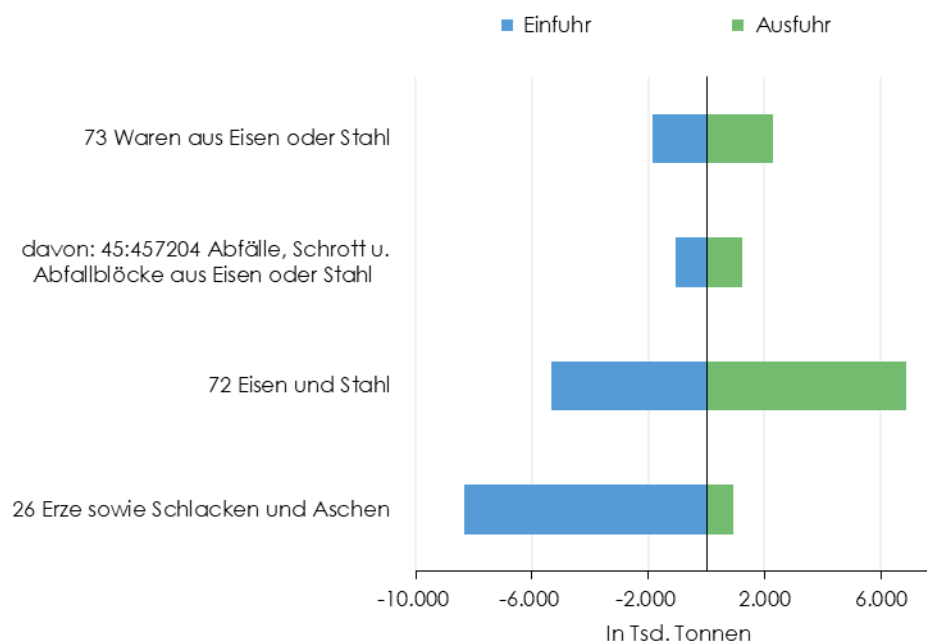
2.8 Der Außenhandel mit Eisen und Stahl

Wie oben erwähnt, werden Eisen und Stahl international stark gehandelt: Rund zwei Drittel der heimischen Produktion werden exportiert, während die Hälfte des heimischen Bedarfs durch Importe gedeckt wird. Im Folgenden werden Auswertungen der Außenhandelsstatistik der

Statistik Austria in der Gliederung nach Ursprungs- bzw. Bestimmungsländern verwendet. Diese Klassifizierung sollte die Verzerrungen durch den Handel über Häfen – den sog. „Rotterdam-Effekt“ – vermeiden bzw. zumindest vermindern.

In Summe wurden 2022 über 25 Mio. Tonnen eisen- und stahlrelevanter Güter im Außenhandel mit Österreich bewegt (Abbildung 10). Die größten Posten waren dabei die Einfuhr von Erz (8 Mio. Tonnen) sowie der Ex- und Import von Eisen und Stahl (6,9 bzw. 5,3 Mio. Tonnen). Waren aus Eisen und Stahl wurden im Ausmaß von 1,9 bzw. 2,3 Mio. Tonnen ein- bzw. ausgeführt.

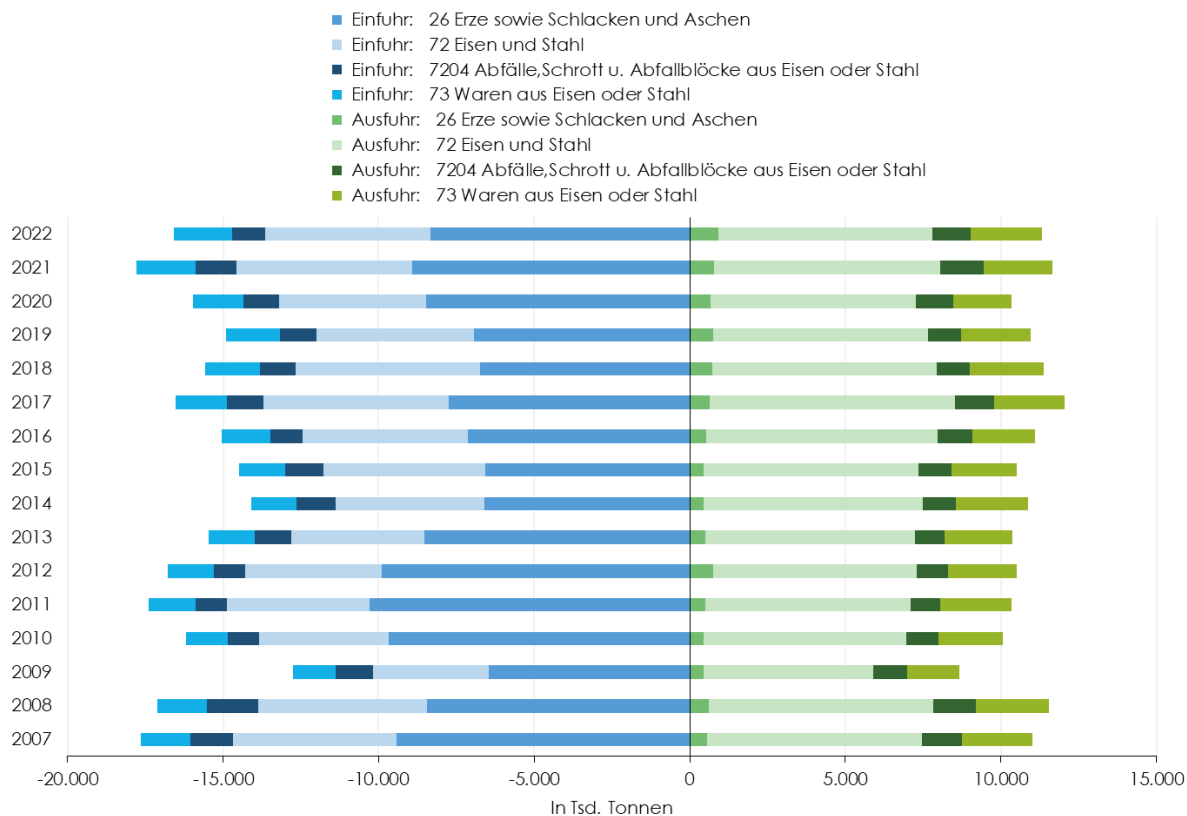
Abbildung 10: **Der österreichische Außenhandel mit eisen- und stahlrelevanten Gütern, 2022**



Quelle: STAT.AT, Außenhandelsstatistik, WIFO.

Diese Mengen sind sehr stabil: seit 2011 ist kein nennenswerter Trend in den Mengen erkennbar, weder in der Gesamttonnage noch in den Teilbereichen (Abbildung 11).

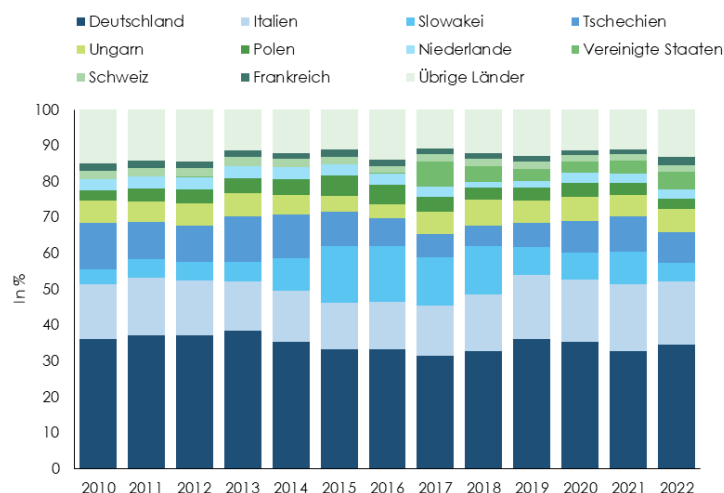
Abbildung 11: **Der österreichische Außenhandel mit eisen- und stahlrelevanten Gütern, 2011-2022**



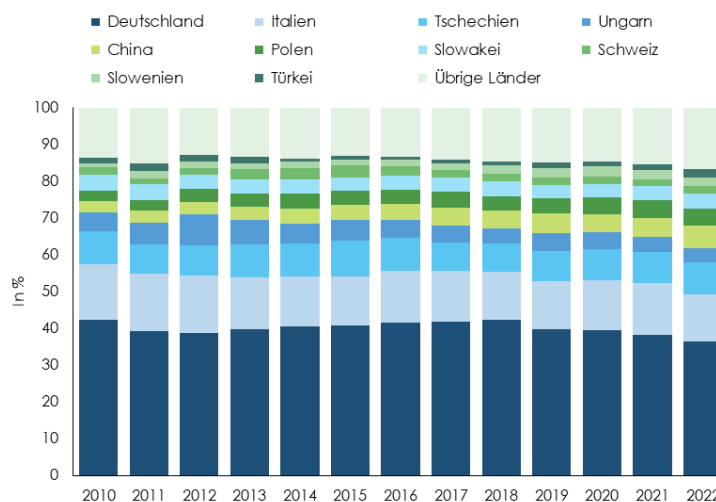
Quelle: STAT.AT, Außenhandelsstatistik, WIFO.

Auch die regionale Struktur der Handelspartner Österreichs war in den letzten Jahrzehnten stabil. Sie zeigt vergleichsweise aber doch etwas mehr Schwankungsbreite, insbesondere bei der Einfuhr von Eisen und Stahl (Abbildung 12). Der wichtigste Handelspartner war und ist in allen Gütern und Jahren Deutschland, mit Anteilen zwischen einem Drittel und 40%. Beim Import ist Italien mit einigem Abstand der zweitwichtigste Handelspartner. Die folgenden Ränge sind weniger stabil, speziell bei der Einfuhr von Eisen und Stahl gibt es etwas stärkere Schwankungen in den Anteilen.

Abbildung 12: **Struktur der Handelspartner Österreichs – Einfuhren, 2010-2022**
Einfuhr von Gütergruppe KN 72, Eisen und Stahl



Einfuhr von Gütergruppe KN 73, Waren aus Eisen und Stahl



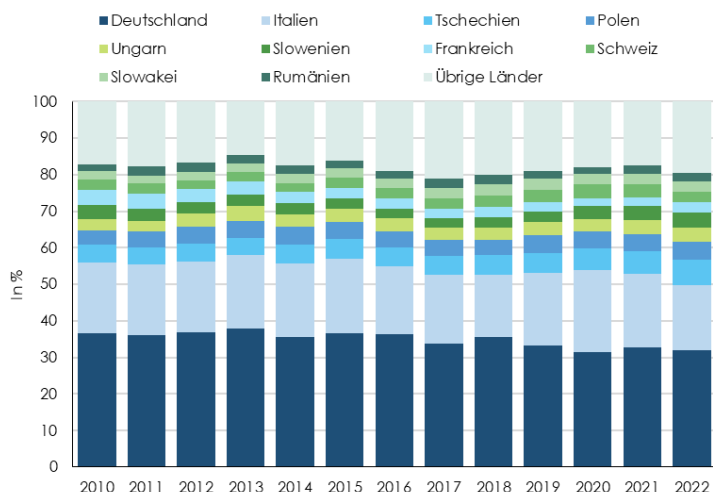
Quelle: STAT.AT, Außenhandelsstatistik, WIFO.

Bei der Ausfuhr von Eisen und Stahl ist es wiederum Italien als Zielland, das nach Deutschland den höchsten Anteil aufweist – zusammen nehmen sie mehr als die Hälfte der österreichischen Exporte von Eisen und Stahl auf (Abbildung 13). Bei der Ausfuhr von Waren aus Eisen und Stahl sind die Anteile – abgesehen von Deutschland mit rund einem Drittel – verhältnismäßig auf die verschiedenen Zielländer gleichmäßiger verteilt. Die USA sind der zweitwichtigste

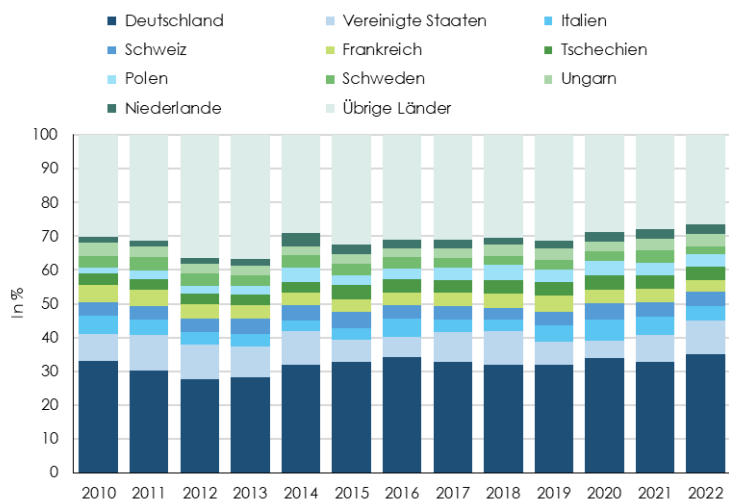
Handelspartner für Waren aus Eisen und Stahl. Die Produktgruppe „Rohre und Hohlprofile, nahtlos, aus Eisen (ausgenommen Gusseisen) oder Stahl“ (HS 7304) stellt dabei die Hälfte der Exporte.

Abbildung 13: **Struktur der Handelspartner – Ausfuhren, 2010-2022**

Ausfuhr von Gütergruppe KN 72, Eisen und Stahl



Ausfuhr von Gütergruppe KN 73, Waren aus Eisen oder Stahl



Quelle: STAT.AT, Außenhandelsstatistik, WIFO.

Auf der detaillierten Güterebene (HS 4-Steller-Ebene) zeigt sich, dass im Wesentlichen alle Güter in beiden Richtungen gehandelt werden, wobei Eisen und Stahl stärker importiert werden, während Waren aus Eisen und Stahl etwas höhere Export- als Importmengen aufweisen (Abbildung 14). Die höchsten Exportmengen betreffen Flacherzeugnisse, die etwa in der Automobilindustrie Verwendung finden. Hier übertreffen die Exportmengen die Importmengen um ein Vielfaches (z.B. „Flacherzeugnisse aus legiertem, anderem als nichtrostendem Stahl, mit einer Breite von ≥ 600 mm, warm- oder kaltgewalzt“; HS 7225).

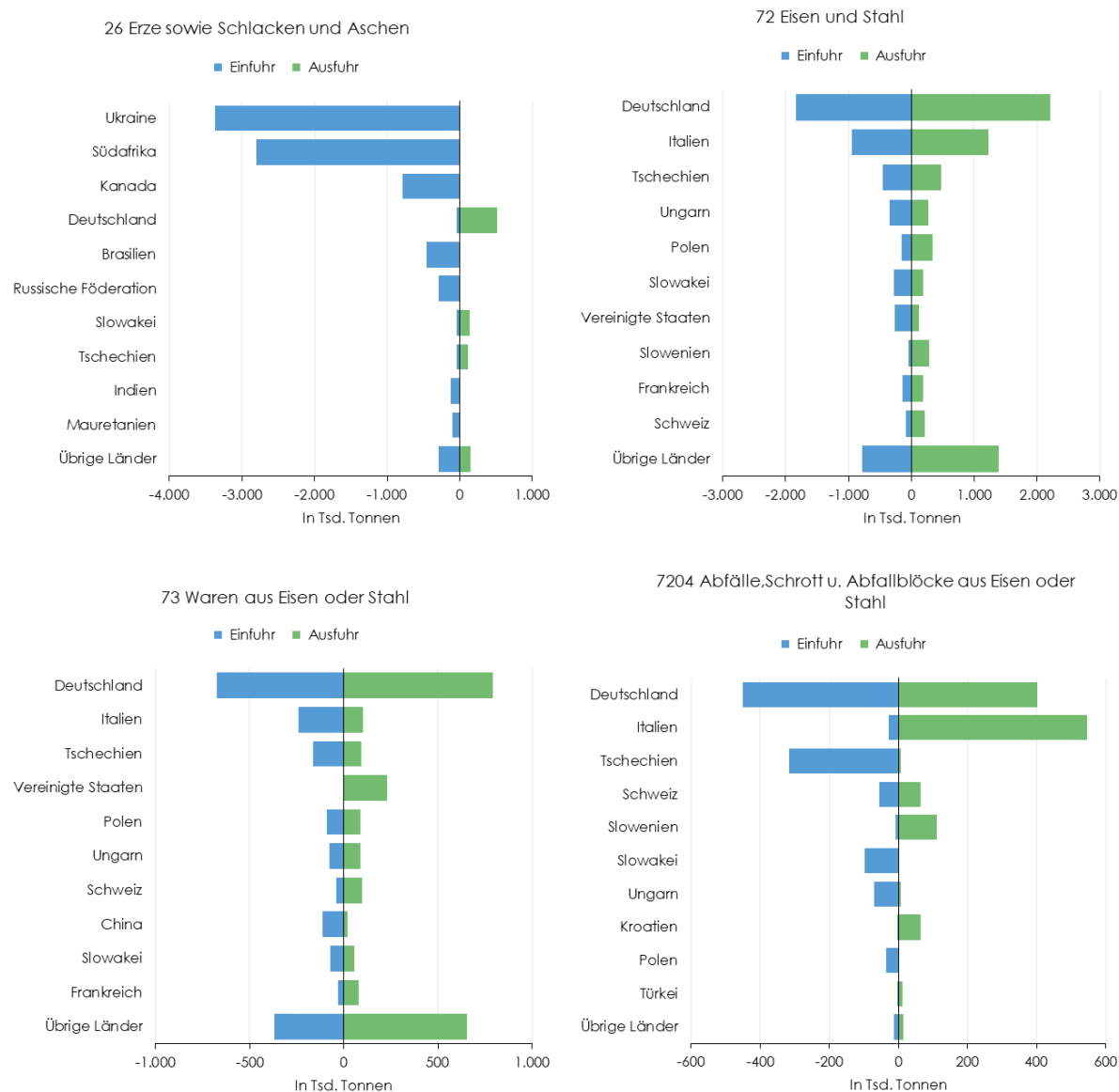
Eine deutliche Spezialisierung ist auch bei nahtlosen Produkten zu beobachten: „Rohre und Hohlprofile, nahtlos, aus Eisen (ausgenommen Gusseisen) oder Stahl“ (HS 7304) sowie – noch deutlicher – Oberbaumaterial für Bahnen aus Eisen oder Stahl, wie Schienen, Leitschienen und Zahnstangen (HS 7302), werden kaum nach Österreich importiert, weisen aber Exporte von zusammen fast 1 Mio. Tonnen auf.

Abbildung 14: Ein- bzw. Ausfuhrmengen eisen- und stahlrelevanter Güter, 2022



Quelle: STAT.AT, Außenhandelsstatistik, WIFO.

Abbildung 15: **Außenhandel mit eisen- und stahlrelevanten Gütern, nach Ursprungs- bzw. Bestimmungsland, 2022**



Quelle: Außenhandelsstatistik, WIFO.

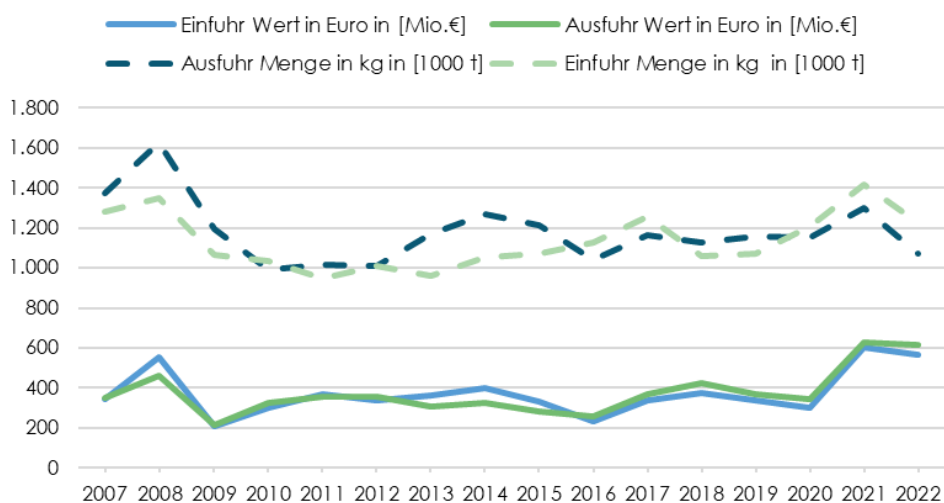
Die größten Lieferanten von Erzen und Schlacken waren 2022 die Ukraine (mit 3,4 Mio. Tonnen)⁸ und Südafrika (2,8 Mio. Tonnen), gefolgt von Kanada und Brasilien (Abbildung 15). Exporte wurden kaum registriert.

⁸ Zum Vergleich: der Erzberg liefert jährlich etwa 3 Mio. Tonnen Feinerz, wovon 2018 rund 1,5 Mio. Tonnen nach Linz und 1,3 Mio. Tonnen nach Donawitz geliefert wurden (lt. Kommunikation ÖBB).

Bei den verarbeiteten Gütern wird dann jeweils Deutschland zum (mit Abstand) wichtigsten Handelspartner. Dies gilt sowohl für Importe als auch für Exporte. Eine Ausnahme bildet der Export von Schrott nach Italien, der 2022 höher ausfiel als jener nach Deutschland. Der Schrotthandel ist wesentlich einseitiger als bei den anderen Gütern: mit Ausnahme von Deutschland sind die wichtigsten Handelspartner Österreichs entweder Ursprungs- (Tschechien, Slowenien, Ungarn) oder Bestimmungsland (Italien, Slowenien, Kroatien), aber typischerweise nicht beides. Bei Eisen und Stahl sowie Waren aus Eisen und Stahl ist der Handel tendenziell in beide Richtungen zu beobachten. Die wesentlichsten Ausnahmen bilden die USA als hauptsächliches Ziel- land China als hauptsächliches Ursprungsland von Waren aus Eisen und Stahl.

Einen wichtigen Aspekt bildet die Rückgewinnung. Die Umstellung bzw. Ergänzung von kohlebasierter Hochofen- auf elektrizitätsbasierte Lichtbogenherstellung wird die Bedeutung von Eisen- und Stahlschrott weiter erhöhen (im Prinzip ist Eisen und Stahl zu 100% recyclebar). Derzeit werden - recht ausgeglichen bilanzierend - rund 1,2 Mio. Tonnen pro Jahr aus- bzw. eingeführt. Der Wert dieser Handelsströme beträgt rund 400 Mio. EUR, wobei auch hier in den letzten beiden Jahren die Preissteigerungen bei Rohstoffen durchgeschlagen sind (gegenüber 2019/20 sind die Stückkosten 2021/22 um mehr als die Hälfte gestiegen).

Abbildung 16: Außenhandel mit Gütergruppe KN 7204 Abfälle, Schrott u. Abfallblöcke aus Eisen oder Stahl; 2007-2022

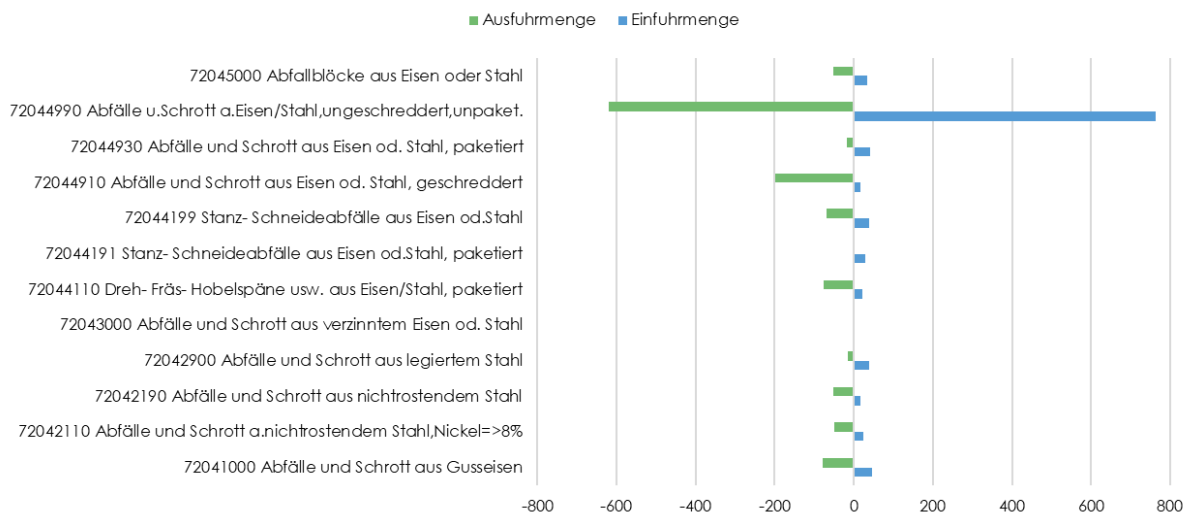


Quelle: Außenhandelsstatistik, WIFO.

Die mit Abstand wichtigste Schrottart dabei sind ungeschredderte und unpaketierte Abfälle aus Eisen und Stahl. Sie stellen rund 70% der Einfuhren und 50% der Ausfuhren dar⁹.

⁹ Für den (Bahn-)Transport ist dies insofern relevant, da anzunehmen ist, dass sich die Transportbedingungen für geschredderte bzw. paketierte Schrottarten merklich von "unbehandelten" Schrottarten unterscheiden.

Abbildung 17: **Außenhandel mit der Gütergruppe KN 7204 Abfälle, Schrott u. Abfallblöcke aus Eisen oder Stahl, 2022**

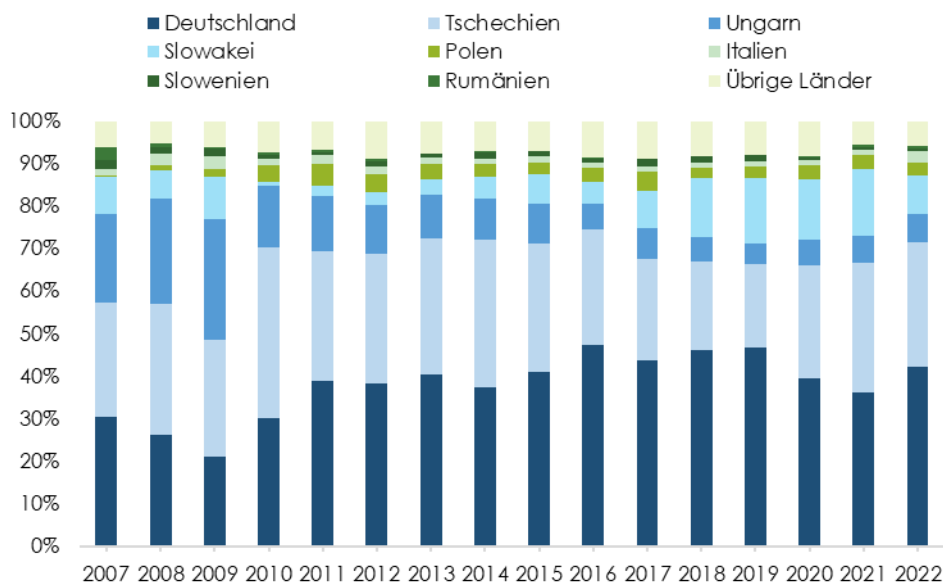


Quelle: Außenhandelsstatistik, WIFO.

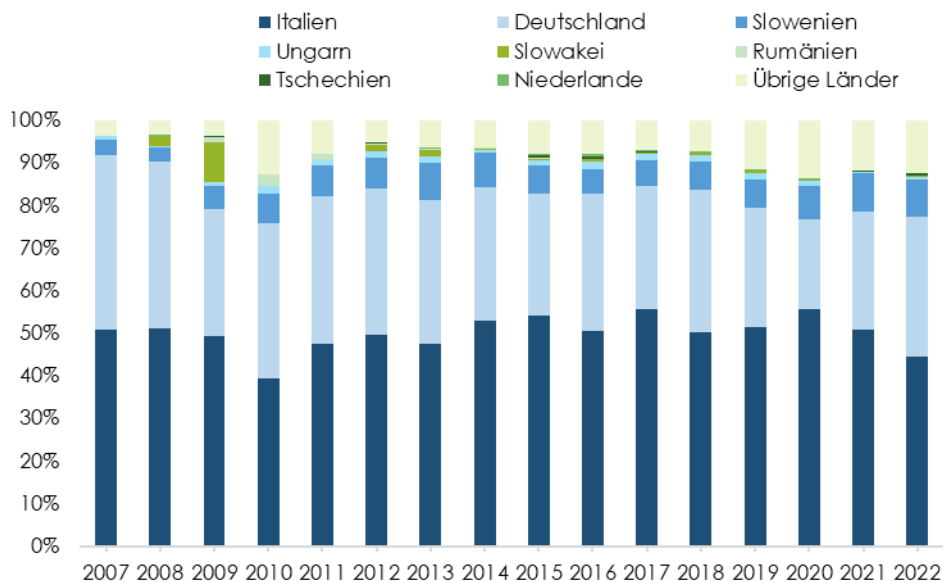
Das regionale Handelsmuster gestaltet sich bei Schrott ähnlich wie bei Metallen und Metallzeugnissen: Die Nachbarstaaten dominieren die Handelsströme, wobei bei den Einfuhren Deutschland der wichtigste Handelspartner ist (mit einem durchschnittlichen Anteil von etwas unter 40%), bei den Ausfuhren spielt Italien die größte Rolle (mit rund 50%)

Abbildung 18: **Außenhandel mit Gütergruppe KN 7204 Abfälle, Schrott u. Abfallblöcke aus Eisen oder Stahl, nach Ursprungs- bzw. Bestimmungsland, 2022**

Einfuhr



Ausfuhr



Quelle: Außenhandelsstatistik, WIFO.

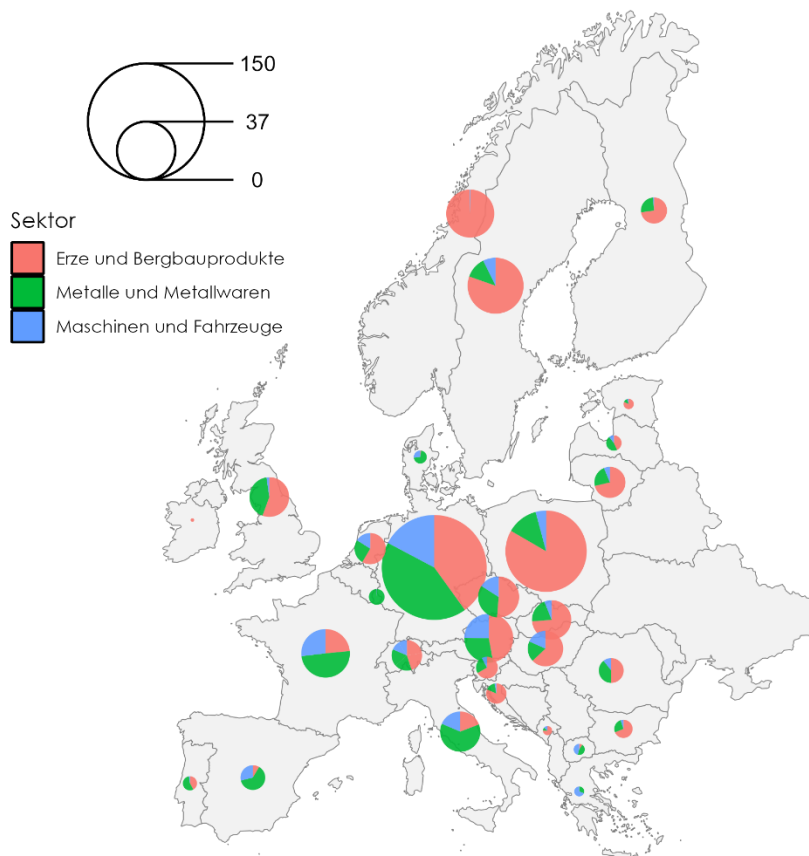
2.9 Transport

Um die Transportdimension näher zu analysieren, wird die Transportstatistik der Statistik Austria nach Transportmodus verwendet¹⁰. Wir konzentrieren uns auf die Modi Schiene, Straße, Binnenwasserstraße, während Luftverkehr hier keine Rolle spielt. Die Daten liegen in der NST/R-Klassifikation auf der Ebene von 10 Gütern vor. Die relevanten Güter sind Erze und Metallabfälle sowie Eisen, Stahl und NE-Metalle. Auf Basis der Transportstatistik ist also keine saubere Trennung in Eisen- und NE-Metalle möglich. Allerdings ist sicher, dass Eisen praktisch jeden Transportmodus in allen Transportrelationen – Inlandsverkehr, Empfang, Versand sowie Transit – dominiert.

Eisen- und stahlrelevante Transportgüter sind in Österreich, bezogen auf die Größe der Volkswirtschaft, merklich überrepräsentiert: innerhalb der EU ist ihr Volumen etwa gleichauf mit Frankreich, und wird absolut nur von Deutschland und Polen (sowie Schweden) übertroffen, wobei Polen aber vornehmlich als Rohstofflieferant in Erscheinung tritt (Abbildung 19).

¹⁰ Mit den jeweils bekannten Schwächen, so etwa der groben Gütereinteilung oder dem Containertransport (der für die hier untersuchten Güter aber von weniger Bedeutung sein dürfte, evtl. mit Ausnahme der Waren aus Eisen und Stahl), oder dem als Stichprobe erhobenen Straßengüterverkehr, mit seiner chronischen Untererfassung der Klein-LKW, der allerdings ebenfalls für die hier untersuchten Güter nur von untergeordneter Bedeutung ist.

Abbildung 19: **Transportmengen von Eisen- und stahlrelevanten Gütern in den Ländern der EU27, 2022; in Mio. Tonnen**



Quelle: Eurostat, WIFO.

Im Jahr 2022 wurden lt. Transportstatistik der Statistik Austria 29 Mio. Tonnen in, von, nach oder durch Österreich transportiert. Mehr als die Hälfte davon, fast 17 Mio. Tonnen, wurden auf der Schiene transportiert (Übersicht 7). Das entspricht 16% der gesamten auf der Schiene transportierten Tonnage (103 Mio. Tonnen im Jahr 2022).

Mit 1,7 Mio. Tonnen weist das Schiff einen deutlichen Anteil beim Import von Erz auf (entsprechend 30% der gesamten Tonnage im Empfang) sowie kleinere Anteile beim Transport von Metallen (wobei auch der Anteil beim Versand hier bei unter 14% liegt). Für die Binnenschifffahrt ist der Transport von eisen- und stahlrelevanten Gütern noch wesentlich bedeutender als für die Bahn: die 2,7 Mio. Tonnen entsprechen 42% der Gesamttonnage von 6,4 Mio. Tonnen.

Im Verhältnis dazu ist der LKW-Verkehr von untergeordneter Bedeutung. Nur beim Inlandsverkehr ist er beträchtlich: fast 84% des Binnentransports von Metall erfolgt über die Straße. Hier absolviert der LKW die „letzte Meile“ von und zu Arbeitsstätten, Baustellen, etc.

Übersicht 7: **Transportmengen im Güterverkehr mit relevanten Gütergruppen, 2022**

		Schiene	Schiff	Straße	Gesamt
		In Mio. Tonnen			
Erze und Metallabfälle	Inlandsverkehr	3,4	-	1,1	4,5
	Empfang	3,9	1,7	0,0	5,6
	Versand	1,0	0,0	0,1	1,1
	Transit	1,1	0,0	0,0	1,1
Eisen, Stahl und NE-Metalle	Inlandsverkehr	1,3	0,0	6,6	7,9
	Empfang	1,7	0,2	0,6	2,5
	Versand	2,9	0,6	0,9	4,4
	Transit	1,7	0,1	0,1	2,0
Gesamt		16,9	2,6	9,5	29,0

Quelle: STAT.AT, WIFO.

Auf der Schiene wurden 2022 insgesamt rund 17 Mio. Tonnen eisen- und stahlrelevante Güter transportiert, davon 9,3 Mio. Tonnen an Erzen und Schrott sowie 7,6 Mio. Tonnen an Metallen (Übersicht 8). Mit 5,6 Mio. Tonnen stellt der Empfangsverkehr das höchste Volumen (dominiert von Erzen und Abfällen), gefolgt vom Binnenverkehr (4,7 Mio. Tonnen). Erze und Abfälle werden in wesentlich stärkerem Ausmaß importiert als exportiert. Bei Eisen und Stahl stellt sich dies umgekehrt dar, und weist damit wiederum auf die Rolle Österreichs als Veredelungsstandort hin.

Übersicht 8: **Transportvolumina im Schienen-Güterverkehr mit relevanten Gütergruppen, 2022**

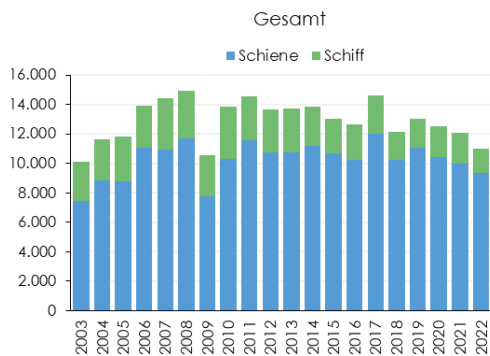
Güterart (NSTR-Kapitel) <10>	Inlandsverkehr	Empfang	Versand	Transit	Gesamt
Erze und Metallabfälle	3.409.359	3.879.346	985.224	1.057.929	9.331.858
Eisen, Stahl und NE-Metalle	1.265.233	1.710.722	2.890.229	1.719.901	7.586.085
Gesamt	4.674.592	5.590.068	3.875.453	2.777.831	16.917.943
In 1.000 Tonnenkilometer Inland					
Erze und Metallabfälle	463.707	1.150.408	213.161	421.345	2.248.621
Eisen, Stahl und NE-Metalle	136.505	388.286	655.712	493.659	1.674.162
Gesamt	600.212	1.538.695	868.873	915.004	3.922.784

Quelle: STAT.AT, WIFO.

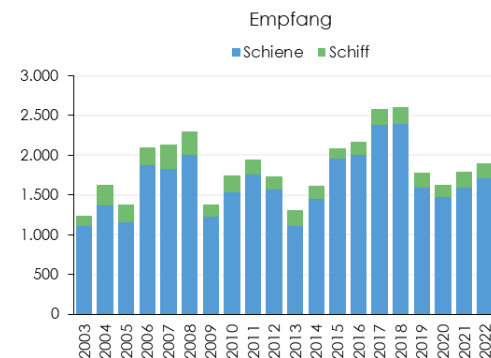
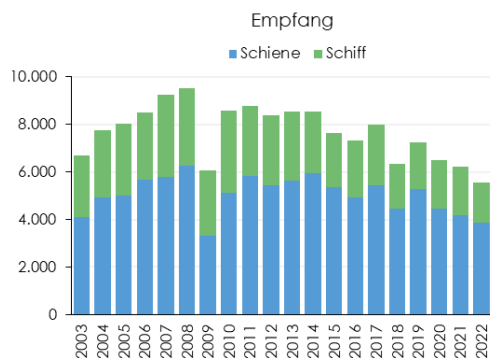
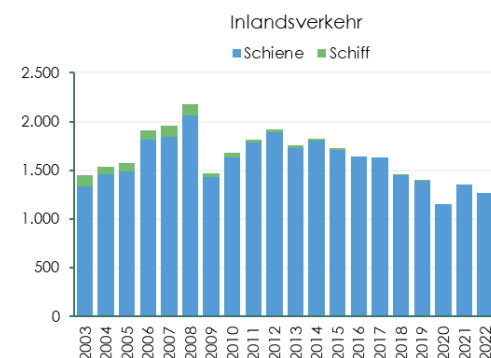
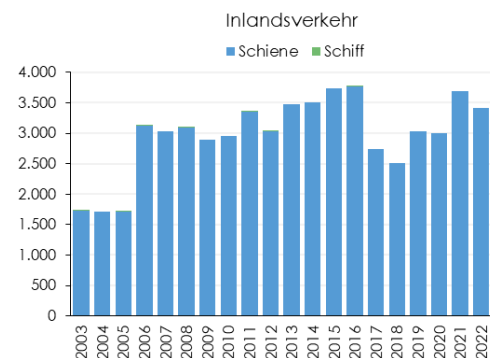
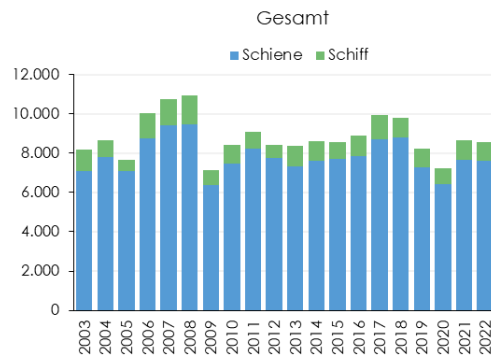
Wie schon bei der Produktionsstatistik und den Außenhandelsdaten weisen auch die Transportmengen eine recht hohe Konstanz auf (Abbildung 20). Am aktuellen Rand lässt sich eine leicht sinkende Tendenz erkennen, die aber auch Pandemie-bedingt sein kann.

Abbildung 20: **Transportvolumina in Tsd. Tonnen nach Transportmodus und Verkehrsart, 2003-2022**

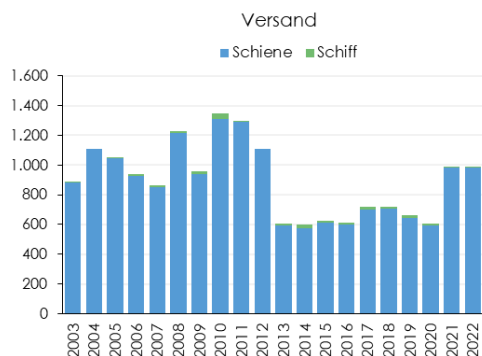
Erze und Metallabfälle



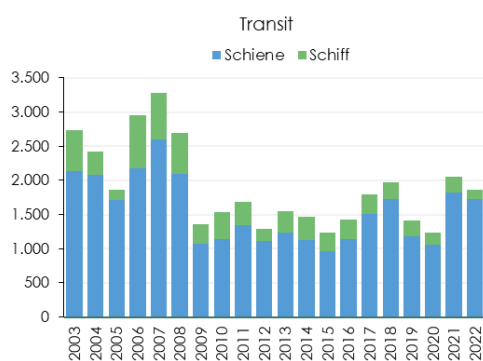
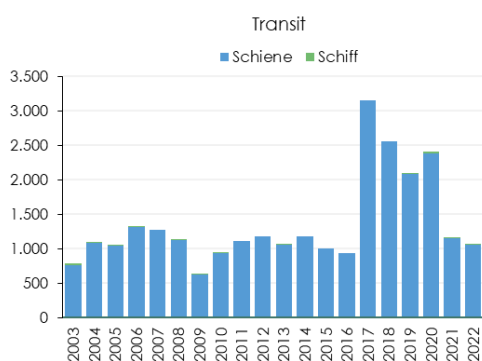
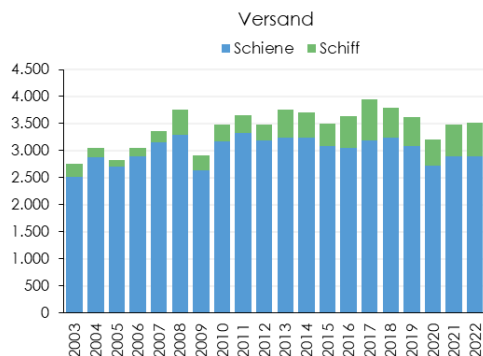
Eisen, Stahl und NE-Metalle



Erze und Metallabfälle



Eisen, Stahl und NE-Metalle

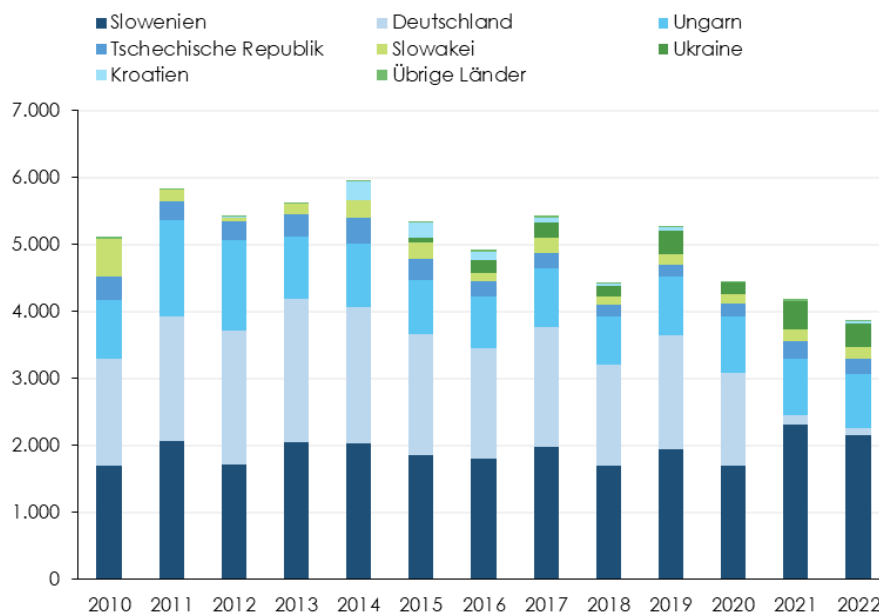


Quelle: STAT.AT, Transportstatistik, WIFO.

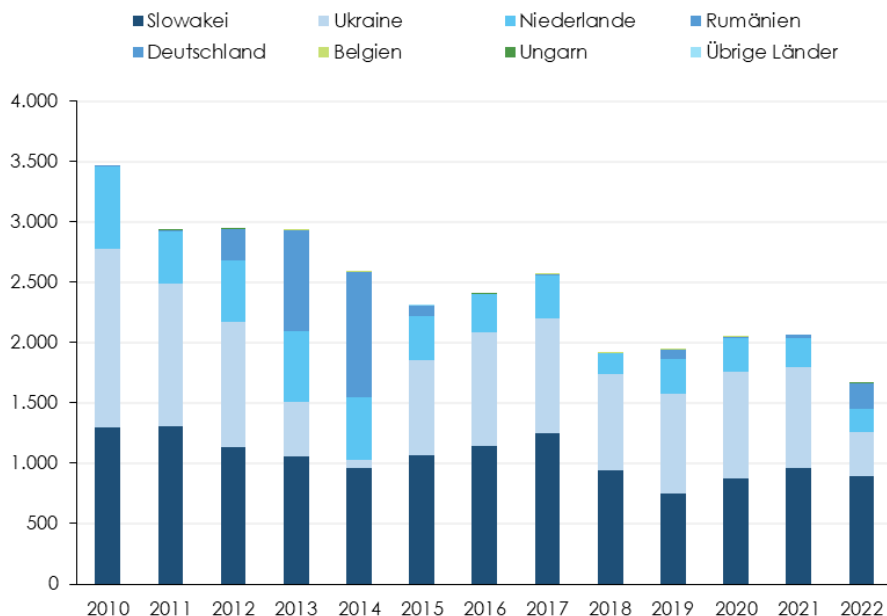
Schlüsselt man die transportierten Mengen an Erzen und Metallabfällen nach ihrer geographischen Dimension auf, so zeigen sich auf der Bahn Slowenien, gefolgt von Deutschland und Ungarn, als wichtigste Einladeländer (Abbildung 21). Auf dem Schiff ist die Ukraine, gefolgt von der Slowakei und – mit Abstand – den Niederlanden, das wichtigste Einladeland. Die Bahn operiert hier in erster Linie im Hinterlandverkehr von Seehäfen (Koper, Hamburg), wie wohl auch die Binnenschifftransporte aus den Niederlanden. In der Tendenz nehmen die Schifftransporte ab. Dies ist möglicherweise auch auf die sich verschlechternde Schiffbarkeit der Donau im Zuge des Klimawandels zurückzuführen. Allerdings keine Verlagerungstendenz auf die Schiene erkennbar. Auch hier gehen die bewegten Tonnagen zurück, wenn auch etwas weniger stark. Beim Bahntransport hat Slowenien – auf Kosten Deutschlands, das ersatzlos einbrechende Transportvolumina aufweist – in den letzten Jahren deutlich an Bedeutung gewonnen.

Abbildung 21: **Transportmenge des Empfangsverkehrs nach Einladeländern, Erze und Metallabfälle in Tsd. Tonnen, 2010-22**

Erze und Metallabfälle – Schiene



Erze und Metallabfälle – Schiff



Quelle: STAT.AT, WIFO.

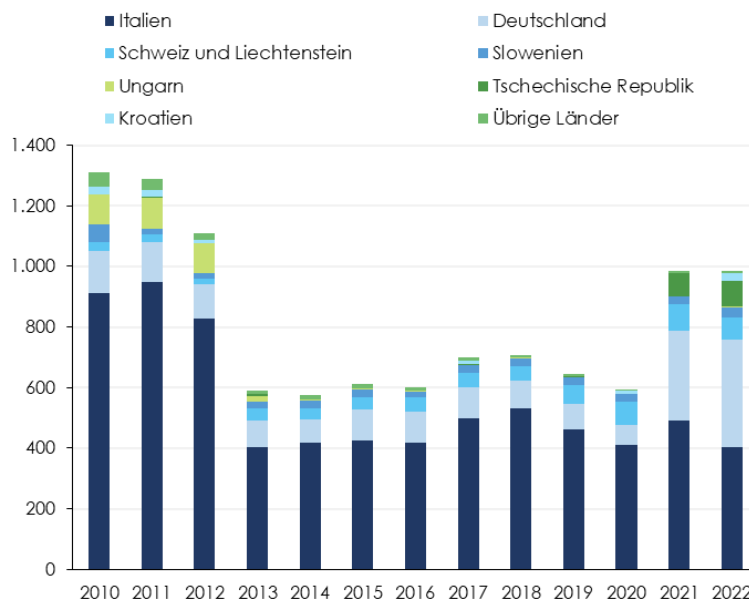
Die versendeten Tonnagen von Erzen und Metallabfällen sind wesentlich geringer als die empfangenen: dies ist wenig überraschend, da praktisch kein heimisches Erz exportiert wird, und

auch Abfälle in der heimischen Metallerzeugung verwendet werden. Auf der Schiene wird am aktuellen Rand rund 1 Mio. Tonnen versendet, in erster Linie nach Italien und Deutschland. Italien war über den gesamten Beobachtungszeitraum das wichtigste Zielland, nach 2012 halbierte sich die Menge allerdings, von fast 1 Mio. Tonnen auf etwa 400-500 Tsd. Tonnen. Umgekehrt stieg 2021 die nach Deutschland verschickte Tonnage auf 400 Tsd. Tonnen an, was zu einem recht sprunghaften Anstieg im Versandverkehr von Erzen und Metallabfällen führte.

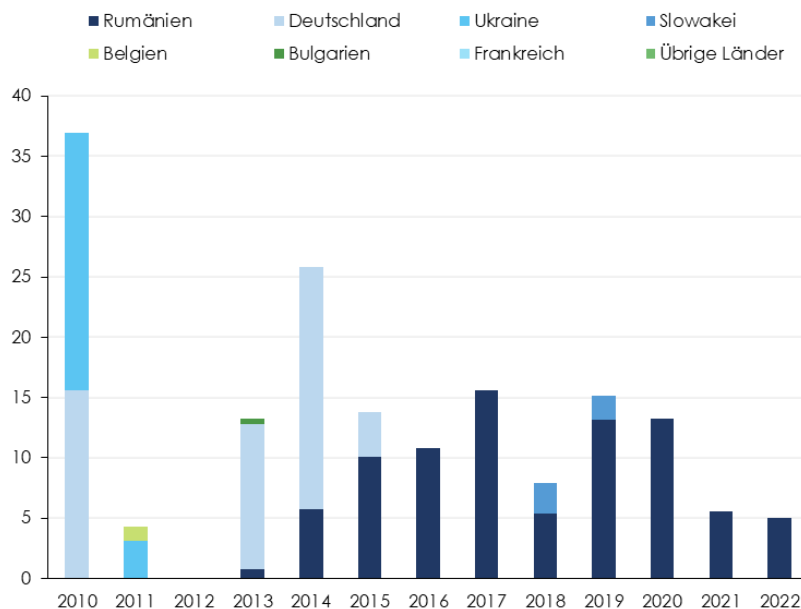
Der Wasserweg hat keine Bedeutung für den Quellverkehr von Erzen und Metallabfällen, und liegt im Bereich von wenigen Tausend Tonnen pro Jahr.

Abbildung 22: **Transportmenge des Versandverkehrs nach Ausladeländern, Erze und Metallabfälle in Tsd. Tonnen, 2010-2022**

Erze und Metallabfälle – Schiene



Erze und Metallabfälle – Schiff

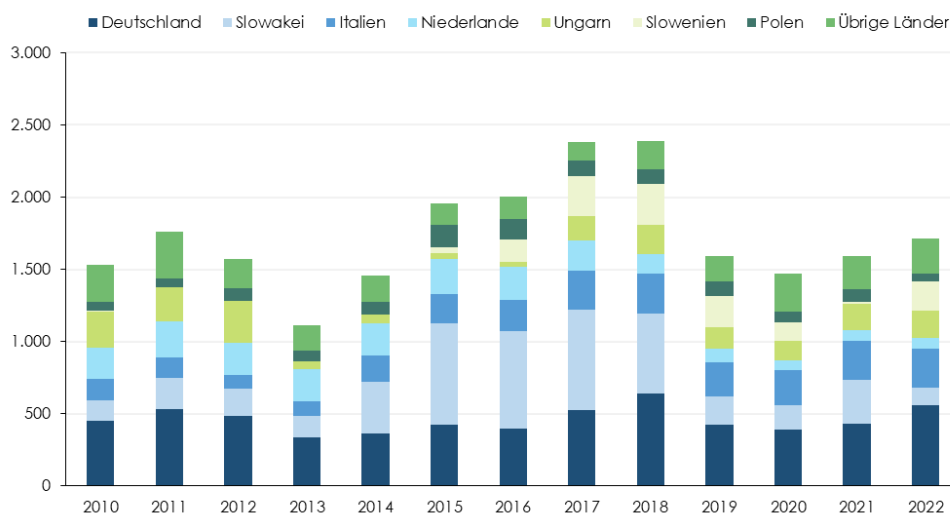


Quelle: STAT.AT, WIFO.

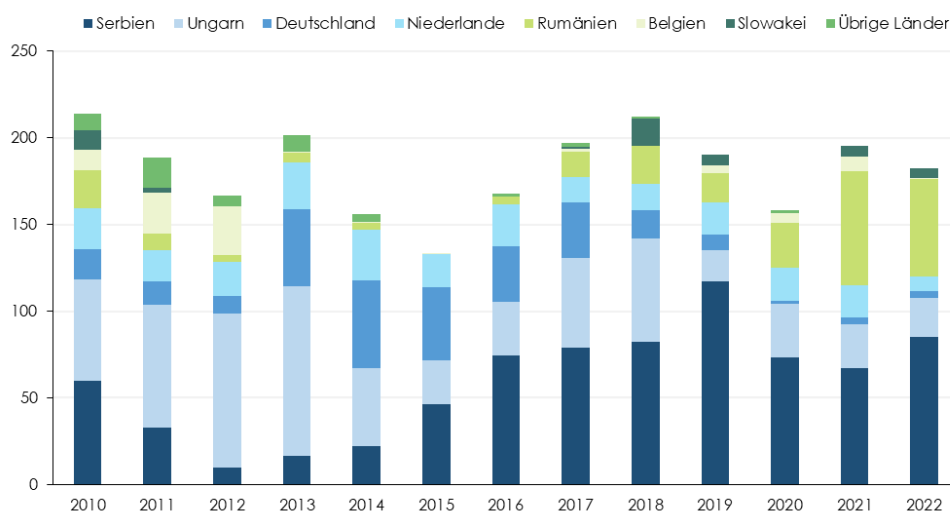
Eisen, Stahl (und NE-Metalle) werden nur in geringem Ausmaß auf dem Wasserweg importiert, der Bahntransport ist hier von wesentlich größerer Bedeutung (Abbildung 23). Haupt-Einlade-länder sind die Nachbarländer Deutschland, Slowakei und Italien.

Abbildung 23: **Transportmenge des Empfangsverkehrs nach Einlade-ländern, Eisen, Stahl und NE-Metalle in Tsd. Tonnen, 2010-22**

Eisen, Stahl und NE-Metalle – Schiene



Eisen, Stahl und NE-Metalle – Schiff



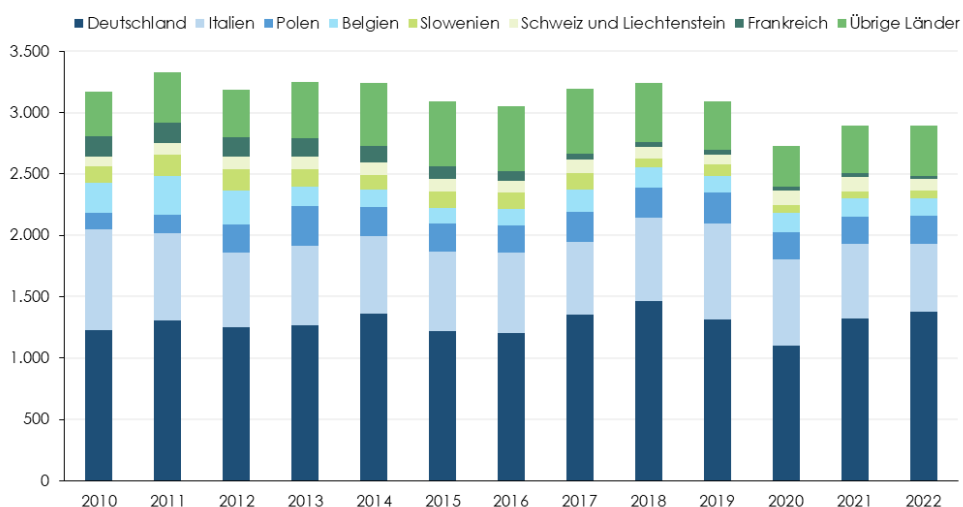
Quelle: STAT.AT, WIFO.

Der Versandverkehr fällt bei Metallen wesentlich höher aus als der Empfangsverkehr. Insbesondere auf der Schiene zeigen sich sehr stabile Abnehmermuster (Abbildung 24). Deutschland und Italien sind die bedeutendsten Ziele, mit einem gemeinsamen Anteil von rund zwei Drittel.

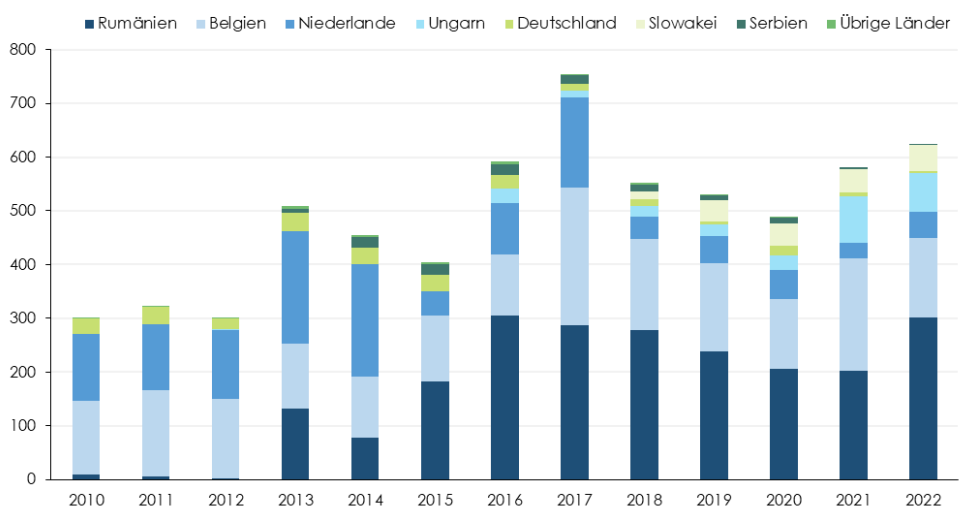
Auch hier ist der Schiffftransport nur von geringer Bedeutung, mit Belgien und den Niederlanden (neben Rumänien) als bedeutendsten Ausladeländern. Slowenien ist bei Metallen nur von untergeordneter Bedeutung. Der Hochseetransport wird im Wesentlichen über die nördlichen Häfen abgewickelt (die Außenhandelsstatistik weist etwa die USA, und auch China, als bedeutenden Abnehmer von Metallen und Metallwaren aus).

Abbildung 24: **Transportmenge des Versandverkehrs nach Ausladeländern, Eisen, Stahl und NE-Metalle in Tsd. Tonnen, 2010-22**

Eisen, Stahl und NE-Metalle – Schiene



Eisen, Stahl und NE-Metalle – Schiff

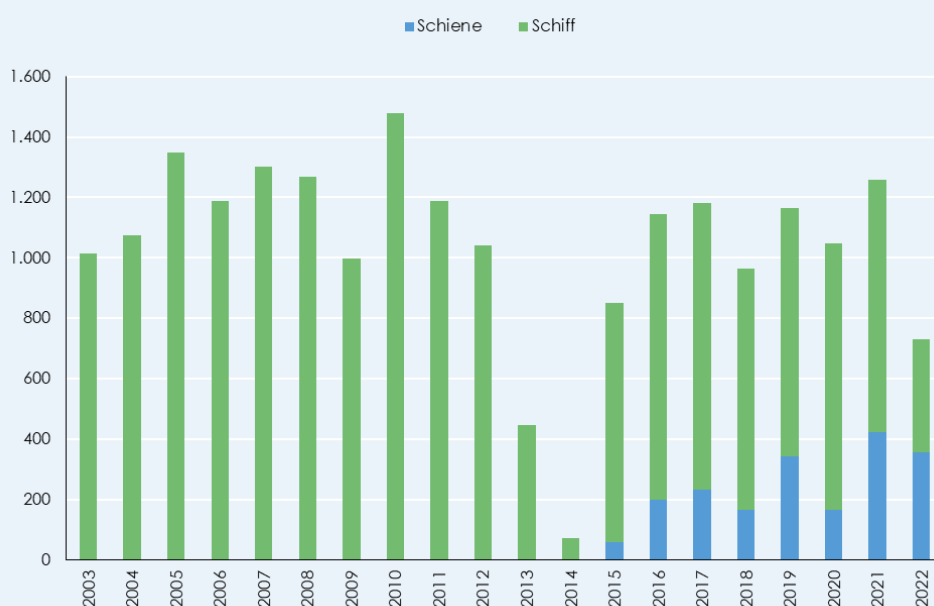


Quelle: STAT.AT, WIFO.

Box 2: Transporte aus der Ukraine

Von aktuellem Interesse sind die Erztransporte aus der Ukraine, zumal dieses Land rund ein Sechstel der Erzimporte nach Österreich stellt. Seit 2003 sind die Volumina relativ stabil bei rund 1-1,2 Mio. Tonnen pro Jahr (Abbildung 25). 2013 und 2014 wurden sehr geringe Transportmengen verzeichnet. Die kann mit der Annexion der Krim durch Russland im Jahr 2014 zusammenhängen. Seitdem nahmen die Importe über die Schiene deutlich zu. Waren sie vorher praktisch inexistent, stieg der Modal Split in den Folgejahren auf rund ein Drittel. 2022 (wiederum ein Kriegsjahr) sanken die Erzlieferungen aus der Ukraine abermals auf gut die Hälfte des Vorjahres (rund 700 Mio. Tonnen).

Abbildung 25: **Erztransporte aus der Ukraine nach Modus in Tsd. Tonnen, 2003-2022**



Quelle: STAT.AT, WIFO.

Da Österreich ein Binnenland ist, müssen Hochseetransporte umgeladen werden. Dies bewirkt eine spürbare Diskrepanz zwischen Handels- und Transportstatistik. Abbildung 26 verdeutlicht diese Unterschiede.

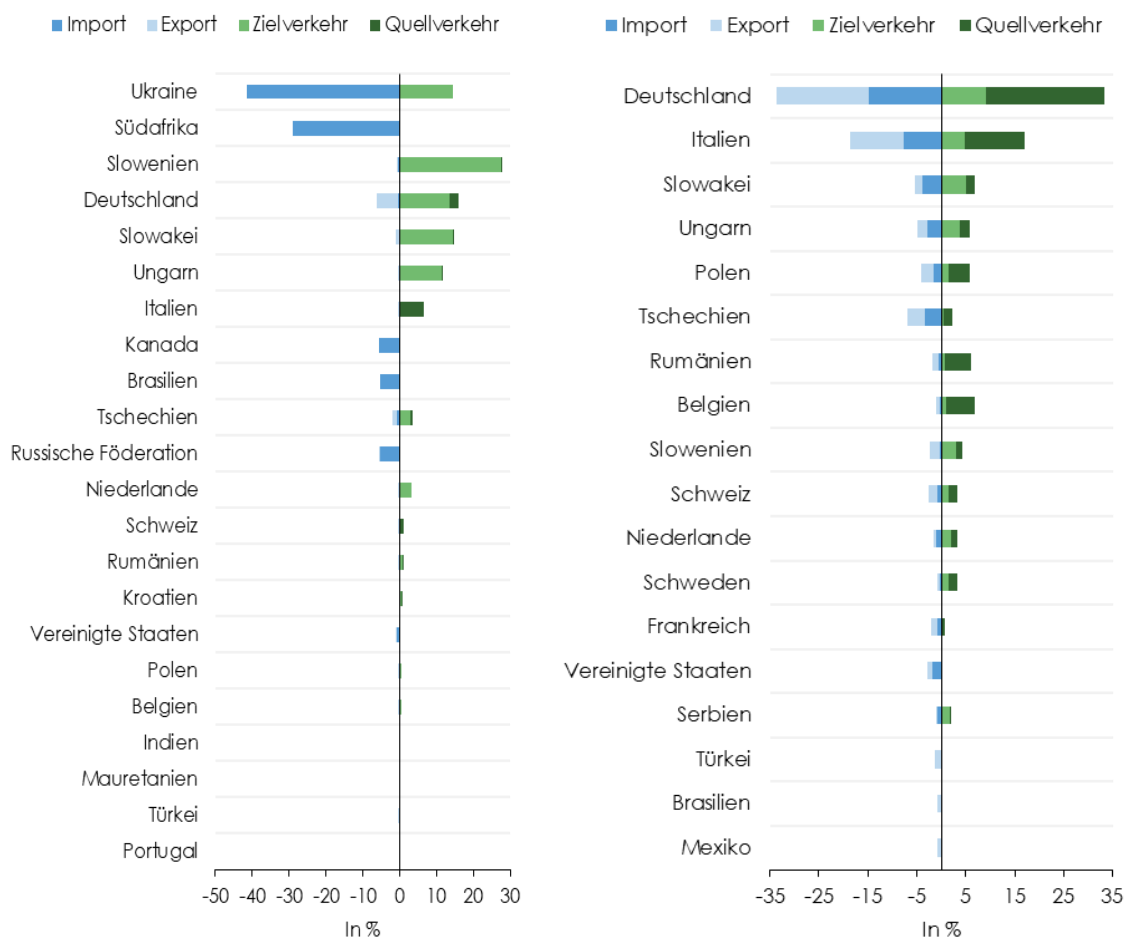
Die Diskrepanz ist bei Erzen wesentlich höher als bei Eisen und Stahl. Grund ist, dass hier auch der Anteil der Übersee-Handelspartner wesentlich höher ist. Südafrika, Kanada, Brasilien stellen rund 40% der Erzimporte. Der Anteil der Übersee-Handelspartner bei Eisen und Stahl ist deutlich geringer. Die Gegenüberstellung hilft, die Häfen zu identifizieren, über die Überseetransporte abgewickelt werden. Vor allem Slowenien und Deutschland, (in großem Abstand) gefolgt von Italien und den Niederlanden, erscheinen hier als die wichtigsten Umschlaghäfen. Aber auch die Slowakei und Ungarn weisen deutlich höherer Transport- als Handelsanteile auf. Hier dürften Weitertransporte (evtl. mit Spurwechsel auf die Schiene) von (Land)Transporten aus Osteuropa (Ukraine, Russland) die Ursache sein.

Dies alles bewirkt speziell bei Erztransporten eine sehr geringe Korrelation zwischen Handels- und Transportdaten: nur 16 bzw. 30% betragen die Korrelationen im Import bzw. Export. Im Gegensatz dazu passen die beiden Datenquellen bei Eisen und Stahl recht gut zusammen: 87 bzw. 95% betragen hier die Korrelationen zwischen Quellverkehr und Importen und Zielverkehr und Exporten.

Abbildung 26: **Quell- und Zielverkehr vs. Importe und Exporte nach Regionen, 2022**

Erze und Metallabfälle

Eisen, Stahl und NE-Metalle



Quelle: STAT.AT, WIFO.

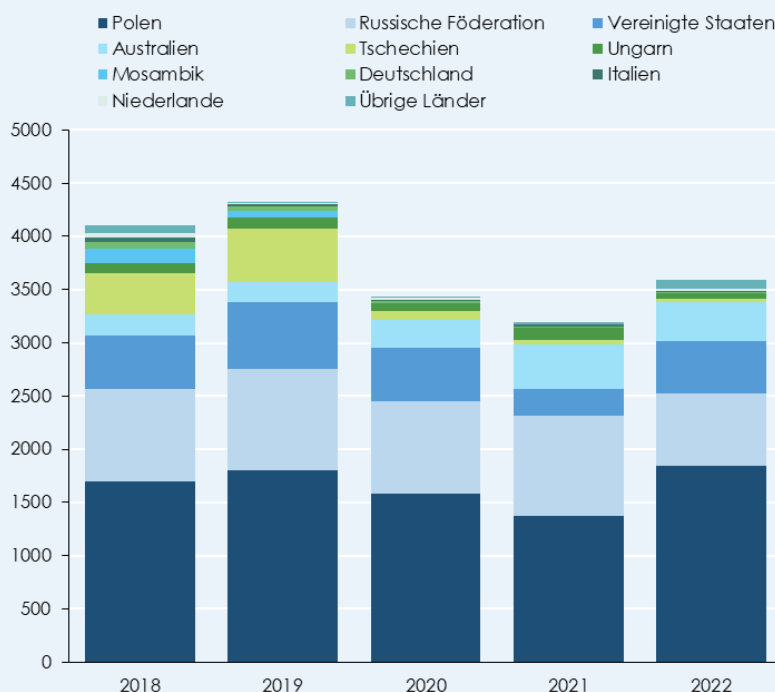
Box 3: Kohletransporte

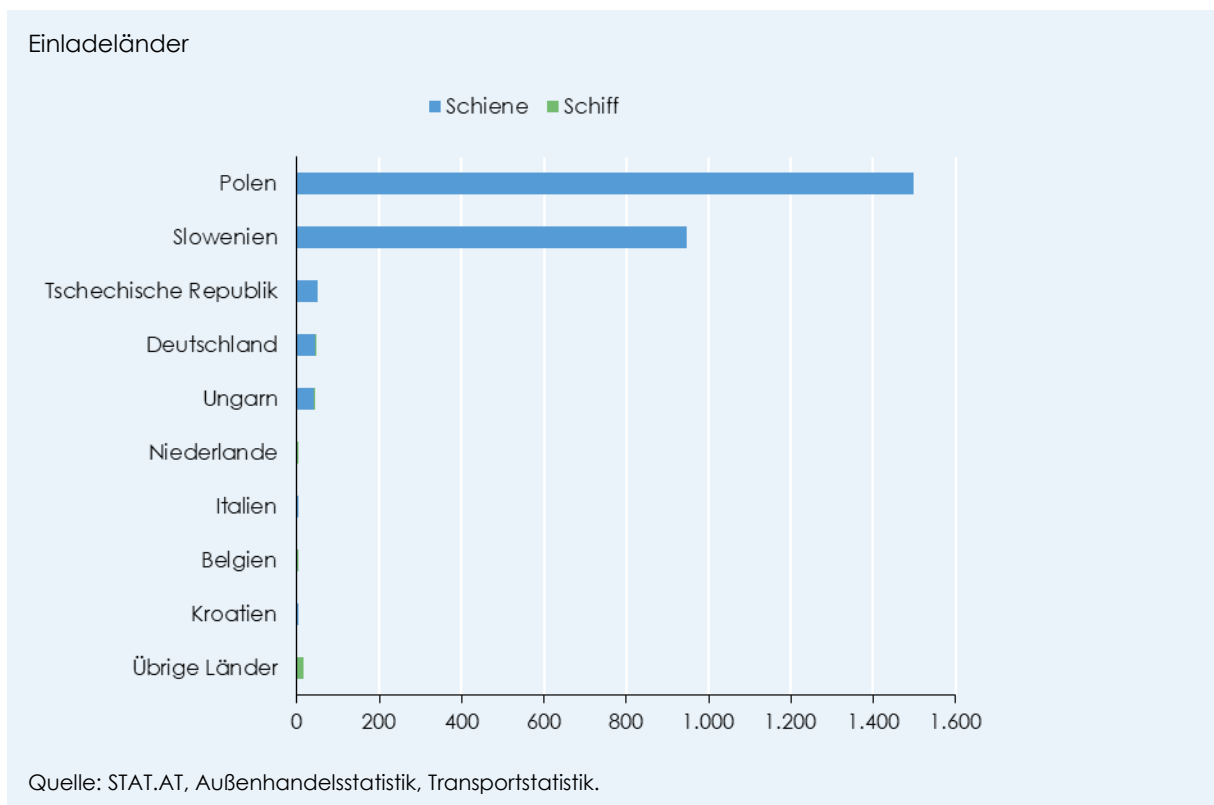
Für die Eisenerzeugung werden zusätzlich zu Erz noch Steinkohle bzw. Koks importiert. Heimische Förderung von Steinkohle gibt es nicht. Seit der Stilllegung des letzten Steinkohlekraftwerks in Mellach gibt es auch keine nennenswerten anderen Verwendungen für (Stein)Kohle mehr in Österreich. Die Importe belaufen sich lt. Außenhandelsstatistik auf 3,5 Mio. Tonnen im Jahr 2022. Bis 2019, also so lange Mellach in Betrieb war, fielen die Importe um rund 1 Mio. Tonnen höher aus. Die Hauptlieferanten sind Polen und die Russische Föderation, mit Anteilen von je etwa 45 bzw. 33% in den letzten 5 Jahren. Russlands Anteil ist dabei 2022 zwar zurückgegangen, betrug aber immer noch fast 20% (Vergleich 2021: 30%).

Die Transportstatistik unterscheidet nach Transportmodus: Kohle wird fast ausschließlich auf der Schiene nach Österreich transportiert. Erstaunlicherweise liegt der Anteil der Binnenschifffahrt unter 1% (mit Transportmengen von unter 100 Tsd. Tonnen). Die Transportstatistik nach Einladeländern reflektiert auch den Moduswechsel von Hochseeschiffen auf die Schiene: Polen bleibt zwar das Top-Einladeland (1,5 Mio. Tonnen 2022, Anteil fast 60%), Slowenien ist durch den Hafen Koper mit deutlich mehr als einem Drittel aber nun das zweitwichtigste Einladeland. Die übrigen Länder fallen vergleichsweise kaum ins Gewicht.

Abbildung 27: **Importvolumina nach Ursprungs- bzw. Einladeland lt. Außenhandels- bzw. Transportstatistik in Tsd. Tonnen, 2022**

Import von Steinkohle und Koks





Der Kohletransport ist mengenmäßig beträchtlich, und wird von der Schiene dominiert. Dieses Geschäftsfeld kann aber zu einem jähen Ende kommen. Tatsächlich plant die Voestalpine zwei Hochöfen (je einen in Linz und in Donawitz) bis 2027 durch Elektrolichtbogenöfen auszutauschen (vgl. Box 1 in Kapitel 2.2). Bei der Elektrostahlroute sind flüssiges Roheisen, Schrott und der Eisenschwamm („HBI“), der in einer Direktreduktionsanlage hergestellt wird, die wichtigsten Vormaterialien. Dabei wird Eisenerz unter Einsatz von Erdgas zu Eisen reduziert, anstatt mit Kohle und Koks, wodurch weniger CO₂-Emissionen entstehen. Damit werden Kohle und Koks zunehmend als wichtiges Inputmaterial für die Eisen- und Stahlerzeugung an Bedeutung verlieren. Kurzfristig kann die Umstellung auf Elektrolichtbogenöfen den Wegfall von möglicherweise 1-1,5 Mio. Tonnen an Steinkohle bedeuten¹¹, die derzeit noch ganz überwiegend auf der Schiene importiert werden

2.10 Zusammenfassung

Die Metallerzeugung und -verarbeitung in Österreich hat in den letzten zwei Jahrzehnten eine stabile Entwicklung mit leicht steigender Beschäftigung gezeigt. Sie ist regional konzentriert, hauptsächlich in Linz und Donawitz, und durch wenige Unternehmen dominiert. Während diese Ausrichtung günstige Bedingungen für den Schienentransport bietet, birgt sie auch

¹¹ 2021 und 22 wurden 3-3,5 Mio. Tonnen an Steinkohle importiert, deren Hauptabnehmer die (fünf) Hochöfen in Linz und Donawitz bilden. Der Wegfall von zwei Hochöfen könnte damit den erwähnten Rückgang im Steinkohletransport von 1-1,5 Mio. Tonnen bewirken.

ökonomische Risiken, insbesondere im Kontext sinkender inländischer Erzreserven und strengerer Umweltauflagen. Die Umstellung auf das Elektrolichtbogenverfahren könnte den Standort Österreich mittelfristig sichern, aber kurzfristig den Verlust des Transportes von bis zu 1-1,5 Millionen Tonnen Steinkohle bedeuten. Der Klimawandel könnte hingegen zu schlechterer Schiffbarkeit der Donau führen und damit den Transport auf die Schiene verlagern. Die Investition in Infrastruktur ist unerlässlich, wie die Situation in der Ukraine zeigt, wo die Schiene die Kapazitäten des Seeverkehrs nicht ausgleichen kann. Die heimische Entwicklung der Metallindustrie hängt mitunter von der Automobilindustrie und ihrer Zulieferbetriebe ab, insbesondere angesichts der Umstellung auf E-Mobilität und möglichen Marktanteilsverlusten für europäische Hersteller. Damit wird die europäische Klimapolitik ein wichtiges Gestaltungselement der Zukunft der österreichischen Eisen- und Stahlindustrie. Im nächsten Abschnitt werden die großen Herausforderungen, die sich die österreichische Eisen- und Stahlindustrie künftig stellen muss, näher beleuchtet.

3. Auswirkungen des strukturellen Wandels und der gestiegenen geopolitischen Unsicherheit auf den Standort Österreich

In Folge des Klimawandels steht die europäische und die österreichische Eisen- und Stahlindustrie vor großen Herausforderungen. Die größten Herausforderungen für die Stahlbranche ergeben sich aus den ehrgeizigen Zielen der europäischen Klimapolitik zur Verringerung der Treibhausgasemissionen, der Unsicherheiten hinsichtlich der Entwicklung der Produktionskosten aufgrund höherer CO₂-Preise bzw. höheren Energiepreisen sowie aus potenziellen Bedrohungen des Freihandels durch protektionistische Maßnahmen in anderen stahlerzeugenden Ländern.

Die bisherigen Erkenntnisse zeigen, dass der Bahntransport für die Eisen- und Stahlindustrie eine wichtige Rolle spielt. Es stellt sich aber die Frage, wie wirtschaftliche Herausforderungen und Trends die Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Österreich für die Eisen- und Stahlindustrie verändern werden. Die wirtschaftlichen, klima- und geopolitischen Herausforderungen können die Attraktivität des Standort Österreich für die Eisen- und Stahlindustrie bzw. die Produktionstechnologie verändern und auch Rückwirkungen auf den Gütertransport haben.

Im Folgenden werden die Herausforderungen von

- Dekarbonisierung und Klimawandel,
- geopolitische Risiken (inkl. internationaler Handel), sowie
- Digitalisierung

für die Stahlindustrie diskutiert. Dabei werden mögliche politische, technologische und wirtschaftliche Entwicklungen skizziert und die möglichen Auswirkungen auf die Eisen- und Stahlindustrie sowie auf Logistik und Transport dargestellt.

Zur Beantwortung dieser Fragen wurde dabei methodisch auf bestehende Literatur und Befragungsergebnisse zurückgegriffen, um die Relevanz der Herausforderungen auf die Eisen- und Stahlindustrie herauszuarbeiten. Daneben wurden zur Validierung der Ergebnisse leitfadengestützte Experteninterviews durchgeführt. Die Interviews erlaubten es den Unternehmen detailliertere Informationen zu den Herausforderungen und Chancen der Eisen- und Stahlindustrie in Österreich und die Rückwirkung auf den Gütertransport zu geben.

Das Kapitel ist folgendermaßen strukturiert: der nächste Abschnitt gibt einen kurzen Überblick über rezente Entwicklungen, die Veränderungen der Wettbewerbsposition der Eisen- und Stahlindustrie in Folge der Energiepreisanstiege auf Grund des Ukrainekriegs, sowie einen Überblick über die wichtigsten Faktoren der wirtschaftspolitischen Unsicherheit und ihrer Auswirkungen. Im darauffolgenden Abschnitt werden die Herausforderungen durch Klimawandel und Dekarbonisierung, durch geopolitische Risiken und Handelspolitik sowie Digitalisierung in größerem Detail diskutiert sowie Auswirkungen auf den Standort Österreich herausgearbeitet. In Abschnitt 3.3 werden die Ergebnisse der qualitativen Befragung zwecks Validierung der Ergebnisse dargestellt.

3.1 Energiepreise, Unsicherheit und Unternehmensstrategien

Der rezente Anstieg der Energiepreise in Europa hat vor allem die Wettbewerbsfähigkeit der energieintensiven Grundstoffindustrie getroffen. Auch in Österreich war die Eisen- und Stahlindustrie, als sehr energieintensive Industrie, durch die Energiepreisanstiege stark betroffen. Übersicht 9 zeigt, dass die Ertragslage der österreichischen Unternehmen in der Eisen- und Stahlindustrie stärker betroffen war als der Durchschnitt der österreichischen Sachgütererzeugung. Im Update der WIFO-Industriebefragung 2023 (vgl. Box 4) zu den Auswirkungen weiterhin hoher Energiepreise meldeten 71% der Eisen- und Stahlunternehmen, dass der Anstieg der Energiekosten stark negative Auswirkungen auf die Ertragslage hatte, 29% berichteten von negativen Auswirkungen.

Übersicht 9: **Auswirkung der Entwicklung der Energiekosten auf die Ertragslage, Sachgütererzeugung**

	Stark negativ	Negativ	Eher negativ	Weder noch	Eher positiv
Sachgütererzeugung	49%	32%	14%	4%	1%
Eisen- und Stahlindustrie	71%	29%	0%	0%	0%

Quelle: WIFO Industriebefragung Update 2023.

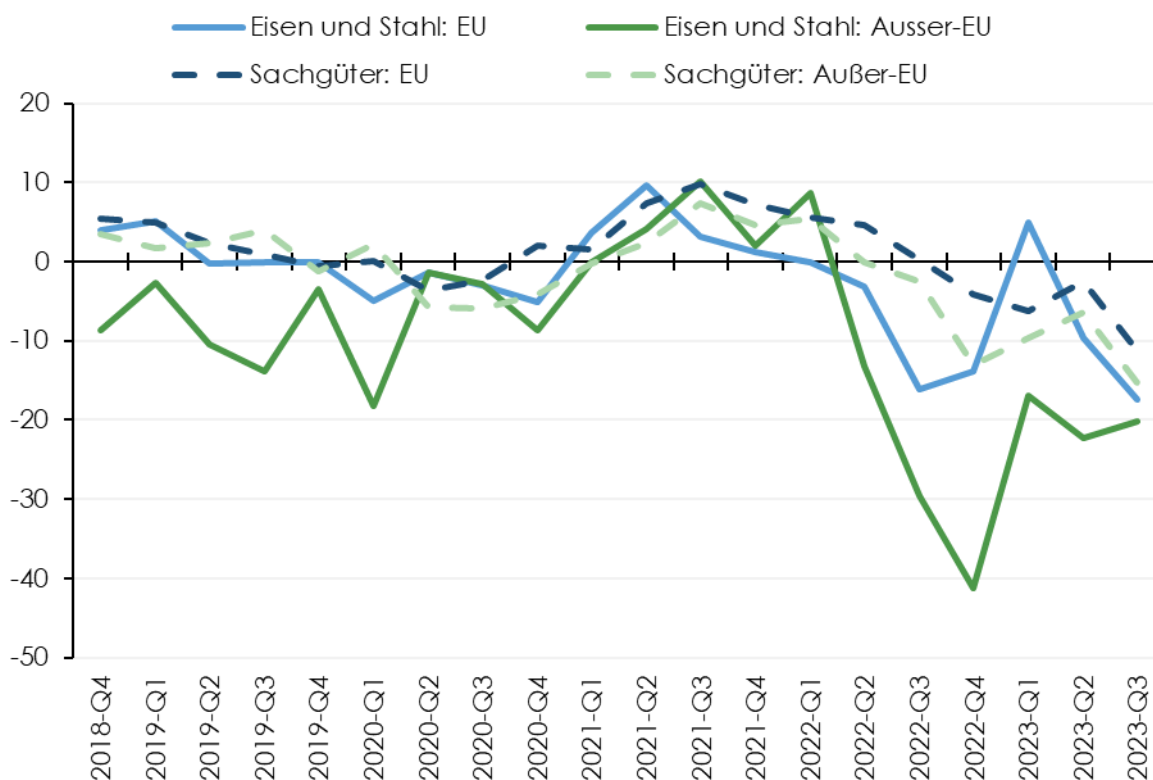
Box 4: **Die WIFO-Industriebefragung (Update 2023)**

Das WIFO führt seit 2016 eine Befragung der größten österreichischen Industrieunternehmen durch, die deren Wettbewerbsstrategien und Einschätzung des Industriestandortes Österreich zum Inhalt hat. Diese Umfrage wird alle drei Jahre wiederholt. Die Ergebnisse der Industriebefragung wurden in den WIFO-Monatsberichten veröffentlicht (Hözl et al., 2017; Kügler et al., 2020; Reinstaller et al. 2022) sowie in einer Reihe von WIFO-Studien zur österreichischen Industrie verwendet.

Bereits im Zuge der COVID-19 Krise wurde im Sommer 2020 ein Update der Industriebefragung 2019 mit einem geringen Fragenumfang durchgeführt. Im Zuge der Energiepreisanstiege wurde im Februar/März 2023 ein weiteres Update der Industriebefragung durchgeführt (Hözl et al. 2023). Dieses Update der WIFO-Industriebefragung wird in der vorliegenden Studie verwendet. Updates enthalten weniger Fragen als die reguläre Industriebefragung und setzen thematische Schwerpunkte. Während die WIFO-Industriebefragungen in der Regel repräsentative Ergebnisse zu Unternehmensstrategien, sowie Veränderungen der Positionierung in weltweiten Wertschöpfungsketten und der Kernkompetenzen der befragten Unternehmen beinhaltet, fokussierte sich das Update 2023 auf die Auswirkungen höherer Energiepreise auf die Wettbewerbsfähigkeit.

Befragt werden im Rahmen der WIFO-Industriebefragung Unternehmen in der österreichischen Industrie (NACE-2-Segment C, "Herstellung von Waren"), die in der Herold-Datenbank mehr als 250 Beschäftigte gemeldet hatten (rund die Hälfte des Bruttosamples). Diese wird durch eine Stichprobe von Produktionsunternehmen mit 100 bis 250 Beschäftigten ergänzt. Die Bruttostichprobe umfasst je nach Befragungswelle rund 1.000 bis 1.100 österreichische Industrieunternehmen. Rund ein Viertel beantwortet in der Regel den Fragebogen. Die Rücklaufquote für das Update der WIFO-Industriebefragung vom Februar/März 2023 lag bei 25,8%. Die Anzahl der antwortenden Unternehmen (278) lag damit im Schnitt der vorherigen WIFO-Industriebefragung von 2021. Die Rücklaufquote ist als gut einzuschätzen, bei freiwilligen Unternehmensbefragungen können Rücklaufquoten im Bereich von 7% bis 25% erwartet werden. Die Nettostichprobe deckt rund ein Sechstel der gesamten Beschäftigung in der österreichischen Sachgütererzeugung ab.

Abbildung 28: **Veränderung der Wettbewerbsposition auf EU- und außereuropäischen Märkten, Salden in % aller Meldungen**



Quelle: WIFO-Konjunkturtest (saisonbereinigt). Im WIFO-Konjunkturtest werden quartalsweise die Veränderungen der Wettbewerbsposition der österreichischen Industrieunternehmen abgefragt. Die Veränderung der Wettbewerbsposition wird mittels Salden dargestellt: Vom Anteil der Unternehmen, die angaben, dass sich ihre Wettbewerbsposition in den letzten drei Monaten verbessert hat, wird der Anteil jener Unternehmen abgezogen, die von einer Verschlechterung der Wettbewerbsposition berichteten.

Diese negativen Auswirkungen spiegeln sich auch in der Selbsteinschätzung der Unternehmen zur Veränderung der Wettbewerbsposition auf internationalen Märkten wider, die im Rahmen des WIFO-Konjunkturtests erhoben wird (Abbildung 28). Die im Zuge des Ukrainekriegs sich erhöhenden Energiepreise führten zu einer Verschlechterung der Wettbewerbsposition auf den internationalen Märkten der österreichischen Sachgütererzeuger, insbesondere auf Märkten außerhalb der EU. Denn die Energiepreisanstiege waren vor allem in Europa besonders hoch. Wie auch die Auftragsbestände zeigen, waren davon besonders die Unternehmen in der Eisen- und Stahlindustrie betroffen. Abbildung 28 zeigt auch, dass in der Eisen- und Stahlindustrie bereits 2019 die Wettbewerbsposition auf außereuropäischen Märkten unter Druck war (unter den Werten der Sachgütererzeugung insgesamt). Die Entwicklung 2019 war durch internationale Handelskonflikte bedingt. Die USA unter Präsident Trump verhängten im Frühjahr 2018 Strafzölle in der Höhe von 25% auf Stahl- und Aluminiumimporte gegen Großbritannien, die EU und Japan - die Unsicherheit bezüglich dieser (geo- und handelspolitischen) Veränderungen wirkte noch 2019.

Handelspolitische Risiken und Energiepreise sind hohe Risiken für die Unternehmen der Stahlindustrie, wie auch die Ergebnisse der WIFO-Industriebefragung 2023 zeigen (Übersicht 10). Im Zuge der Energiekrise wurden die Industrieunternehmen nach Abschätzbarkeit und Relevanz verschiedener wirtschaftspolitischer Risikofaktoren befragt.

Wirtschaftspolitische Unsicherheit ist nicht direkt beobachtbar, hat aber wichtige Auswirkungen auf Investitionen und Beschäftigung. Die meisten Indikatoren der wirtschaftspolitischen Unsicherheit (wie etwa Volatilität der Finanzmärkte) lassen keine Rückschlüsse auf Ursachen der wirtschaftspolitischen Unsicherheit zu. Während Unsicherheitsschocks in der Regel als kurzfristig angesehen werden, hat die COVID-19-Krise gezeigt, dass hohe Unwägbarkeiten länger andauern können. Auch die Wirtschaftspolitik selbst kann durch plötzliche Kursänderungen (z.B. aufgrund von Wahlergebnissen) oder unerwarteten Regulierungsänderungen zur unternehmerischen Unsicherheit beitragen. Allerdings berücksichtigen die wenigsten Studien, welche Politikbereiche die unternehmerische Unsicherheit am stärksten beeinflussen, und welche wirtschaftlichen Unwägbarkeiten für die Unternehmen von Bedeutung sind.

Die Mehrheit der Unternehmen stufte die Abschätzbarkeit der meisten globalen Risikofaktoren als Mittel ein (Übersicht 10). Über alle Branchen hinweg waren Energiepreise (66% der Unternehmen), aber auch die Entwicklung der Weltwirtschaft (42%) sowie die internationale Handelspolitik (39%) und der Klimawandel (38%) am schlechtesten einschätzbar. In der Eisen- und Stahlindustrie wurden diese Faktoren als noch schlechter einschätzbar eingestuft. Die Spalte „Score“ gibt Aufschluss über die Tendenz der Einschätzungen. Die Scores entsprechen gewichteten Mittelwerten mit Gewichten von 1 für schlechte Abschätzbarkeit, Gewichten von 0,5 für mittlere Abschätzbarkeit und Gewichten von 0 für gute Abschätzbarkeit. Ein hoher Score der Unsicherheit sagt aus, dass der Risikofaktor schlecht einschätzbar ist. Der Wertebereich des Scores ist zwischen 0 (sehr geringe Unsicherheit) und 1 (sehr hohe Unsicherheit), Werte von 0,5 geben eine mittlere Unsicherheit wieder. Die hohen Scores für die Risikofaktoren „Energiepreise“, „Entwicklung der Weltwirtschaft“, „internationale Handelspolitik“ und „Klimawandel“ drücken deren schlechte Abschätzbarkeit für die Unternehmen der Eisen- und Stahlindustrie aus.

Auch für die Relevanz wurden mit der gleichen Methode Scores gebildet - mit Gewichten von 1 (hohe Relevanz), 0,5 (mittlere Relevanz) und 0 (geringe Relevanz). Bei der Relevanz für das Unternehmen zeigen sich ebenfalls Unterschiede in der Bewertung der Sachgütererzeugung insgesamt und der Eisen- und Stahlindustrie. Hinsichtlich der Relevanz stechen die „Energiepreise“ und die „Entwicklung des Binnenmarkts“ sowie die „Entwicklung der Weltwirtschaft“ sowie im Falle der Eisen- und Stahlindustrie die „internationale Handelspolitik“ hervor.

Übersicht 10: **Abschätzbarkeit und Relevanz globaler wirtschaftspolitischer Risikofaktoren**

	Abschätzbarkeit des Risikos				Relevanz für das Unternehmen			
	Gut	Mittel	Schlecht	Wert	Hoch	Mittel	Gering	Wert
Sachgütererzeugung								
Entwicklung der Weltwirtschaft	3%	55%	42%	0,69	42%	48%	10%	0,66
Entwicklung der Binnenmarkt	12%	59%	29%	0,59	55%	40%	5%	0,75
Wechselkurse	10%	55%	34%	0,62	16%	51%	33%	0,41
Zinssätze	18%	58%	24%	0,53	29%	48%	23%	0,53
Energiepreise	3%	31%	66%	0,82	64%	30%	6%	0,79
Internationale Handelspolitik	4%	57%	39%	0,68	26%	57%	18%	0,54
Klimawandel	18%	44%	38%	0,60	27%	51%	22%	0,52
Eisen- und Stahlindustrie								
Entwicklung der Weltwirtschaft	0%	43%	57%	0,79	57%	43%	0%	0,79
Entwicklung der Binnenmarkt	0%	86%	14%	0,57	43%	57%	0%	0,71
Wechselkurse	14%	71%	14%	0,50	14%	43%	43%	0,36
Zinssätze	29%	57%	14%	0,43	29%	43%	29%	0,50
Energiepreise	0%	14%	86%	0,93	100%	0%	0%	1,00
Internationale Handelspolitik	0%	43%	57%	0,79	43%	57%	0%	0,71
Klimawandel	14%	29%	57%	0,71	14%	57%	29%	0,43

Quelle: WIFO-Industriebefragung Update 2023, WIFO-Darstellung. Frage: Wie hoch ist die Unsicherheit in Ihrem Unternehmen bezüglich der Entwicklung folgender wirtschaftspolitischer Risikofaktoren und wie schätzen Sie deren Auswirkung auf Ihr Unternehmen ein? Die Werte basieren auf gewichteten Mittelwerten mit Gewichten von 1 (schlechte Abschätzbarkeit bzw. hohe Relevanz), 0,5 (mittlere Abschätzbarkeit bzw. Relevanz) und 0 (gute Abschätzbarkeit bzw. geringe oder keine Relevanz). Sie können Werte zwischen 0 (sehr gute Abschätzbarkeit bzw. sehr geringe Relevanz) und 1 (sehr schlechte Abschätzbarkeit bzw. sehr hohe Relevanz) einnehmen und geben Aufschluss über die Tendenz der Antworten.

Die wirtschaftspolitische Unsicherheit beeinflusst in vielen Bereichen die Unternehmensentscheidungen (Übersicht 11). In den österreichischen Industrieunternehmen wirkt sich eine höhere wirtschaftspolitische Unsicherheit dämpfend auf die Ausrüstungsinvestitionen (40%) und die Unternehmensexpansion (37%) aus und fördert die geographische Verlagerung von Unternehmensaktivitäten (Off- oder Reshoring: 42%), die Auslagerung von Unternehmensaktivitäten an Zulieferer (Outsourcing: 41%) und Digitalisierungsprojekte (38%). Tendenziell beeinflusst sie auch Entscheidungen im Bereich Forschung und Entwicklung.

Hier zeigen sich Unterschiede zwischen dem Durchschnitt der Sachgüterunternehmen und der Eisen- und Stahlindustrie, wo die Ergebnisse Investitionszurückhaltung anzeigen, allerdings keine negativen Auswirkungen auf die Unternehmensexpansion, und keine positiven Effekte für die Digitalisierungsanstrengungen. Hingegen zeigt sich eine deutlich höhere Wirkung auf die

geographische Verlagerung von Unternehmensaktivitäten (57%) und die Auslagerung von Unternehmensaktivitäten an Zulieferer (71%) als im Durchschnitt der Sachgütererzeugung.

Gegenüber den Befragungsergebnissen von 2020 (COVID-19-Krise) zeigen sich recht deutliche Unterschiede. Die markantesten Unterschiede zwischen den zwei Befragungswellen betreffen, für die Sachgüterindustrie insgesamt und für die Eisen- und Stahlindustrie, Verlagerungen und Auslagerungen: Die Bedeutung der geographischen Verlagerung von Unternehmensaktivitäten (Off- oder Reshoring) stieg deutlich an, ebenso wie die Auslagerung von Unternehmensaktivitäten an Zulieferer. Sonstige Auswirkungen wirtschaftspolitischer Unsicherheit bleiben im Rahmen von nicht statistisch signifikanten Schwankungsbreiten.

Diese Ergebnisse bestätigen, dass die Energiekrise, gekoppelt mit handelspolitischen Veränderungen, zu einem Nachdenken über Produktionsstandorte führt. Über die Rationalisierung von Lieferketten hinaus, kommt es aufgrund der gestiegenen Energiekosten zu einer Neubewertung der geografischen Verteilung von Produktionsschritten und -standorten.

Übersicht 11: **Auswirkungen der wirtschaftspolitischen Unsicherheit auf ausgewählte Unternehmensentscheidungen**

	Steigt bzw. steigen	Keine Auswirkungen	Sinkt bzw. sinken
Sachgütererzeugung			
Ausrüstungsinvestitionen	13%	47%	40%
Ausgaben für Forschung und Entwicklung (F&E)	15%	60%	25%
Digitalisierungsprojekte (Software, Training etc.)	38%	50%	13%
Geographische Verlagerung von Unternehmensaktivitäten (Off- oder Reshoring)	42%	55%	3%
Auslagerung von Unternehmensaktivitäten an Zulieferer (Outsourcing)	41%	55%	4%
Unternehmensexpansion (M&A etc.)	11%	51%	37%
Eisen- und Stahlindustrie			
Ausrüstungsinvestitionen	29%	14%	57%
Ausgaben für Forschung und Entwicklung (F&E)	14%	57%	29%
Digitalisierungsprojekte (Software, Training etc.)	14%	71%	14%
Geographische Verlagerung von Unternehmensaktivitäten (Off- oder Reshoring)	57%	43%	0%
Auslagerung von Unternehmensaktivitäten an Zulieferer (Outsourcing)	71%	29%	0%
Unternehmensexpansion (M&A etc.)	29%	57%	14%

Quelle: WIFO-Industriebefragung Update 2023, WIFO-Darstellung. Auswertung der Antworten auf die Frage: "Wie wirken sich wirtschaftspolitische Unsicherheiten auf die folgenden Unternehmensentscheidungen aus?"

3.2 Die größten Herausforderungen der Eisen- und Stahlindustrie

Energiepreise und Klimawandel, Möglichkeiten geopolitische Konflikte und Digitalisierung sind große Herausforderungen, denen sich die Eisen- und Stahlindustrie in den nächsten Jahrzehnten stellen muss. Diese Herausforderungen sind miteinander verknüpft und nicht ganz leicht trennbar, denn das „Meistern“ dieser Herausforderungen erfordert oft einen technologischen Umbau, der auch die Wertschöpfungsketten verändert und mit Veränderungen von Preisen für wichtige Inputs und Veränderungen der Wettbewerbsfähigkeit einhergehen.

Wir werden technologische Aspekte primär unter der Überschrift „Klimawandel und Dekarbonisierung“ diskutieren und die Auswirkungen eines Anstiegs der Energiepreise unter der Überschrift „geopolitische Herausforderungen“ diskutieren.

3.2.1 Herausforderungen durch Klimawandel und Dekarbonisierung

Der Klimawandel und die damit verbundenen Auswirkungen und Risiken ziehen tiefgreifende Veränderungen von Wirtschaftsstrukturen mit sich. Dies ist eine duale Herausforderung, denn es geht darum den Strukturwandel in eine Richtung zu lenken, um einerseits den Ausstoß von Treibhausgasen drastisch zu reduzieren, andererseits aber den erworbenen Wohlstand nicht zu gefährden (Altenburg und Rodrik, 2017). Für die Stahlindustrie bedeutet dies gleichzeitig international wettbewerbsfähig zu bleiben und klimaneutral zu werden. Die Stahlindustrie ist durch die (europäischen) Vorhaben, den Klimawandel durch Emissionseinsparungen abzumildern, besonders betroffen, da Stahlerzeugung eine der energieintensivsten Industrien ist. Europaweit ist die Stahlerzeugung für ca. 20% der industriellen CO₂-Emissionen verantwortlich (Vögele et al. 2020).

In Europa gibt es zwei vorherrschende technologische Verfahren zur Stahlerzeugung in Verwendung: die Hochofenroute mit Sauerstoffblasverfahren und die Stahlproduktion mit Elektrolichtbogenöfen. Diese Verfahren unterscheiden sich durch die Struktur der wichtigsten Inputs und der Energieintensität. Das Hochofenverfahren ist sehr energieintensiv. Es wird Eisenerz in einem Hochofen unter Verwendung von Koks oder Kokskohle und anderen Reduktionsmitteln zu Roheisen reduziert. Roheisen wird zusammen mit Eisenschrott in einem Sauerstoffblasofen (BOF) weiterverarbeitet und anschließend in Rohstahlprodukte umgewandelt.

Die CO₂-Emissionen bei der Rohstahlerzeugung entstehen hauptsächlich durch den Einsatz von Energieträgern wie Kokskohle. Berücksichtigt man die CO₂-Emissionen, die durch den Transport der Rohstoffe, die Koksherstellung, Pelletieren und Sintern sowie bei der Erzeugung von Sauerstoff entstehen, können die gesamten CO₂-Emissionen bei der Rohstahlerzeugung auf mehr als 2,9 Tonnen CO₂ pro Tonne Rohstahl für die Hochofenroute mit Sauerstoffblasverfahren zusammengefasst werden. Dem stehen rund 1,5 Tonnen CO₂ pro Tonne Rohstahl für das Einschmelzen von Stahlschrott im Elektrostahlverfahren gegenüber (Hasanbeigi et al. 2016, Europäische Kommission und Gemeinsame Forschungsstelle 2013).

Dementsprechend ist das Elektrostahlverfahren (EAF) weniger energieintensiv. Wichtigste Inputs sind Eisenschrott und Elektrizität. Je nach der Konfiguration des Verfahrens kann diese Produktionsmethode auch kleinere Mengen an Eisen aus dem Hochofenverfahren (Roheisen) oder aus dem direkt reduzierten Eisen (DRI) verarbeiten. Nachgelagerte Gieß- und

Walzprozesse führen zu Stahlprodukten. Die Kapazität des Elektrostahlverfahren zur Deckung der Stahlnachfrage ist jedoch durch die Verfügbarkeit von Schrott und die Qualitätsanforderungen an die Stahlprodukte begrenzt. Die Herstellung von Stahl mit hohem Kohlenstoffgehalt erfordert die Zugabe von Roheisen, was den Einsatz energieintensivem Hochofenverfahrens oder von DRI-Technologien erfordert. Die Nachfrage nach kohlenstoffreichem Stahl aus dem Elektrostahl-Verfahren erhöht Energieintensität und CO₂-Emissionen.

In Österreich werden rund 90% des Rohstahls im energieintensiven Sauerstoffblasverfahren gewonnen, während es weltweit rund 72% und im EU-Schnitt rund 59% sind (Bank Austria, 2020). Entsprechend hoch sind die Energieausgaben und die Herausforderungen die Produktion umzugestalten. Die zukünftige Transition wird in nächster Zeit im Wesentlichen von einem Umstieg vom Sauerstoffblasverfahren auf das Elektrostahlverfahren getrieben werden.¹² Produktionsmethoden basierend auf Wasserstoff sind in der Entwicklung bzw. auch bereits technisch einsatzbereit, aber derzeit nicht wirtschaftlich betreibbar. Box 5 gibt einen Überblick über die Technologien zur CO₂-Vermeidung in der Stahlerzeugung, wobei in der Literatur wasserstoff-basierte Technologien langfristig als am vielversprechendsten angesehen werden (z. B. Kazmi et al. 2023). Übersicht 12 gibt zusammenfassend wesentliche technologische Lücken bei den Dekarbonisierungstechnologien in Eisen- und Stahlindustrie wieder.

Box 5: Technologien zur CO₂ Vermeidung bei der Stahlerzeugung

Grundsätzlich lassen sich alternative Technologien für eine CO₂- emissionsfreie Stahlproduktion in zwei Bereiche gliedern. Zum einen Technologien zur CO₂-Speicherung („Carbon Capture and Storage“, CCS) oder zur CO₂-Weiterverarbeitung („Carbon Capture and Utilization“, CCU) und Technologien zur direkten Vermeidung von CO₂ in der Produktion (Carbon Direct Avoidance“, CDA).

Bei der CCS (CO₂-Abscheidung und Speicherung) wird CO₂ abgeschnitten, transportiert und gespeichert, sodass es nicht in die Atmosphäre gelangt. Als mögliche Langezeit-Lagerstätten gelten besondere geologische Formationen, wie tiefe salzwasserführende Grundwasserleiter (Aquifere) oder ausgeförderte Erdöl- und Erdgaslagerstätten, eventuell auch tiefe Kohleflöze, wo das CO₂ langfristig sicher eingeschlossen werden kann. Die Abscheidung des CO₂ ist selbst aber auch energieintensiv.

Die CCU (CO₂-Abscheidung und Verwendung) ist eng mit der CCS verknüpft, allerdings soll das CO₂ dabei anderen Verwendungen als chemischer Rohstoff zur Verfügung gestellt werden. Das CO₂ kann zur Produktion von E-Fuels, in der Baustoffindustrie oder in anderen Anwendungen genutzt werden.

¹² Wie Arens et al. (2014) ausführen, sind auch die Verbesserungen bei der Energieeffizienz und der Reduzierung von Emissionen der europäischen Stahlindustrie im Zeitraum 1991-2007 vor allem auf den Strukturwandel hin zu (weniger energieintensiven) Elektrostahlverfahren zurückzuführen, während die Verbesserungen bei der Hochofenrouten vergleichsweise geringere Auswirkungen hatten.

Vorteil ist die relativ einfache Integration in bestehende Produktionsprozesse. Allerdings bleibt das CO₂ bei der Speicherung weiterhin erhalten und ist bei der CCU oft ein Zwischenprodukt, sodass Kreislaufwirtschaftsaspekte unterstützt werden, das CO₂ aber wieder freigesetzt wird.

Die Forschungsprojekte „ERBA“ und ERBA II“ der Voestalpine kombiniert CCS bzw. CCU mit der aus Biomasse, mittels Zweibettwirbelschichttechnik, erzeugtem Biogas. Dabei kann die konventionelle Hochofenroute beibehalten werden, jedoch wird ein anderes Reduktionsmittel (Biogas) verwendet, was einem Emissionsrückgang von 40% bis 60% zur Folge hat.

Insbesondere (grüner) Wasserstoff wird in Stahlindustrie als zentrales Mittel für die Dekarbonisierung der Stahlindustrie gesehen. „Carbon Direct Avoidance“ (CDA) Technologien, bei denen CO₂-Emissionen direkt vermieden werden, bauen vor allem auf Wasserstoff auf. Wasserstoff als Energieträger ist keine Primärenergie, sondern muss wie Strom hergestellt werden. Wasserstoff als Energieträger verursacht kein CO₂, wenn er mit erneuerbaren Energien erzeugt wird (grüner Wasserstoff). In der Stahlindustrie würde grüner Wasserstoff zur höchsten CO₂-Einsparung führen. Mit grünem Wasserstoff lassen sich in der Stahlindustrie pro Tonne klimaneutralen Wasserstoffs mit 28 Tonnen CO₂ einsparen. Allerdings ist die Produktion von grünem Wasserstoff derzeit gegenüber der Herstellung von Wasserstoff mit Erdgas nicht konkurrenzfähig. Auch fehlen noch die notwendigen Kapazitäten bei der Wasserstoffproduktion, sowie eine gesicherte Versorgung mit (billigem) grünem Strom.

Wasserstoffbasierte Produktionsmethoden sind in der Entwicklung oder bereits verfügbar. Hier spielt die Technologie der „wasserstoffbasierten Direktreduktion“ eine wichtige Rolle. Diese Technologie ist bereits verfügbar und wird bei der Direktreduktion von Eisenerzen bereits verwendet. Seit Anfang der 1970er Jahre wird wasserstoffreiches Erdgas als Reduktionsmittel eingesetzt. Diese können durch Wasserstoff ersetzt werden. Das wesentliche Ziel bei der Entwicklung von Direktreduktionsverfahren bestand darin, unter Vermeidung des Einsatzes von Koks, wie er für den Hochofen erforderlich ist, Eisenerze zu reduzieren. Die Schwerpunkte bei der Säule CDA (Carbon Direct Avoidance) liegen beim Einsatz von CO₂-freier elektrischer Energie und grünem Wasserstoff.

Das HYBRIT-Verfahren basiert auf Eisenpellets als Ausgangsstoffe. Wasserstoff wird bei der Direktreduktion verwendet, um Eisenschwamm zu produzieren, der in der Folge im Elektrolichtbogenofen oder alternativ in anderen Hochöfen verwendet werden kann. Bei einer Verwendung von „grünem“ Wasserstoff aus erneuerbaren Energien in Kombination mit „grünem“ Strom für die Elektrolichtbogenöfen ist dieses Produktionsverfahren nahezu CO₂-neutral. Bei den derzeitigen hohen Wasserstoffkosten ist diese Technologie aber nicht ökonomisch sinnvoll breit einsetzbar und wäre mit hohen Investitionskosten verbunden.

Experimenteller sind derzeit noch die Verfahren der „wasserstoffbasierten Suspensionsreduktion“ und „Wasserstoffplasma-Schmelzreduktion“ (SuSteel Projekt der Voestalpine) sowie der „Eisenerzelektrolyse“, die weitere Forschung benötigen, bis sie technisch und ökonomisch einsetzbar sind (Kim et al. 2022). Dabei geht es auch darum, Methoden zu entwickeln, damit auch Erze mit geringeren Eisengehalten verarbeitet werden können. Derzeit können nur Erze mit hohem Eisengehalt bei der Direktreduktion genutzt werden. Neben Wasserstoff kann auch Biomasse zur CO₂-Verminderung eingesetzt werden. Im Forschungsprojekt ERBA der Voestalpine wird dabei die konventionelle Hochofen-Route beibehalten, aber statt Koks aus Biomasse erzeugte Stoffe als Reduktionsmittel verwendet. Erste Ergebnisse zeigen, dass Biomasse zu einem Emissionsrückgang von 40–60 % führen kann.

Übersicht 12: Technologische Lücken bei Technologien zur Dekarbonisierung

Dekarbonisierungstechnologie	Herausforderungen und Schwierigkeiten
Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS und CCU)	Hohe Kosten, technische Schwierigkeiten bei der Abscheidung von CO ₂ , begrenzte Speicherkapazität, öffentliche Wahrnehmung und Akzeptanz
Direktreduziertes Eisen (DRI)	Hoher Energieverbrauch, begrenzte Verfügbarkeit von Wasserstoff, hohe Kapitalkosten, Schwierigkeiten bei der Skalierung der Technologie
Elektrolichtbogenöfen	Abhängigkeit von Metallschrott als Ausgangsmaterial, begrenzte Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien für die Erzeugung, hohe Kosten für kohlenstofffreien Strom
Wasserstoffbasierte Direktreduktion	Begrenzte Verfügbarkeit von kohlenstoffarmem Wasserstoff, hohe Kapitalkosten, technische Schwierigkeiten bei der Handhabung und Speicherung von Wasserstoff
Stahlerzeugung mit erneuerbarer Energie	Begrenzte Verfügbarkeit von erneuerbaren Energien, Schwankungen der erneuerbaren Energiequellen, hohe Kosten der Energiespeichertechnologien
Schrott-Recycling	Abhängigkeit von Metallschrott als Ausgangsmaterial, begrenzte Verfügbarkeit von Metallschrott, technische Herausforderungen bei der Abtrennung von Verunreinigungen aus Metallschrott

Quelle: Basierend auf Muslemani et al. (2021).

Die Dekarbonisierung der Stahlindustrie ist ein komplexer Prozess, der auch Wertschöpfungsketten verändert und durch hohen Investitionsbedarf in noch unrentable oder unerprobte Technologien charakterisiert ist. Gerade auch die hohen versunkenen Kosten von bestehenden Produktionsanlagen, die typischerweise auch eine lange Lebensdauer aufweisen, sind wichtige Faktoren, welche die Geschwindigkeit der Dekarbonisierung in der Eisen- und Stahlindustrie bestimmen.

In der WIFO-Industriebefragung Update 2023 wurden die Unternehmen bezüglich ihrer mittelfristigen Energieeinsparungspotentiale befragt (vgl. Übersicht 13). Die Ergebnisse zeigen, dass die meisten Unternehmen von eher geringen Einsparungspotentialen ausgehen, und dass insbesondere in der Stahlindustrie ein gewisser Unterschied zwischen dem, was technisch möglich und dem was ökonomisch sinnvoll ist, besteht.

Um Investitionen in energiesparende Maßnahmen zu unterstützen, ist es notwendig zu wissen, in welchen Bereichen die Unternehmen die wichtigsten Hemmnisse für Investitionen in energiesparende Maßnahmen verorten. Die in der WIFO-Industriebefragung abgefragten Hemmnisse können in:

- **Regulatorische Hemmnisse** (Genehmigungsverfahren, regulatorische Vorgaben in Österreich bzw. der EU, regulatorische Unsicherheit),
- **Technologische Aspekte** (technologische Lösungen wirtschaftlich nicht rentabel, fehlende technologische Lösungen, technologische Unsicherheit, fehlendes Know-How zu technologischen Lösungen) und
- **Finanzielle Hemmnisse** (Fehlende Förderungen und Kapitalmangel/hohe Investitionskosten) sowie Lieferengpässe (Verfügbarkeit von Anlagen/Zulieferern), Fachkräftemangel und hohe organisatorische Umstellungskosten

unterteilt werden. Abbildung 29 stellt die Ergebnisse nach den drei zusammenfassenden Kategorien dar (technologische Hemmnisse, regulatorische Hemmnisse und finanzielle Hemmnisse) für die Sachgütererzeugung insgesamt und die Eisen- und Stahlindustrie dar. Die dazugehörigen Detailergebnisse mit allen Fragebogenitems sind in Übersicht 13 abgebildet. Für die Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass Mehrfachauswahlen möglich waren (mit der Ausnahme für das Fragebogenitem „keine Hemmnisse“). Über alle Branchen hinweg meldeten 17% der Unternehmen keine Hemmnisse für Investitionen in energiesparende Maßnahmen und 14% der Unternehmen der Eisen- und Stahlindustrie.

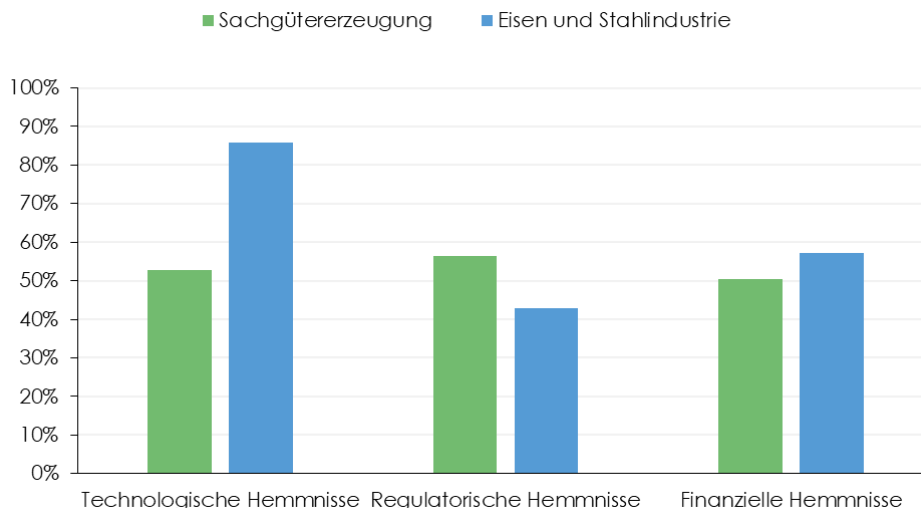
Übersicht 13: **Einschätzungen der mittelfristigen Energieeinsparungspotentialen**

	Gar nicht	0 bis 5%	5 bis 10%	10 bis 15%	Mehr als 15%	Weiß nicht
Alle Branchen						
Prinzipiell technisch umsetzbar	4%	29%	32%	12%	18%	4%
Ökonomisch sinnvoll	10%	32%	26%	11%	12%	8%
Eisen und Stahl Industrie						
Prinzipiell technisch umsetzbar	0%	29%	29%	0%	29%	14%
Ökonomisch sinnvoll	0%	43%	29%	0%	29%	0%

Quelle: WIFO-Industriebefragung Update 2023, WIFO-Darstellung. Zwecks Übersichtlichkeit sind Ergebnisse mit Anteilen von über 30% hellblau eingefärbt. Frage: In welchem Ausmaß ist die Energieeinsparung (relativ zum Output) in den nächsten 3 - 5 Jahren für Ihr Unternehmen prinzipiell technisch umsetzbar bzw. ökonomisch sinnvoll (wenn die Energiepreise auf derzeitigem Niveau bleiben oder steigen)?

Es fällt auf, dass die Unternehmen der Eisen- und Stahlindustrie technologische Hemmnisse deutlich bedeutender bewerten als im Durchschnitt der Sachgütererzeugung (insbesondere „fehlende technologische Lösungen“ und „technologische Lösungen nicht rentabel“), während regulatorische Hemmnisse etwas weniger oft genannt werden. Diese Ergebnisse betonen, dass die Schwierigkeiten des Klimawandels in der Eisen- und Stahlindustrie nicht nur ökonomischer Natur sind (Investitionskosten), sondern auch technologisch bedingt sind.

Abbildung 29: **Hemmnisse für Investitionen in energiesparende Maßnahmen, nach ausgewählten zusammengefassten Kategorien**



Quelle: WIFO-Industriebefragung Update 2023, WIFO-Darstellung. Frage: Was sind für Ihr Unternehmen die bedeutendsten Hemmnisse für Investitionen in energiesparende Maßnahmen)? Die Kategorie „regulatorische Hemmnisse“ fasst die Meldungen zu den Fragebogenitems „Genehmigungsverfahren“, „regulatorische Vorgaben in Österreich“, „regulatorische Vorgaben der EU“ und „regulatorische Unsicherheit“ zusammen, indem jedem Unternehmen eine 1 (=ja) zugewiesen wurde, wenn eines dieser Fragebogenitems ausgewählt wurde. Mehrfachnennungen (mehr als ein Item gewählt) bleiben unberücksichtigt. Gleich war die Vorgehensweise für die Konstruktion der Kategorie „technologische Hemmnisse“, wozu die Items zu Meldungen zu Fragebogenitems „technologische Lösungen wirtschaftlich nicht rentabel“, „fehlende technologische Lösungen“, „technologische Unsicherheit“ und „fehlendes Know-How zu technologischen Lösungen“ berücksichtigt wurden. Zur Konstruktion von „finanzielle Hemmnisse“ wurden die Items „Fehlende Förderungen“ und „Kapitalmangel/hohe Investitionskosten“ verwendet. Weitere Fragebogenitems wurden nicht verwendet.

Übersicht 14: Hemmnisse für Investitionen in energiesparende Maßnahmen, Detailergebnisse

	Sachgüter- erzeugung	Eisen und Stahlindustrie
Keine Hemmnisse	17%	14%
Mehrfachmeldungen möglich (wenn Hemmnisse):		
Regulatorische Vorgaben EU	12%	14%
Regulatorische Vorgaben AT	31%	14%
Regulatorische Unsicherheit	20%	29%
Genehmigungsverfahren	42%	29%
Lieferengpässe Anlagen/Zulieferer	42%	43%
Fachkräftemangel	27%	29%
Fehlende Förderungen	32%	14%
Fehlende technologische Lösungen	17%	57%
Technologische Unsicherheit	16%	14%
Kapitalmangel/Kosten	34%	57%
Technologische Lösungen wirtschaftlich nicht rentabel	40%	57%
Hohe organisatorische Umstellungskosten	12%	14%
Fehlendes Know-How zu technologischen Lösungen	11%	43%

Quelle: WIFO-Industriebefragung Update 2023, WIFO-Darstellung. Frage: Was sind für Ihr Unternehmen die bedeutendsten Hemmnisse für Investitionen in energiesparende Maßnahmen)?

Die Dekarbonisierung der Stahlindustrie erfordert, neben erheblichen Investitionen, den Umbau von Wertschöpfungsketten. In der Primärstahlindustrie wird Wasserstoff in großen Mengen für die Direktreduktion benötigt. Hier ergeben sich auch kurzfristig die höchsten Potenziale für eine Emissionsreduktion, aber die Wasserstoffproduktion erfordert große Mengen von grünem Strom. Die Dekarbonisierung erfordert einen weitgehenden Umbau hin zur Verwendung erneuerbarer Energie und wird damit den Strombedarf weiter steigen.

Transformationsbedingt wird sich der Strombedarf in Österreich bis 2040 deutlich erhöhen. Die österreichische E-Wirtschaft spricht von einer Verdoppelung (Oesterreichs Energie 2022). Für den Erhalt von Wertschöpfung und Beschäftigung in der Industrie ist ein wettbewerbsfähiger Strompreis entscheidend. Dies erfordert umfassende Energieanlagen und Netzwerke. Der Wasserstoffbedarf wird sich allerdings kaum inländisch decken lassen. Importe von erneuerbaren Energien (Strom) und Wasserstoff werden sich trotz des Umbaus der Energiesysteme nicht vermeiden lassen, da diese in anderen Regionen der Welt zum Teil günstiger verfügbar sind. Solche Importe tragen auch zur Sicherung des Standorts bei. Mögliche Herkunftsregionen der notwendigen Wasserstoffimporte sind vor allem Regionen mit konstanter und kostengünstiger (wettbewerbsfähiger) Verfügbarkeit von Strom aus erneuerbaren Energien (Südeuropa und Nordafrika), idealerweise in geografischer Nähe zum Verwendungsstandort. Die Kostenvorteile des „grauen“ Wasserstoffs (Dampfreformierung fossiler Brennstoffe) machen „blauen“ Wasserstoff (inklusive CCS) im Vergleich zu „grünem“ Wasserstoff weiterhin attraktiv, auch wenn Technologien, wie Erzeugung von Wasserstoff aus Biogas und Biomasse, zur Dekarbonisierung der Wasserstoffproduktion beitragen können (Yang et al. 2022).

Box 6: Die Methoden der Wasserstofferzeugung

Grauer Wasserstoff ist die am häufigsten verwendete und kosteneffizienteste Methode zur Herstellung von Wasserstoff. Die Produktion von grauem Wasserstoff erfolgt durch die Dampfreformierung von Erdgas bei hoher Temperatur, wobei Wasserstoff entsteht und CO₂-Emissionen freigesetzt werden. Die Bezeichnung "grau" ergibt sich aus dem hohen Ausstoß von CO₂-Emissionen. Die Produktion von grauem Wasserstoff erfolgt durch die Dampfreformierung von Erdgas bei hoher Temperatur, wobei Wasserstoff entsteht und CO₂-Emissionen freigesetzt werden.

Blauer Wasserstoff ist eine Variante von grauem Wasserstoff, die jedoch einen zusätzlichen Schritt beinhaltet: Kohlenstoffabscheidung und -speicherung (CCS). Bei diesem Prozess werden die CO₂-Emissionen, die während der Wasserstofferzeugung entstehen, eingefangen und gespeichert, anstatt sie in die Atmosphäre abzugeben. Obwohl dies die Kosten der Wasserstofferzeugung erhöht, ist es umweltfreundlicher als die Produktion von grauem Wasserstoff.

Grüner Wasserstoff wird durch Elektrolyse von Wasser mit Hilfe von grüner (oder erneuerbarer) Elektrizität, wie Wind- oder Solarenergie, hergestellt. Diese Methode gilt als sauberste, da sie keine CO₂-Emissionen produziert. Allerdings ist sie auch die kostenintensivste Option.

Die Betonung der Kreislaufwirtschaft ist auch ein wesentliches Element der Dekarbonisierung der Stahlwirtschaft. In der Stahlwirtschaft ist daher Stahlschrott ein wichtiger Grundpfeiler für

eine CO₂-arme Stahlindustrie. Stahl ist das am häufigsten recycelte Material mit einer Recyclingquote von fast 95% und wird vor allem in der Elektro Stahlproduktion verwendet (Conejo et al. 2020). Es ist jedoch zu beachten, dass es die Transformation hin zur Schrottverwendung Beschränkungen unterliegt. Eine der wichtigsten ist, dass die Verweilzeit von Stahl in der Wirtschaft etwa 40 Jahre beträgt, so dass die weltweit heute verfügbare Menge an recyceltem Material das Produktionsniveau von vor 40 Jahren widerspiegelt, das entspricht 41 % des heutigen Niveaus. Selbst bei einer sehr hohen Recyclingquote kann die weltweite Nachfrage nach Stahl nicht befriedigt werden. Das Recycling von veraltetem Schrott erhöht die Verunreinigung von Restelementen, welche die Stahlqualität beeinträchtigen. Besonders für Österreich mit seinem anspruchsvollen Produktportfolio, das einen hohen Reinheitsgrad der Ressourcen erfordert, ist das eine Herausforderung (Dworak et al. 2023). Das Recycling und Schrotthandling müsste verbessert werden, um die notwendigen Qualitäten für Hochleistungsstahl zu gewährleisten. Auf längere Sicht wird die vermehrte Verwendung von Schrott aber die Wertschöpfungsketten verändern, insbesondere die Verwendung von Eisenerz und Kohle.¹³

Die Eisen- und Stahlindustrie gilt, aufgrund des hohen Wärme- und Energiebedarfs, der Verwendung von Kohle als Prozessinput, geringer Gewinnspannen, hoher Skalenökonomien, hoher Kapitalintensität und langer Lebensdauer der Anlagen, als eine der Industrien, die am schwierigsten zu dekarbonisieren ist. Die Kostensteigerungen für die Stahlerzeugung in Folge der europäischen Dekarbonisierungspolitik führen deshalb zu Befürchtungen, dass die europäische Stahlindustrie abwandern könnte. Wird die Produktion in Europa gedrosselt aber weiterhin die gleiche Menge konsumiert, so ist die Alternative eine Zunahme des „carbon leakage“, d.h. die Verlagerung von energie- und emissionsintensiver Produktion oder Produktionsschritten in Drittstaaten mit geringeren Auflagen, auch klimapolitisch nicht zielführend.¹⁴ Das Risiko von Carbon Leakage wird in der Regel mit Simulationen oder ökonomischen Studien analysiert. Die in diesen Studien festgestellten Verlagerungseffekte unterscheiden sich stark voneinander, wobei in ökonomischen Studien tendenziell geringere Verlagerungen festgestellt werden (Felbermayr et al. 2021).

Ein Instrument der EU, das sich in der Umsetzungsphase befindet, mit dem expliziten Ziel ein europäisches „carbon leakage“ zu verhindern, ist der EU-Grenzausgleichmechanismus (CBAM, carbon border adjustment mechanism), der für sechs energieintensive Branchen, unter anderem die Stahlindustrie, die CO₂- Preise auf europäischen Märkten für europäische und nicht-europäische Unternehmen anzugleichen versucht (vgl. Box 7). Insbesondere die Subsektoren „Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen (NACE 24.10) und die „Herstellung von Stahlrohren, Rohrform-, Rohrverschluss- und Rohrverbindungsstücken aus Stahl (NACE 24.20)“,

¹³ Derzeit werden rund 90% des Stahls in Fahrzeugen und Maschinen, 8% des Stahls, der im Bau verwendet wird, und rund 50% des Stahls in elektrischen Geräten, wie Haushaltsgeräten, recycled (World Steel Association zitiert in Kim et al., 2020).

¹⁴ Vögele et al. (2020) zeigen in Modellberechnungen, dass ein Carbon leakage nach China die globalen Emissionen geringer beeinträchtigen würde als eine Reallokation nach Russland.

„Herstellung von Blankstahl“ (NACE 24.31) und „Eisengießereien (NACE 24.51) sind Segmente der Stahlindustrie, die dem Risk des Carbon Leakage unterliegen dürften (EK 2019).¹⁵⁾

Die Idee hinter dem EU-Grenzausgleichsmechanismus geht auf Nordhaus (2015) zurück, der „Klimaklubs“ vorgeschlagen hat. Nordhaus verstand unter einem „Klimaklub“ die Kooperation von Staaten, die sich auf ein gemeinsames Vorgehen zur Emissionsenkung einigen. Seine Analyse zeigte, wie ein internationales Klimaabkommen, das eine gezielte Bepreisung von Kohlenstoff und Handelssanktionen kombiniert, zu einer erheblichen Verringerung der Emissionen führen kann. Ergebnisse von Modellierungen deuten darauf hin, dass bescheidene Handelssanktionen für Nichtteilnehmer eine Koalition induzieren können, die sich einer optimalen Reduzierung von CO₂ annähert. Der wichtigste Parameter ist dabei ein dem Verursacherprinzip entsprechender Preis, der für Emissionen zu bezahlen ist. Der neue Tarif wird den von den europäischen Herstellern gezahlten CO₂-Preis widerspiegeln und schrittweise die kostenlosen CO₂-Zertifikate ersetzen, die die Stahlhersteller derzeit im Rahmen des ETS erhalten. Allerdings ist die konkrete Ausgestaltung der entsprechenden Vereinbarungen von so einem Klub nicht trivial, wie Felbermayr et al. (2021) erläutern.

Box 7: Kernelemente des EU-Grenzausgleichsmechanismus

Als zentraler Baustein des europäischen Green Deals wurde von der Europäischen Kommission ein CO₂-Grenzausgleichsmechanismus (Carbon Border Adjustment Mechanism - CBAM)¹⁶⁾ entwickelt. Am 12. Dezember 2022 einigten sich Rat und Europäisches Parlament auf die Einführung, nachdem der Vorschlag der Kommission leicht abgeändert wurde.

CBAM sieht eine Anbindung der EU-Handelspartner an das Europäische Emissionshandelssystem (ETS) vor. Das Instrument des Grenzausgleichs zielt darauf ab, international ungleiche CO₂-Preise zwischen europäischen Waren und importierten Waren auszugleichen, um die Klimaziele der UNO, die im Abkommen von Paris vereinbart wurden, zu unterstützen. Denn nicht in allen Ländern werden CO₂-Emissionen besteuert oder durch andere Maßnahmen, wie ein Emissionshandelssystem, in das Marktpreissystem integriert. Damit soll sichergestellt werden, dass CO₂-intensive Produkte im Gemeinsamen Markt teurer und somit unattraktiver gegenüber weniger klimaschädlichen Produkten werden. Durch CBAM soll außerdem das Risiko einer Verlagerung von Unternehmen mit hohen CO₂-Emissionen in Länder mit einer weniger ambitionierten Klimapolitik verringert werden.

Das EU- Emissionshandelssystem wird in den 27 Mitgliedstaaten der EU sowie in Norwegen, Liechtenstein und Island angewandt. Seit 2020 ist das Schweizer Emissionshandelssystem mit dem EU-ETS verknüpft. Für diese Nicht-EU-Länder ändert sich wegen dieser Integration in den bestehenden Emissionshandel nichts.

Für die anderen Handelspartner gelten ab 1. Oktober 2023 die Bestimmungen zur

¹⁵ Bei der Metallerzeugung und -bearbeitung werden weiters Aluminium, Blei, Zink und Zinn, Kupfer und sonstige NE-Metalle angeführt.

¹⁶ https://ec.europa.eu/info/sites/default/files/carbon_border_adjustment_mechanism_0.pdf (abgerufen am 19.04.2022).

schrittweisen Einführung des CBAM, zunächst mit einer Übergangsphase. Da es sich um ein neues handelspolitisches Instrument handelt, das in den internationalen Handelsverträgen nicht vorgesehen ist, wurde großes Augenmerk darauf verwendet, den Zweck der Emissions-senkung nicht zu verwässern und sicherzustellen, dass die Maßnahmen nicht als Protektionis-mus vor der WTO angefochten werden können.

Während der Übergangsphase gilt eine Auskunftspflicht für die Importeure der folgenden Güter: Aluminium, Dünger, Eisen und Stahl, elektrischer Strom, Wasserstoff und Zement. Angegeben werden müssen die direkt bei der Produktion entstehenden und auch die indirekten CO₂-Emissionen. Das Ziel der Übergangsphase ist, allen Beteiligten (Importeuren, Herstellern und Behörden) als Pilot- und Lernphase zu dienen. So sollen nützliche Informationen über die Emissionen gesammelt werden, um die Methodik für den endgültigen Zeitraum zu verfeinern.

Ab 1. Januar 2026 ist die Übergangsphase beendet und ab dann müssen die Importeure jedes Jahr die Menge, der im Vorjahr in die EU eingeführten Waren und die darin enthaltenen Treibhausgasemissionen, angeben. Sie geben dann auch die entsprechende Anzahl von CBAM-Zertifikaten ab. Deren Preis wird auf der Grundlage des durchschnittlichen wöchentlichen Auktionspreises für EU-Emissionshandelszertifikate in Euro/Tonne emittiertes CO₂ berechnet.

Die Schritte zur Einführung des CBAM laufen synchron zu Änderungen im EU-ETS. Die kostenlose Zuteilung von Zertifikaten innerhalb der EU wird ab 2026 bis 2034 nach und nach beseitigt, um die Verringerung der CO₂-Intensität der Industrie zu beschleunigen. Dies wird voraussichtlich die Zertifikatkosten erhöhen und somit auch die CBAM-Zertifikate für die Importeure verteuern.

Während der Übergangsphase wird vor dem Inkrafttreten des endgültigen Systems eine Bewertung durchgeführt. Auch der Produktumfang wird überprüft, um festzustellen, ob andere Waren, die in Sektoren hergestellt werden, die unter das EU-Emissionshandelssystem fallen, in den Anwendungsbereich des CBAM-Mechanismus aufgenommen werden können. Der Bericht zur Bewertung wird einen Zeitplan für die Einbeziehung dieser Produkte bis 2030 enthalten.

Für die Unterstützung der Stahlimporte außerhalb der EU eignet sich der EU-Grenzausgleichsmechanismus, so wie er konzipiert ist, nicht, denn er federt die negativen Effekte nur im EU-Markt ab. Auch könnte der CBAM nicht ausreichend sein, um Carbon Leakage in der EU zu unterbinden. Ein Ziel des CBAM ist es die europäische Industrie bzw. den europäischen Markt in einer Umstellungsphase zu schützen. Rübhelke et al. (2022) errechnen, dass der CBAM nicht ausreichen wird, um die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Stahlindustrie bei einer Umstellung der Produktion auf die wasserstoffbasierte Direktreduktion mit Elektrolichtbogenöfen zu garantieren.

Die Analysen von Ecorys (2013) und Vögele et al. (2019) zeigen aber auch, dass Transportkosten eine wichtige Rolle spielen können. Europäische Produzenten können von höheren Transportkosten profitieren. Ähnlich wie der Grenzausgleichsmechanismus können Transportkosten aber nur Vorteile auf Heimatmärkten schaffen, nicht aber auf Exportmärkten. Die europäische

Stahlindustrie kann bei höheren Transportkosten einen Teil der Wettbewerbsfähigkeit auf den Heimmärkten behalten, selbst wenn sie stärker als die Konkurrenz von der Klimapolitik betroffen ist.

3.2.2 Herausforderungen durch Geopolitik und Handelskriege

Der Ukrainekrieg hat 2022 zu empfindlichen Energiepreisanstiegen geführt, die im darauffolgenden Jahr aber wieder etwas abgeklungen sind. Von den Preissteigerungen war vor allem Gas betroffen, das von Russland bezogen wurde. Durch das Merit-Order Prinzip haben diese Anstiege auch zu empfindlichen Strompreisanstiegen geführt. Zurückzuführen waren die Preisanstiege auf die geografische Abhängigkeit Westeuropas von russischem Erdgas. Importe aus anderen gasproduzierenden Ländern konnten die Abhängigkeit reduzieren, und haben dazu beigetragen, die Energiepreise wieder zu normalisieren.

Der Energiepreisanstieg in Europa führte auch in Österreich zu hohen Kostensteigerungen bei Energie und bei energieintensiven Vorleistungen, welche auch auf die Inflation rückwirkten. Der Energiepreisschock im August 2022 führte zu Befürchtungen, dass umfangreiche Produktionsstopps und die Rationierung von Energie notwendig werden könnten. Seitdem sind Energiepreise wieder zurückgegangen, blieben aber auch noch im Herbst 2023 deutlich über den Niveaus vor dem Angriffskrieg Russlands.¹⁷ Die Energiepreisanstiege sind insbesondere auf Europa konzentriert. Die geographisch asymmetrische Verteilung der Energiepreise – vor allem in Europa – beeinträchtigt insbesondere die Wettbewerbsfähigkeit der energieintensiven Grundstoffindustrie.

Unternehmen reagieren auf die höheren Energiepreise. Die Möglichkeit der Preisweitergabe sind in der Exportwirtschaft durch den internationalen Wettbewerb beschränkt und mit Rückwirkungen auf die Ertragslage verbunden. Unternehmen können Energieträger und energieintensive Inputs substituieren. Dies kann zu Auslagerungen von Produktionsschritten führen und die Abwanderung der energieintensiven Produktion begünstigen. Langfristige Reaktionsmöglichkeiten sind Innovation und die Investition in energieeffiziente Technologien und Produkte. Im Rahmen des Updates der WIFO-Industriebefragung wurden die Unternehmen befragt, wie sich die weiterhin hohe Energiepreise auf Investitionen und F&E auswirken. Die Ergebnisse sind in Übersicht 14 für die Sachgütererzeugung insgesamt und die Unternehmen der Eisen- und Stahlindustrie abgebildet.

Weiterhin hohe Energiepreise würden die Investitionen im Inland reduzieren und Investitionen in Energieeffizienz sowie Prozessentwicklung und Technologie verstärken. Die Unternehmen der Eisen- und Stahlindustrie melden häufiger als im Durchschnitt über alle Branche, dass Investitionen in Energieeffizienz, in Prozessentwicklung und Forschung und Entwicklung zunehmen würden.

¹⁷ Der Großhandelspreisindex der Austrian Energy Agency (ÖGPI) sank im Verlauf der COVID-Krise von einem Durchschnittswert von 100,7 im Jahr 2018 auf einen Durchschnittswert von 47,5 im Jahr 2020. Zum Höhepunkt der Gaspreise im Oktober 2022 wurde ein Indexwert von 955,6 ausgewiesen, seitdem ist der Index deutlich zurückgegangen bis auf ein vorläufiges Minimum von 152,3 im August 2023. Zuletzt zeigte sich aber wieder ein Anstieg auf 186,5 im November 2023.

Übersicht 15: **Auswirkungen weiterhin hoher Energiepreise auf Investitionen**

	Nehmen zu	Keine Auswirkung	Nehmen ab	Nicht relevant
Sachgütererzeugung				
Investitionen im Inland	10%	29%	58%	3%
Investitionen im Ausland	26%	27%	17%	29%
Investitionen in Energieeffizienz	84%	11%	2%	3%
Prozessentwicklung/Technologie	45%	34%	14%	6%
F&E	21%	51%	20%	8%
Eisen- und Stahlindustrie				
Investitionen im Inland	29%	14%	57%	0%
Investitionen im Ausland	26%	36%	13%	26%
Investitionen in Energieeffizienz	100%	0%	0%	0%
Prozessentwicklung/Technologie	71%	14%	0%	14%
F&E	43%	43%	14%	0%

Quelle: WIFO-Industriebefragung Update 2023, WIFO-Darstellung. Zwecks Übersichtlichkeit sind Ergebnisse mit Anteilen von 50% und mehr dunkelblau und Ergebnisse mit Anteilen über 30% hellblau eingefärbt. Frage: Wie schätzen Sie die Auswirkungen auf Ausgaben für Investitionen sowie Forschung und Entwicklung (F&E) ein, wenn die Energiepreise in den nächsten 3 - 5 Jahren auf derzeitigem Niveau bleiben oder steigen?

Daneben wurden die Unternehmen auch gefragt, wie sich strategische Entscheidungen in den Wertschöpfungsketten verändern würden, wenn die Energiepreise hoch blieben (Übersicht 15). Hier zeigt sich eindeutig, dass höhere Energiepreise die Reorganisation von Lieferketten beeinflussen. Über alle Branchen hinweg zeigt sich, dass das Sourcing von Vorprodukten aus außereuropäischen Destinationen, der Wechsel von Zulieferern, und die Auslagerung von Produktionsschritten, durch die hohen Energiepreise verstärkt in Betracht gezogen werden. Die Eisen- und Stahlindustrie fügt sich in dieses Bild weitgehend ein, allerdings wird die Auslagerung an Zulieferer und die Reduktion der Produktion etwas weniger oft genannt als im Durchschnitt aller Branchen.

Diese Ergebnisse zeigen, dass höhere Energiepreise, ausgelöst durch geopolitische Schocks und der Dekarbonisierungspolitik, zu Änderungen der Unternehmensstrategien führen können. Diese haben wiederum Auswirkungen auf den Standort und damit auf den Güterverkehr.

Wie Befragungsergebnisse zur wirtschaftspolitischen Unsicherheit (vgl. Übersicht 10) zeigen, spielt die internationale Handelspolitik in der Eisen- und Stahlindustrie als wirtschaftspolitischer Unsicherheitsfaktor eine relevante Rolle. Hier sind insbesondere die Entwicklungen in den USA relevant. Die Einfuhrzölle auf Stahl in Höhe von 25%, welche die USA 2018 unter Präsident Trump verhängt hat, hatten das Ziel den US-amerikanischen Stahlmarkt durch Zölle und nicht-tarifäre Hemmnisse stärker von der internationalen Konkurrenz abzuschotten. Dies führte zur Befürchtung, dass es zu einer Umlenkung der Exporte anderer stahlexportierender Länder nach Europa führen würde. Bereits zu diesem Zeitpunkt waren Antidumping- und Antisubventionszölle auf bestimmte Stahleinfuhren aus Ländern wie China, Korea, Russland und Brasilien von der EU eingeführt worden, um die europäischen Stahlhersteller zu stärken. Die EU hat 2019 auf die amerikanischen Zölle mit Zollkontingenten und Zusatzzöllen reagiert, um die befürchtete Handelsumlenkung zu unterbinden. Zölle und andere nichttarifäre Handelshemmnisse in der Eisen- und Stahlbranche sind bei vielen Staaten beliebte Instrumente, um die einheimische Stahlindustrie

zu schützen. Zölle verteuern die Importe. Auch der Grenzausgleichmechanismus ist in seinem Kern ein Zoll, der Importe verteuert.

Übersicht 16: **Auswirkungen auf strategische Entscheidungen der Unternehmen, wenn die Energiepreise hoch bleiben (Auswahl)**

	Wird begünstigt	Keine Auswirkung	Wird gehemmt	Nicht zutreffend
Alle Branchen				
Geog. Verlagerung ins EU-Ausland	38%	37%	1%	23%
Geog. Verlagerung ins nicht-EU-Ausland	47%	28%	1%	24%
Auslagerung an Zulieferer	41%	36%	1%	21%
Geog. Wechsel Zulieferer (EU)	47%	35%	5%	12%
Geog. Wechsel Zulieferer (nicht-EU)	63%	25%	1%	12%
Wechsel Zulieferer (Unternehmen)	62%	26%	1%	10%
Reduktion Produktion	48%	36%	2%	14%
Eisen und Stahl				
Geog. Verlagerung ins EU-Ausland	29%	43%	14%	14%
Geog. Verlagerung ins nicht-EU-Ausland	43%	29%	14%	14%
Auslagerung an Zulieferer	29%	43%	14%	14%
Geog. Wechsel Zulieferer (EU)	57%	29%	14%	0%
Geog. Wechsel Zulieferer (nicht-EU)	57%	29%	14%	0%
Wechsel Zulieferer (Unternehmen)	43%	43%	14%	0%
Reduktion Produktion	29%	43%	14%	14%

Quelle: WIFO-Industriebefragung Update 2023, WIFO-Darstellung. Zwecks Übersichtlichkeit sind Ergebnisse mit Anteilen von 50% und mehr dunkelblau und Ergebnisse mit Anteilen über 30% hellblau eingefärbt. Frage Wie schätzen Sie die Auswirkungen auf folgende strategische Entscheidungen Ihres Unternehmens, wenn die Energiepreise in den nächsten 3 - 5 Jahren auf derzeitigem Niveau bleiben oder steigen?

Infolge des Ukrainekriegs hat die Europäische Union im Rahmen der Sanktionen Importverbote für russischen Stahl (Juni 2022) und Stahlerzeugnisse (Oktober 2022) verhängt. Obwohl Russland vor den Sanktionen für rund 13% der Importe von Stahlerzeugnissen verantwortlich war, haben die Importverbote zu keinen Lieferengpässen geführt. Infolge der globalen Überkapazitäten in der Stahlerzeugung haben Drittländer diese Importe problemlos decken können.

Derzeit werden weniger industriepolitische Maßnahmen, die direkt die Stahlindustrie betreffen, diskutiert, sondern vor allem die standort- und handelspolitischen Aspekte des amerikanischen Inflation Reduction Act (IRA). Dieser wurde im August 2022 verabschiedet, der gleichzeitig die Inflation reduzieren und die Geschwindigkeit der Dekarbonisierung in den USA durch Subventionen, Steuervergünstigungen und staatliche Investitionen beschleunigen soll. In der EU wurde der IRA wegen verzerrender Effekte auf den internationalen Handel und Standortentscheidungen durch die Subventionen kritisiert. Zum einen betrifft dies „buy american“-Vorgaben (Vorgaben, die den Erhalt der Subventionen an die Wertschöpfung in den USA bzw. Nordamerika binden), zum anderen würde die Subventionspolitik zu einer Umlenkung von Produktion, Investitionen und knappen Ressourcen in die USA führen. Wie Copenhagen Economics (2023) herausarbeiten, betrifft eines der größten Risiken die künftige Produktion von grünem Wasserstoff und veredelten Elektrokraftstoffen. Der IRA macht die USA aufgrund zu erwartenden niedrigem

grünen Energiepreisen zu einem sehr attraktiven Standort für Investitionen in diese Technologien, was zu einer Verlagerung von Investitionen und den Aufbau von Produktionskapazitäten in die USA führen könnte. Dies betrifft auch Unternehmen der Eisen- und Stahlindustrie, insbesondere wenn diese in Wertschöpfungsketten von grünen Energieerzeugnissen (Wasserstoffproduktion, Batterien, Hydro- und Windenergie) oder Automobilen integriert sind, denn dort würden die „buy american requirements“ greifen (Copenhagen Economics 2023), auch könnte sich die USA zu einem Exporteur von grünem Wasserstoff entwickeln. Eine Einschätzung der Auswirkungen des IRA auf die Eisen- und Stahlindustrie ist nicht möglich, denn die Auswirkungen des IRA auf Produktions- und Transportationskosten sind höchst unsicher. Eine Lockerung der „buy american“-Vorgaben könnte Standorteffekte reduzieren. Verhandlungen dazu sind im Gange.

Die Europäische Antwort auf den IRA betrifft primär Projekte der Dekarbonisierung und läuft über direkte Projektförderungen und temporäre Lockerungen im EU-Beihilfenrecht, um Investitionen in diesen Bereichen in Europa zu erhöhen.¹⁸ Gleichzeitig könnte der IRA auch die Dekarbonisierung in der EU fördern, wenn technologische Lösungen verfügbar werden bzw. wenn der subventionierte grüne Wasserstoff (und andere Elektrokraftstoffe) kostengünstig auf dem EU-Markt verfügbar ist und so die Kosten der Dekarbonisierung gesenkt werden.

Während die Auswirkungen des Ukrainekriegs durch die Energiepreisanstiege unmittelbar sichtbar waren, betreffen die Auswirkungen des Inflation Reduction Acts vor allem die Rahmenbedingungen für den Strukturwandel in der Eisen- und Stahlindustrie hin zu wasserstoffbasierten Verfahren. Daher sind die Auswirkungen auf Standort und Güterverkehr heute schwierig einschätzbar. Im Zuge der Dekarbonisierung sollte der Transport von Kohle und Koks zurückgehen. Wie sich die Wertschöpfungsketten und Güterströme bei einer Transformation hin zu wasserstoffbasierten Technologien entwickeln, ist noch unsicher. Wasserstoff könnte importiert werden – als Herkunftsländer werden vor allem die USA, nordafrikanische und südamerikanische Länder angeführt. Wasserstoff kann über Pipelines oder auch als verflüssigtes Gas transportiert und gespeichert werden, dies benötigt aber Infrastrukturinvestitionen und die Transportkosten könnten den importierten Wasserstoff auch teurer als europäischen Wasserstoff machen. Auch deswegen wird diskutiert, ob im Rahmen der Wertschöpfungsketten der Stahlindustrie, die wasserstoffintensive Direktreduktion nicht besser in den wasserstoffproduzierenden Ländern vorgenommen und das Eisen in Form von „Hot Briquetted Iron“ (HBI, poröser Eisenschwamm zu Briquets gepresst) nach Europa zur Weiterverarbeitung eingeführt werden soll. Für Europa werden dabei vor allem Marokko und für Japan Australien als Standorte erwähnt. Lopez et al. (2023) zeigen in einer Simulationsstudie für Europa, dass HBI-Importe die günstigen Wasserstoffkosten in Nordafrika besser nutzen könnten als Wasserstoffimporte.

¹⁸ Subventionen sind gerechtfertigt, um Marktversagen zu beheben. Allerdings können im Binnenmarkt flexiblere Regeln für staatliche Beihilfen kontraproduktiv sein, da sie Wettbewerb über Subventionen und kostspielige Subventionswettläufe zwischen Staaten zulassen würden. Staatliche Beihilfen auf Mitgliedsstaatsebene haben immer das Potential den Wettbewerb im Binnenmarkt zu fragmentieren und zu einer ineffizienten Allokation von Ressourcen zu führen.

3.2.3 Herausforderung Digitalisierung

Die Digitalisierung zusammen mit Künstlicher Intelligenz (KI) und additiven Produktionsmethoden (z. B. 3-D Druck) gehören zu den modernen Schlüsseltechnologien (key enabling technologies), die Innovation in vielen Teilbereichen der Wirtschaft ermöglichen sollten und damit einen wesentlichen Beitrag zu Wirtschaftswachstum und Nachhaltigkeit leisten können. In energieintensiven Branchen ist disruptiver technologischer Wandel und der Wechsel von Energieträgern notwendig, um eine nachhaltige Dekarbonisierung zu realisieren. Nichtsdestotrotz sind Digitalisierung in Form von Industrie 4.0, autonomen Fahren, additiven Fertigungsmethoden, Künstlicher Intelligenz und Sensornetzwerken für die Stahlindustrie relevant, vor allem auch hinsichtlich der Reduktion von Energiekosten und der Optimierung des Ressourceneinsatzes.

Industrieroboter für Fertigung und Handhabungsprozesse, 3-D Druck für Prototypenentwicklung und die Fertigung von (Klein-)Serien, sowie Big-Data und Verfahren der Künstlichen Intelligenz haben bislang insgesamt in der österreichischen Sachgütererzeugung nur eine sehr geringe Verbreitung erfahren. Die Statistiken zur Nutzung von IKT in der Industrie in Österreich zeigen im Allgemeinen keine sehr hohe Digitalisierungsintensität in der österreichischen bzw. europäischen Stahl- und Eisenindustrie (Streicher und Reinstaller, 2020).

Die Stahlerzeugung verwendet kontinuierliche Fertigungsprozesse und war bereits seit Einführung der modernen industriellen Fertigung sehr kapitalintensiv und mechanisiert. Diese Mechanisierung unterstützte eine frühzeitige Automatisierung der Produktion. Die neue Welle der Digitalisierung (Industrie 4.0) erlaubt eine bessere kontinuierliche Überwachung durch Sensoren, verändert aber die Produktionsprozesse weniger stark als in anderen bislang weniger automatisierten Herstellungsformen. Diesbezüglich stellen Streicher und Reinstaller (2020) fest, dass wichtige Industrie 4.0-affine Technologien intensiver im Handel, in der Kunststoff- und der chemischen Industrie, der Elektrotechnik- und Computerindustrie, sowie im Maschinen- und Fahrzeugbau genutzt werden als in der Stahl- und Metallwarenindustrie. Die Digitalisierung in der Stahlindustrie bezieht sich vor allem auf die Digitalisierung der Produktionsketten und die Unterstützung der Dekarbonisierung. Allerdings ist die Anwendung einer dezentralisierten und vollständigen Automatisierung in der Fertigung nur schwer und sehr teuer auf den kontinuierlichen Prozess der Stahlerzeugung umzusetzen, wenngleich Sensoren intensiv zum Monitoring und zur Optimierung der Produktion (z. B. der Produktionstemperatur, Gasen, Überwachung von Stahlqualitäten) sowie von Anwendungen zur prädiktiver Maintenance verwendet werden (Branca et al. 2020).

Allerdings zeigt sich bei der Nutzung von Technologien von Künstlicher Intelligenz in Unternehmen (eine der wenigen Ausprägungen bei den Ergebnissen der Nutzung von digitalen Technologien für die Stahl- und Metallwarenindustrie für Österreich) ein leicht anderes Bild. Übersicht 17 zeigt, dass die Verwendung von KI-Technologien in der österreichischen Metall- und Eisenindustrie, im Vergleich zur Sachgütererzeugung insgesamt und im europäischen Vergleich der metall- und metallverarbeitenden Industrie, überdurchschnittlich ausfällt, vor allem die Nutzung im Produktionsprozess. Dies bestätigt, dass in der hochautomatisierten Stahlindustrie Daten schon lange eine tragende Rolle spielen, vor allem in der Optimierung der Produktionsprozesse, der Sicherstellung von Stahlqualitäten in der Produktion und der Erhöhung von Energieeinsparpotentialen.

Das Potential der Künstlichen Intelligenz zur Dekarbonisierung beizutragen, liegt in der Möglichkeit inkrementelle technische Verbesserungen zu ermöglichen, dies bezieht sich vor allem auf bestehende Technologien, kann aber auch bei neuen Technologien einen Beitrag leisten, um die Technologiediffusion zu unterstützen. John et al. (2022) beobachten, dass KI-Tools zur Optimierung des Temperaturmanagements, usw., insbesondere in den bestehenden Technologien verwendet werden. In ihrer Übersicht zur Verwendung von KI in der Stahlindustrie finden sie kaum KI-Anwendungen im Bereich der Produktion von Eisenschwamm (Direktreduktion von Eisenerz) im Gegensatz zu vielen Anwendungen in der Hochofenroute. KI-basierte Steuerungstechnologien können besser als regelbasierte Steuerungen den Energieverbrauch reduzieren. John et al. (2022) bestätigen diesbezüglich, dass die Anwendung von KI insbesondere bei kapitalintensiven Technologien am attraktivsten ist. Digitalisierung und KI-Tools haben daher kaum eine Auswirkung auf die versunkenen Kosten der Stahlproduktion (inkl. der Frage, ob die Produktionstechnologien obsolet werden). Allerdings wird die Dekarbonisierung ihrerseits die Digitalisierung der Stahlindustrie verstärken. Dennoch wird der Technologiewechsel hin zur CO₂-freien Produktion die Verwendung digitaler Technologien verstärken, weil die metallurgischen Anlagenbauer in neuen Anlagen die Möglichkeiten der digitalen Technologien ausschöpfen werden. Im Entwicklungsbereich werden Technologien von Stahlerzeugern und Anlagenbauern, wie Virtual Reality (VR), Augmented Reality (AR) und Digital Twins¹⁹, bereits länger verwendet.

Übersicht 17: **Nutzung von Technologien von Künstlicher Intelligenz im Unternehmen, 2021**

	Sachgüter- erzeugung	Metall- und metallverarbeitende Industrie
Verwendung von KI-Technologien im Unternehmen		
EU-27	7,3	6,2
Österreich	9,6	12,8
Verwendung von KI im Produktionsprozess		
EU-27	2,8	2,3
Österreich	5,3	9,3

Quelle: STAT.AT.

Herausforderungen für die Stahlbranchen ergeben sich vor allem im Wettbewerb mit alternativen Materialien, die sich auch besser für additive Fertigungsmethoden eignen und Gewichtsvorteile haben. Diese Aspekte sind nicht direkt mit der Digitalisierung der Stahlindustrie verbunden, sondern damit, dass digitale Technologien Alternativen zum Stahl ermöglichen könnten, auch wenn Technologien zur additiven Fertigung von Metallen existieren, welche wiederum für bestimmte Branchen, wie die Bauwirtschaft, attraktiv sein können (Gardner, 2023). Diese

¹⁹ Digitale Zwillinge sind digitale Abbilder von physischen Gegenständen wie industrieller Ausrüstung und Maschinen, Fahrzeugen, Gebäuden und medizinischen Patienten. Sie ermöglichen es, Produktionsprozesse zu optimieren und Probleme wie beispielsweise autonomes Fahren anhand von Daten zu erkennen und zu lösen, bevor sie in der physischen Realität entstehen. Die Anwendung von digitalen Zwillingen ist somit ein vielversprechender Ansatz, um eine effiziente und vorausschauende Nutzung physischer Ressourcen zu gewährleisten.

Methoden sind additive Fertigungsverfahren, die Material Schicht für Schicht zusammenfügen, um Werkstücke aus 3D-Vorlagen zu erzeugen. Metalle werden in Pulverform, Draht oder Stangen verwendet. Die Energie wird vor allem mittels Laserstrahl, Elektronenstrahl, Lichtbogen oder Plasma zugeführt. Diese Technologien würden die Eisen- und Stahlindustrie insofern treffen, dass Fertigungsteile dann dezentraler als heute hergestellt werden könnten, allerdings würde die Produktion der Ausgangsmaterialien weiterhin eine wichtige Rolle der Eisen- und Stahlindustrie zuweisen.

Bezüglich der Alternativen zu Stahl stechen insbesondere Carbon und neue Materialien hervor. Hier werden allerdings die Dekarbonisierungsvorgaben auch eine Rolle spielen. Unabhängig von den Fortschritten der Digitalisierung wird hier der Gedanke der Kreislaufwirtschaft relevant. Solange alternative Materialien (sofern diese die Materialeigenschaften mitbringen) nicht auch hohe Recyclingmöglichkeiten aufweisen, kann die Dekarbonisierungspolitik die Verwendung von Stahl begünstigen, insbesondere wenn digitale Technologien die Wiederverwendung von Stahl (Schrott) noch umfassender machen.

3.2.4 Auswirkungen auf den Standort Österreich

In den letzten Jahren ist die Rohstahlproduktion in Europa weniger als der europäische Stahlverbrauch gewachsen, zugleich wurden Produktionskapazitäten abgebaut. Diese Entwicklung ist bereits ein erster Hinweis dafür, dass in Europa in den kommenden Jahren kaum mit stärkeren Produktionszuwächsen in der Stahlindustrie zu rechnen ist. Mit zunehmendem Wohlstand verringert sich der inländische Stahlkonsum, gleichzeitig belasten strengere Klimaschutzvorgaben und handelspolitische Aspekte Exportpotentiale. Selbst wenn in Folge der Umsetzung der europäischen Klimaschutzziele die Stahlindustrie Produktionskapazitäten aufgeben wird und Marktanteile an Schwellenländer verlieren wird, bleibt die Stahlindustrie in Europa weiterhin relevant, auch weil die Wertschöpfungsketten mit wichtigen Verarbeitern vor Ort, wie der Fahrzeugindustrie und der Maschinenindustrie, integriert ist, eine flexible Gestaltung von Wertschöpfungsketten Nähe benötigt, und die Transportkosten auch ein wichtiger Kostenfaktor sein kann.

Die österreichische Stahlindustrie hatte im vergangenen Jahrzehnt einen Wachstumsvorsprung in Europa, der insbesondere auf eine starke Qualitätsorientierung und Innovation beruht. Noch ist die Produktion in Österreich, wie die Produktion weltweit, durch die Hochofenroute der Stahlerzeugung mit Koks in der Primärstahlherstellung charakterisiert. Die Diskussion der Herausforderungen Dekarbonisierung und Klimawandel, geopolitische Risiken, und Digitalisierung, haben gezeigt, dass die Primärstahlherstellung langfristig CO₂-neutral werden wird. Die Hochofenroute wird in Österreich und Europa langfristig durch andere Produktionstechnologien abgelöst werden. Derzeit verfügbar und ökonomisch und technologisch einsetzbar, sind Elektrolichtbogenöfen, die vor allem auf Schrott basieren. Weitere Technologien befinden sich in Entwicklung und haben langfristig Einsatzpotential. Diese Veränderungen der Produktionstechnologien haben auch Auswirkungen auf den Transport von Rohstoffen. Mit dem technologischen Wandel hin zu anderen Produktionstechnologien wird sich vor allem der Transport von Kohle und Koks verringern.

Um die Herausforderungen und möglichen Auswirkungen kurz zusammenzufassen, wird auf folgende Matrix zurückgegriffen (Übersicht 18), die die Fristigkeit der Auswirkungen und

Anpassungsprozesse in Zusammenhang stellt. Dabei wurde die Herausforderung der Dekarbonisierung in die Teilfaktoren der „Dekarbonisierungspolitik“ und der „CO₂-neutralen Produktion“ unterschieden.

Die größte Herausforderung für die Stahlindustrie ist die Dekarbonisierung und die Umstellung auf CO₂-neutrale Produktionsmethoden. Die anderen Herausforderungen, welche diskutiert worden sind (geopolitische Risiken/Handelspolitik und Digitalisierung), treten hinter dieses Problem zurück. Handelspolitische Verzerrungen und geopolitische Risiken sind in der Stahlindustrie allgegenwärtig. Bereits heute verwenden viele Länder protektionistische Instrumente, um die eigene Stahlindustrie zu schützen. Die Vielzahl von erlaubten Anti-dumping-Maßnahmen und Zusatzzöllen bei Stahlprodukten legt davon Zeugnis ab. Die Stahlindustrie ist international seit Jahrzehnten von Überkapazitäten gekennzeichnet. Diese Überkapazität ermöglicht es aber, die benötigten Produkte auch im Fall einer Realisierung geopolitischer Risiken (z. B. Russlandsanktionen oder Ersatz von ukrainischem Eisenerz) anderweitig zu beziehen. Geopolitische Risiken oder handelspolitische Verzerrungen wirken in der Regel kurzfristig und verändern Güterströme, können aber kompensiert werden.

Übersicht 18: **Auswirkungen auf Standort und Gütertransport in der Stahlindustrie**

	Kurzfristig	Mittelfristig	Langfristig
Geopolitische Risiken/Handelspolitik	x		
Dekarbonisierungspolitik		x	(x)
CO ₂ -neutrale Produktionstechnologie			x
Technologie/Innovation		x	x

Quelle: WIFO.

Die Dekarbonisierungspolitik wirkt vor allem mittelfristig. Wirtschaftspolitische Maßnahmen zur Unterstützung der Dekarbonisierungsanstrengungen sind in der Regel nicht disruptiv, sondern versuchen den betroffenen Unternehmen einen mittel- bis langfristigen Pfad der Dekarbonisierung zu ermöglichen. Dazu gehören alle Maßnahmen, welche CO₂-Emissionen bepreisen oder besteuern bzw. auch Instrumente, wie Grenzausgleichsmechanismen, welche auch Warenimporte dem Emissionsausgleichsmechanismus unterwerfen. Die europäische Dekarbonisierungspolitik ist langfristig angelegt und kann den langfristigen Technologiewechsel von Unternehmen nur dann unterstützen, wenn sie mittel- und langfristig Planungs- und Investitionssicherheit bietet. Daher materialisieren sich die Auswirkungen der Dekarbonisierungspolitik erst mittel- und langfristig. Denn die Politik versucht explizit nicht kurzfristig die Wettbewerbsfähigkeit der heimischen (europäischen bzw. österreichischen) Stahlindustrie zu untergraben. Auch die Auswirkungen industriepolitischer Maßnahmen (z. B. der US-amerikanischen inflation reduction act) wirken mittel- und langfristig.

Die größten Auswirkungen auf Standort und Gütertransport in der Stahlindustrie wird der umfassende technologische Wechsel hin zu CO₂-neutralen Produktionstechnologien haben. Die Problematik des Klimawandels wird sich in den nächsten Jahren weiter verstärken und damit zusätzlicher Druck auf die Dekarbonisierungspolitik und auch die technologische Transformation in der Eisen- und Stahlindustrie entstehen. In Österreich und anderen europäischen Ländern werden bereits heute von den Stahlunternehmen wichtige Schritte unternommen: zum

einen werden erste Hochöfen durch Elektrolichtbogenöfen ersetzt, um den CO₂-Verbrauch zu reduzieren, sowie mit Hochdruck an der Entwicklung von ökonomisch einsetzbaren Produktionstechnologien gearbeitet, die es erlauben sollen, Stahl vollkommen CO₂-neutral produzieren zu können. Wegen der hohen Investitionskosten und der weiter bestehenden technologischen Unsicherheit, den hohen Forschungs- und Entwicklungskosten, sowie der Unsicherheit bezüglich der Verfügbarkeit und Preisen alternativer Energiequellen (grüner Strom und grüner Wasserstoff), wird diese Transformation sicher aber nur langfristig die Stahlindustrie und die Gütertransporte verändern. Diese Unsicherheiten können auch Verlagerungen von Produktionsstandorten fördern. Wenn Roheisen aus Regionen mit billigen Energiekosten importiert wird, kann es die Primärstahlproduktion der Hochofenroute ersetzen. Von manchen Beobachtern wird ein großflächiger Ersatz der Hochofenroute durch die Direktreduzierung von Eisen und Elektrolichtbogenöfen in Europa als nicht wirtschaftlich tragfähig angesehen (vgl. die Diskussionen in Lopez et al. 2023, Vögele et al. 2020), allerdings hängt dies auch stark von den wirtschafts- und energiepolitischen Rahmenbedingungen ab. Für den Gütertransport bedeutet dies, dass mittel- und langfristig mehr Schrott als bisher transportiert werden wird, aber im Zuge der technologischen Transformation zunehmend weniger Koks und Kohle.

Technologie und Innovation werden mittel- und langfristig Standort und Gütertransport bestimmen. Die Richtung des technologischen Fortschritts und die Realisierbarkeit von Innovationen ist zwar unsicher, aber die großen Herausforderungen bestimmen auch wesentliche Aspekte von Innovationsprozessen und Innovationszielen. Hier werden insbesondere die Aspekte des demografischen Wandels und der Dekarbonisierung die Richtung von Innovationen beeinflussen.

Für den Gütertransport und den Modus des Gütertransports kommen die wichtigsten Veränderungspotentiale vom Klimawandel (insbesondere im Bereich der Binnenschifffahrt), der Verlagerung von Produktionsstandorten (Folgen der Dekarbonisierungspolitik), der Veränderungen der Produktionstechnologien (Folgen der Dekarbonisierungspolitik), der Innovation (unbemannte Transportdienstleistungen) sowie von den geopolitischen Risiken (Umlenkung von Güterflüssen aufgrund von Kriegen und Handelskriegen).

3.3 Validierung durch eine Expertenbefragung

Das WIFO hat im Zeitraum von Mai bis September 2023 auf der Grundlage eines strukturierten Gesprächsleitfadens Unternehmen bzw. Interessensvertreter zu wirtschaftlichen Faktoren und politischen Trends befragt, die sich auf Standort, Produktion und Warenverkehr in der Eisen- und Stahlindustrie auswirken (könnten). Insgesamt wurden mit acht Experten aus fünf Unternehmen, die zu den zentralen Playern der österreichischen Eisen- und Stahlindustrie zählen, vertiefende Interviews durchgeführt.

Um einen möglichst authentischen Blick aus der Sicht der Unternehmen zu erhalten, wurde seitens des WIFO allen Interviewpartnern umfassende Vertraulichkeit ihre Aussagen betreffend zugesichert. Die Auswertung der Interviews erfolgt deshalb in anonymisierter und aggregierter Form, die keinerlei Rückschluss auf bestimmte Interviewpartner bzw. Unternehmen zulässt.

Es lässt sich festhalten, dass in Kernaussagen eine weitgehende Übereinstimmung der befragten Unternehmen besteht, sodass die Befragungsergebnisse eine Validität bezüglich der

Sichtweisen haben dürfte. In Einzelfällen gibt es unterschiedliche Auffassung über Details, welche aber nicht den Eindruck vermitteln, dass diese Unterschiede für die Forschungsfragen von zentraler Relevanz wären.

Nutzung von schienengebundenem Transport:

- 1) Nutzung von schienengebundenen Transportdienstleistungen, vor allem bei Roh- und Hilfsstoffen (insbesondere Eisenerz und Schrott).
- 2) Geringe Nutzung von schienengebundenen Transportdienstleistungen beim Warenverkauf.
- 3) Unternehmen kaufen vielfach integrierte Logistik- und Speditionsdienstleistungen an, ohne vordergründige Präferenz für den Transportmodus. Von kleineren und mittleren Unternehmen wurde berichtet, dass die Flexibilität der Lieferdienstleistungen beim Schienentransport nicht gegeben wäre, insbesondere bei einmaligen kleineren Lieferungen. Auch Sondertransporte würden in der Regel mit LKWs durchgeführt, da Sondertransporte mit Übergrößen durch die Bahn nicht durchgeführt werden können. Es wurde von einem Interviewpartner auch angeführt, dass sich hier das Dienstleistungsangebot der Bahn sukzessive verschlechtert habe (Nachtfahrverbot). Ein häufiges Argument gegen den Modus Schiene ist, dass kleinere Anbieter und/oder Kunden keine Nebenbahnanschlüsse haben und das Umladen teurer sei.
- 4) Schienentransport ist verhältnismäßig teuer.

Bei den Herausforderungen zeigte sich, dass als wichtigste Herausforderung der Klimawandel identifiziert wurde. Die europäische Dekarbonisierungspolitik wurde von den Unternehmen unterschiedlich beurteilt, aber als wichtigster Treiber von Veränderungen identifiziert. Geopolitische Unsicherheiten haben die Unternehmen betroffen, hatten aber in der COVID-19-Krise (Lieferengpässe) und den Energiepreisssteigerungen im Zuge des Ukrainekriegs keine größeren Auswirkungen auf die Unternehmen. Die Digitalisierung wurde von den Unternehmen nicht als zentrale Herausforderungen für Unternehmen und Branchen gesehen, da viele Prozesse bereits digitalisiert seien.

3.4 Zusammenfassung

Die größte Herausforderung der Stahlindustrie besteht darin, auf CO₂-neutrale Produktionsmethoden umzustellen. Dieser Prozess, hauptsächlich durch den Übergang von energieintensiven Techniken zu weniger energieintensiven und Wasserstoff-basierten Technologien gesteuert, ist komplex und kostenintensiv, mit verschiedenen regulatorischen, technologischen und finanziellen Hindernissen. Aufgrund dieser Umstellung und strengerer europäischer Auflagen besteht das Risiko eines "Carbon Leakage", das heißt der Verlagerung der Produktion in Länder mit lockereren Regulierungen, wobei die EU versucht, dieses Risiko durch den Grenzausgleichsmechanismus (CBAM) zu mindern. Energiepreisanstiege, ausgelöst durch geopolitische Ereignisse und die Dekarbonisierungspolitik, beeinflussen die Unternehmensstrategien nachhaltig, führen zur Reorganisation von Lieferketten und verstärkter Auslagerung von Produktionsschritten. Die Digitalisierung, einschließlich Künstlicher Intelligenz (KI), hat das Potenzial, zur Energiekostensenkung und Ressourceneffizienz beizutragen, findet aber bisher eine begrenzte Anwendung in

der Stahlindustrie. Trotz des begrenzten Produktionswachstums bleibt die Stahlindustrie in Europa relevant, insbesondere aufgrund der Integration in lokale Wertschöpfungsketten. Mit dem Fortschreiten der Dekarbonisierung und des Klimawandels wird die traditionelle Stahlerzeugung langfristig durch CO₂-neutrale Produktionstechnologien ersetzt.

4. Einflussfaktoren des Schienentransportes von Eisen- und Stahl

In diesem Abschnitt wird eine Untersuchung der möglichen Determinanten für den Schienentransport von Gütern aus der Metallerzeugung und -verarbeitung durchgeführt. Die Analyse basiert auf Daten der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB-Infrastruktur AG) bezüglich der an verschiedenen österreichischen Verladestellen umgeschlagenen Gütermengen. Es werden mögliche Bestimmungsgrößen untersucht, die Einfluss auf die in jedem Logistikpunkt verfrachteten Gütermengen haben.

Die für die Analyse relevanten Regionsmerkmale orientieren sich dabei an den zuvor identifizierten Herausforderungen und sollen einerseits die technologische Entwicklung einer Region, und andererseits die Umweltbelastung in der Region abbilden. Auch die regionalen Produktionsvolumina in der relevanten NACE-Klasse wird berücksichtigt. Die Unternehmenscharakteristika umfassen sowohl Messgrößen für die durchschnittliche Unternehmensgröße (Umsatz und Beschäftigtenzahl), als auch die logistischen Gegebenheiten (z.B. die durchschnittliche Nähe der relevanten Unternehmen zur nächsten Autobahnauffahrt oder zum nächsten Verladebahnhof). Dafür werden die Verladestationen und die Unternehmen in der Stichprobe geographisch verortet.

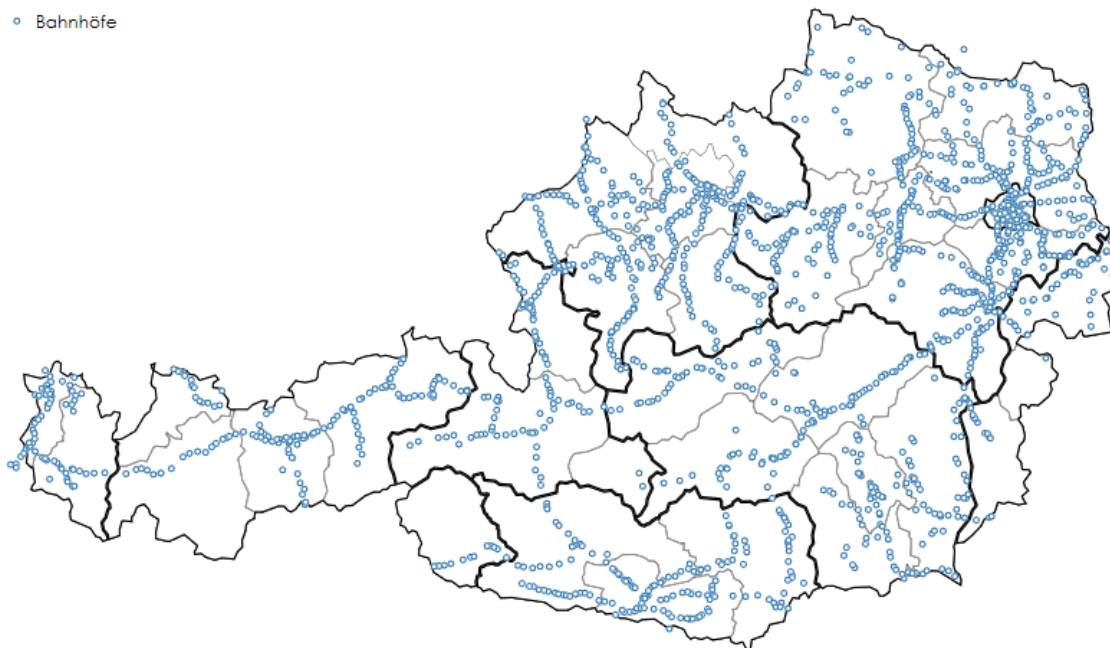
In einem ersten Schritt werden alle Datenquellen, die in die Analyse eingehen, vorgestellt. Die nachfolgende Auswertung basiert auf einer quantitativen Regressionsanalyse. Abschließend werden die Ergebnisse diskutiert.

4.1 Datenbeschreibung

4.1.1 Logistikpunkte

Ausgangspunkt der Analyse stellen die vom Auftraggeber bereitgestellten jährlichen Daten zu räumlich verortbaren 1.925 Verladestellen in Österreich zwischen 2016 und 2022 dar. Es handelt sich hierbei um Ladestellen oder Anschlussbahnen im Netz der ÖBB-Infrastruktur AG die der Einfachheit halber im Folgenden „Logistikpunkte“ genannt werden. Abbildung 30 veranschaulicht die geographische der Logistikpunkte in Österreich.

Abbildung 30: **Logistikpunkte in Österreich**



Quelle: ÖBB, WIFO.

Der Datensatz enthält neben den Koordinaten der einzelnen Verladestationen auch die Menge (in Tonnen) der verladenen Produkte (Harmonisiertes Güterverzeichnis- NHM Code), die in den Logistikpunkten empfangen und von ihnen versandt wurden, sowie die Anzahl der Wagen, die eingefahren und ausgefahren sind. Im Folgenden konzentrieren wir uns darauf, die fünf Teilbranchen der Metallherzeugung und -bearbeitung (NACE Rev. 2 C 24) aufzuteilen: Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen (241), Herstellung von Stahlrohren, Rohrform-, Rohrverschluss- und Rohrverbindungsstücken aus Stahl (242), Sonstige erste Bearbeitung von Eisen und Stahl (243), Erzeugung und erste Bearbeitung von NE-Metallen (244) und Gießereien (245). Die Produkte der NHM-Klassifikation, die mit dem harmonisierten System (HS) vergleichbar ist²⁰, kann den entsprechenden Branchen der NACE-Klassifikation zugeordnet werden (Klien et al., 2021).

Übersicht 19 zeigt einen Überblick über die Daten zwischen 2016 und 2020. Unterscheidet man nach den fünf Teilbranchen der Metallherzeugung und -bearbeitung (NACE Rev. 2 C24), zeigt sich, dass über jede Verladestelle im Durchschnitt rund vier Güterwägen pro Teilbranche ein- und ausfahren. Dabei werden durchschnittlich 196 Tonnen an Eisen- und Stahlprodukten versandt und 175 Tonnen empfangen. Insgesamt werden in der Metallherzeugung und

²⁰ Die entsprechenden Abweichungen zwischen HS und NHM betreffen die Produktklasse 27, 98 und 99, welche für unser Anliegen der Eisen- und Stahlindustrie nicht relevant sind (vgl. auch: Internationaler Eisenbahnverband, <https://uic.org/freight/data-exchange/article/nhm>).

-bearbeitung jährlich durchschnittlich 19 Güterwägen mit Produkten der Eisen- und Stahlerzeugung ausgefahren und rund 17 Güterwaren empfangen. Das entspricht rund 981 Tonnen versandten und 875 Tonnen erhaltenen Gütern. Bei der Interpretation der Mittelwerte ist zu beachten, dass in den meisten Verladestellen in vielen Jahren überhaupt keine Produkte der NACE-Klasse 24 verladen worden sind (daher auch die hohe Standardabweichung).

Übersicht 19: **Überblick Logistikpunkte (2016- 2020)**

Aggregation	Variablen	#	Mittelwert	St.abw.	Min.	Max.
Verladestelle x NACE 3	Anzahl Güterwägen ausgefahren	56900	3,9	268,7	0	29.371,9
	Eisen- und Stahl ausgefahren (in Tonnen)	56900	196,2	14.436,4	0	1.571.754,0
	Anzahl Güterwägen eingefahren	56900	3,5	76,3	0	6.806,9
	Eisen- und Stahl eingefahren (in Tonnen)	56900	175,1	4.107,3	0	371.631,8
Verladestelle	Anzahl Güterwägen ausgefahren	11380	19,4	685,7	0	33.930,3
	Eisen- und Stahl ausgefahren (in Tonnen)	11380	980,9	37.039,7	0	1.862.307,0
	Anzahl Güterwägen eingefahren	11380	17,4	173,4	0	6.833,8
	Eisen- und Stahl eingefahren (in Tonnen)	11380	875,3	9.344,0	0	372.974,6

Quelle: ÖBB, WIFO.

4.1.2 Produktionswerte und -mengen

In einem ersten Schritt wurden mittels Randausgleichsverfahren regionale Produktionsdatensätze für den Zeitraum 2008-2022 erstellt, die eine Unterscheidung in die fünf Teilbranchen der Metallerzeugung und -bearbeitung (NACE Rev. 2 C24) für 35 NUTS3-Regionen (~Bezirks- bzw. Gemeindegruppen) Österreichs erlauben (siehe Übersicht A 2 im Appendix)²¹. Diese basieren auf einer Sonderauswertung der Statistik Austria für die abgesetzte Produktion und die technische Gesamtproduktion der Regionen. Die technische Gesamtproduktion umfasst die selbst hergestellte Produktion (die Eigenproduktion, die für den Absatz bestimmt ist und die Eigenproduktion für unternehmensinterne Lieferungen und Leistungen) und die im Auftrag eines fremden Unternehmens durchgeführten Lohnarbeit. Als abgesetzte Produktion bezeichnet man die vom Betrieb fakturierte und am Markt abgesetzte Menge an Gütern und Leistungen. Große Diskrepanzen zwischen diesen beiden Kenngrößen ergeben sich v.a. bei umfangreichen Eigenleistungen innerhalb eines Unternehmens.²²

Aufgrund von Datenschutzbestimmungen war eine detaillierte Auswertung der Teilbranchen der Metallerzeugung und -bearbeitung auf regionaler Ebene leider nicht möglich. Daher wurden die fehlenden Werte der Sonderauswertung unter Zuhilfenahme der öffentlich verfügbaren aggregierten Daten durch Schätzwerte basierend auf einem Randausgleichsverfahren („RAS-Methode“) ergänzt (siehe Box A 1 im Appendix für eine detaillierte Beschreibung der Methode).

Übersicht 20 zeigt einen Überblick über die geschätzten Produktionswerte auf NUTS3-Steller-Ebene. Je Region beläuft sich die abgesetzte Jahresproduktion im Durchschnitt auf rund 91

²¹ Zur sprachlichen Vereinfachung wird im Folgenden anstatt PRODCOM NACE verwendet.

²² Im Industriezweig NACE 24 scheint die Diskrepanz zwischen den beiden Kenngrößen vernachlässigbar zu sein. Der Korrelationskoeffizient beträgt 0,997.

Mio. EUR. Diese Mittelwerte sind allerdings durch wenige, sehr produktionsstarke Regionen und viele produktionsschwache Regionen geprägt. In den meisten Regionen wurde in vielen Jahren des Beobachtungszeitraums kein nennenswerter Produktionswert in der Eisen- und Metallverarbeitung beobachtet²³.

Abbildung 30 zeigt die durchschnittliche abgesetzte Produktion in EUR in den 35 NUTS3 Regionen zwischen 2016 und 2020²⁴. Die geographische Heterogenität in der Eisen- und Stahlproduktion wird durch die deutliche Konzentration auf die oberösterreichischen Regionen Linz-Wels und Innviertel, sowie die östliche Obersteiermark verdeutlicht. Im Burgenland, in Lungau und in Osttirol hingegen findet man etwa überhaupt keine nennenswerte Produktion in der Metallherzeugung und -bearbeitung.

Übersicht 20: Produktionswerte (in Mio. EUR) der österreichischen Metallherzeugung und -bearbeitung nach NUTS3-Regionen (2016-2020)

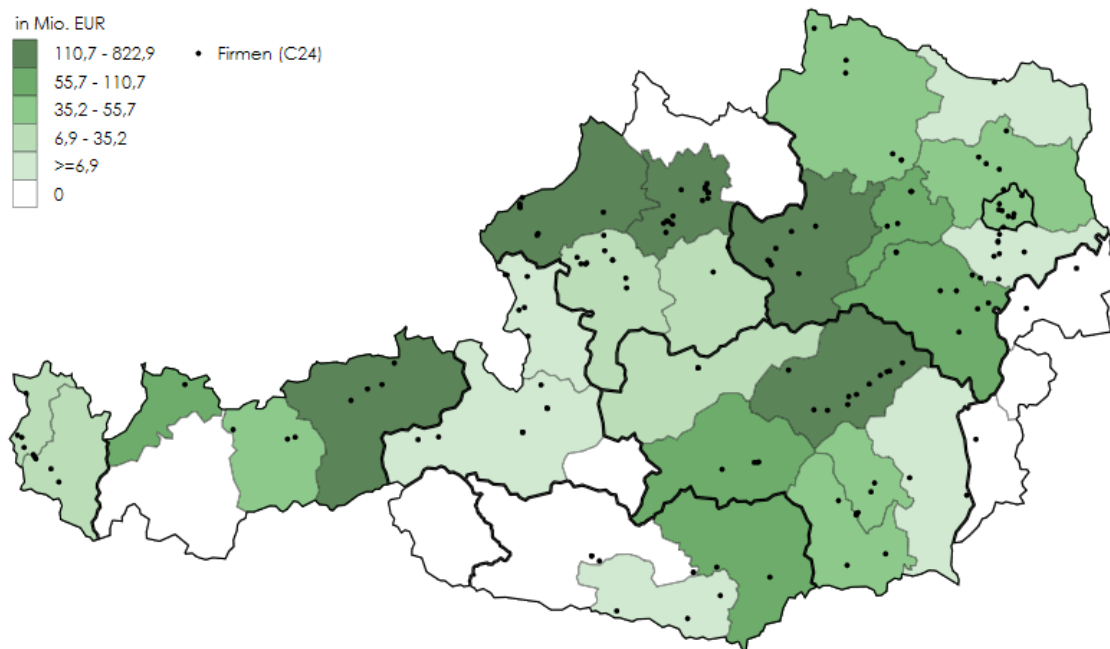
Aggregation	Variablen	#	Mittelwert	St.abw.	Min.	Max.
NUTS 3	Abgesetzte Produktion (real in Mio. EUR)	775	90,8	378,9	0	4136,4
	Technische Gesamtproduktion (real in Mio. EUR)	775	90,2	361,1	0	3730,3

Quelle: STAT.AT, WIFO. Regionalisierte Produktionsstatistik basiert auf WIFO-Schätzungen.

²³ Im Vergleich: zwischen 2016 und 2020 liegt der Median der abgesetzten Produktion wie auch jener der technischen Gesamtproduktion der NUTS3 Regionen bei 0 EUR. Das 75-Prozent Quantil liegt bei 26,2 bzw. 28,7 Mio. EUR.

²⁴ Im Appendix ist außerdem die analoge Abbildung zur technischen Gesamtproduktion zu finden.

Abbildung 31: **Abgesetzte Produktion (in EUR) nach NUTS3-Regionen (Ø 2016-2020) und Unternehmen der Metallerzeugung und -bearbeitung**



Quelle: STAT.AT, Orbis, WIFO.

Außerdem wurden zusätzlich Produktionsmengen für die NUTS3-Regionen geschätzt. Auch hier war auf Grund von Datenschutzbestimmungen eine detaillierte Auswertung der Primärdaten der verschiedenen Teilbranchen der Metallerzeugung und -bearbeitung auf regionaler Ebene nicht möglich. Anders als die Produktionswerte (in EUR) sind die von Statistik Austria zur Verfügung gestellten Daten zu den Produktionsmengen in der Metallerzeugung und -bearbeitung nicht konsistent zwischen den Aggregationsebenen. Der für die Produktionswerte gewählte Ansatz des Randsummenausgleichsverfahren konnte infolge der fehlenden Konsistenz zwischen den Randsummen nicht eingesetzt werden. Die Schätzungen für die Produktionsmengen basieren daher neben den von Statistik Austria zur Verfügung gestellten Mengendaten primär auch auf den Schätzungen der Produktionswerte (in EUR) (siehe Box A 2 im Appendix für eine detaillierte Beschreibung der Methode).

Übersicht 21 zeigt einen Überblick über die geschätzten Produktionsmengen auf NUTS3-Steller-Ebene. Je Region beläuft sich die abgesetzte Jahresproduktion im Durchschnitt auf rund 79.947 Tonnen, die durchschnittliche technische Gesamtproduktion auf 80.592 Tonnen. Analog zu den Produktionswerten sind diese Mittelwerte durch wenige, sehr produktionsstarken Regionen

geprägt. In den meisten Regionen wurde in vielen Jahren des Beobachtungszeitraums keine nennenswerten Mengen produziert²⁵.

Abbildung **32** zeigt die durchschnittliche abgesetzte Produktionsmenge in den 35 NUTS3 Regionen zwischen 2016 und 2020²⁶. Die geographische Heterogenität der Produktionsmenge fällt analog zu jener der Produktionswerte aus. Deutlich sind die Produktionszentren in der Steiermark und in Oberösterreich erkennbar. Abweichungen von den regionalen Produktionswerten zeigen bei den Gebieten „Tiroler Unterland“ und „Mostviertel-Eisenwurzen“, die mengenmäßig etwas schwächer ausfallen. Die Regionen „Niederösterreich-Süd“ und die „Westliche Obersteiermark“ zeigen sich im Vergleich hingegen produktionsstärker.

Übersicht 21: Produktionsmengen (in 1.000 kg) der österreichischen Metallerzeugung und -bearbeitung nach NUTS3-Regionen (2016-2020)

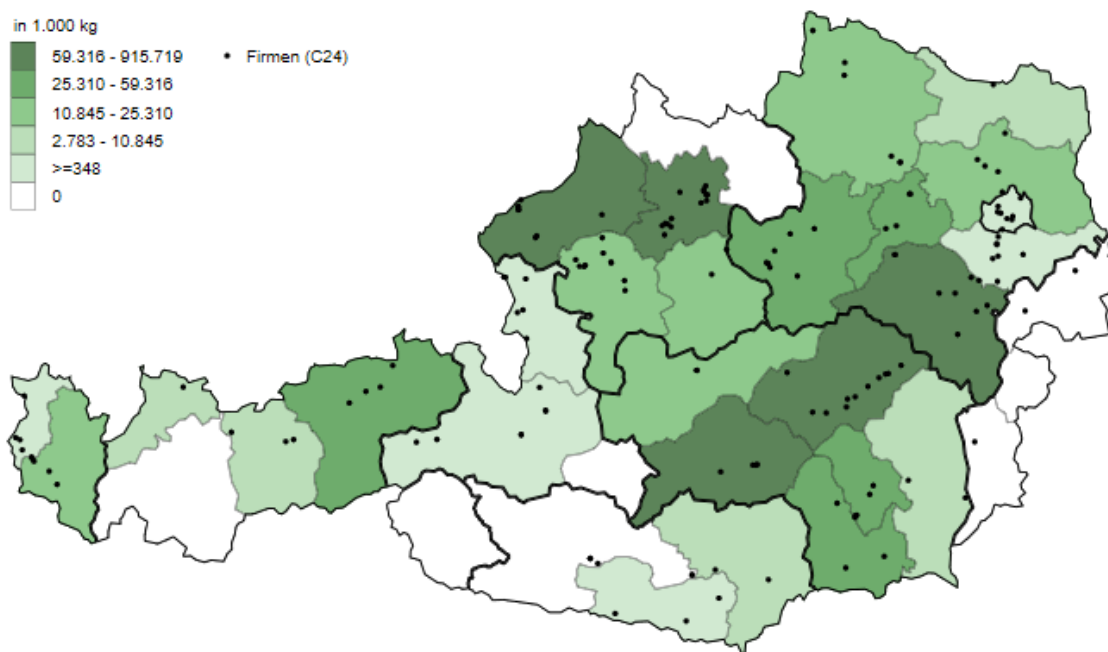
Aggregation	Variablen	#	Mittelwert	St.abw.	Min	Max
NUTS 3	Abgesetzte Produktion (in 1.000 kg)	775	79.974,2	449.125,7	0	4.990.511
	Technische Gesamtproduktion (in 1.000 kg)	775	80.592,4	444.591,6	0	4.803.785

Quelle: STAT.AT, WIFO. Regionalisierte Produktionsstatistik basiert auf WIFO-Schätzungen.

²⁵ Im Vergleich: zwischen 2016 und 2020 liegt der Median der abgesetzten Produktion wie auch jener der technischen Gesamtproduktion der NUTS3 Regionen bei 0 Kilogramm. Das 75-Prozent Quantil liegt bei 10.221 bzw. 13.060 Tonnen.

²⁶ Im Appendix ist außerdem die analoge Abbildung zur technischen Gesamtproduktion zu finden.

Abbildung 32: **Abgesetzte Produktion (in Kilogramm) nach NUTS3-Regionen (Ø 2016-2020) und Unternehmen der Metallerzeugung und -bearbeitung**



Quelle: STAT.AT, Orbis, WIFO.

4.1.3 Unternehmensdaten

Die Indikatoren auf Unternehmensebene basieren auf ORBIS, einem von Moody's bereitgestellten Datensatz. Die ORBIS-Datenbank bietet Einblicke in die finanzielle Performance und die geschäftlichen Aktivitäten von Unternehmen aus verschiedenen Branchen und Regionen weltweit. Es sind Informationen zu 229 österreichischen Unternehmen der NACE-Kategorie 24 „Metallerzeugung und -bearbeitung“ zwischen 2016 und 2020 in der Datenbank enthalten. Leider sind die Informationen lückenhaft und das Panel daher nicht ausgewogen. Übersicht 22 zeigt die vorhandenen Daten im Überblick. Um ein ausgewogeneres Bild zu erhalten, wurden die fehlenden Werte, wenn möglich, interpoliert. Im Durchschnitt beträgt die Wertschöpfung einer Beobachtung in der Stichprobe 45 Mio. EUR, der durchschnittliche Umsatz beträgt 137 Mio. EUR jährlich und die durchschnittliche Beschäftigtenzahl entspricht 229 MitarbeiterInnen. Allerdings ist zu beachten, dass diese Durchschnittswerte stark von einigen sehr großen Unternehmen im Sample verzerrt werden. Im Vergleich liegt der Median bei nur 52 Beschäftigten, 18 Mio. EUR Wertschöpfung und 38 Mio. EUR Umsatz im Jahr.

Übersicht 22: **Deskriptive Statistik Unternehmen der Metallerzeugung und -bearbeitung (2016-2020)**

Aggregation	Variablen	#	Mittelwert	St.abw.	Min.	Max.
Unternehmen	Wertschöpfung (real in Mio. EUR)	470	45,4	106,6	0	1.146,1
	Umsatz (real in Mio. EUR)	580	137,3	365,6	0	3.855,3
	Intangibles Kapital (real in Mio. EUR)	1004	0,3	1,1	0	14,3
	Tangibles Kapital (real in Mio. EUR)	1004	22,3	103,6	0	1.641,5
	Anlagevermögen insgesamt (real in Mio. EUR)	1040	110,1	720,2	0	10.391,1
	Anzahl der Beschäftigten	861	229,0	620,7	1	7.100,0

Quelle: Orbis, WIFO.

Box 8: Bereinigung ORBIS- Datenbank

Neben umfassenden Auskünften über Finanzkennzahlen enthält der Datensatz auch Informationen zu den Eigentümerstrukturen der Unternehmen, zu deren Führungskräften, Beteiligungen und Tochtergesellschaften. Insgesamt über 400 Millionen börsennotierter und nicht-börsennotierter Unternehmen sowie Entitäten weltweit werden abgedeckt und Informationen über diese zu unterschiedlichen Zeitpunkten zur Verfügung gestellt. In die weitere Analyse miteinbezogen wurden ausschließlich österreichische Unternehmen, die mindestens einer der drei NACE-Kategorien C241-245 zuordbar waren. Außerdem wurden nur unkonsolidierte Berichte verwendet, welche eine Periode von zwölf Monaten abdecken. Dieser Datensatz wurde dann gründlich auf doppelte Einträge aufgrund von Datenaktualisierungen, Ausreißern, fehlenden Werten, usw., bereinigt. Moody's liefert Informationen über den Tätigkeitsstatus des Unternehmens. Die Variable kann die folgenden Formen annehmen: Aktiv, Aktiv (ruhend), Aktiv (Insolvenzverfahren), Aufgelöst, Aufgelöst (Liquidation), Aufgelöst (Fusion oder Übernahme), Inaktiv (keine Angaben), Unbekannt. Wir haben die Stichprobe nur auf aktive Unternehmen beschränkt. Negative Werte der Variablen Wertschöpfung, Umsatz und Beschäftigte wurden durch fehlende Werte ersetzt. Weiters wurden alle nominalen Werte mit dem von Statistik Austria zur Verfügung gestellten Industrial Producer Price Index für die Kategorie NACE Rev. 2 „24“ deflationiert²⁷.

Die meisten Unternehmen in der Stichprobe, nämlich rund 32%, gehören der NACE-Gruppe 244 „Erzeugung und erste Bearbeitung von NE-Metallen“ an, weitere 28% zählen zur NACE 245 „Gießereien“ an, und 18% zur NACE -Klasse 242 „Herstellung von Stahlrohren, Rohrform-, Rohrverschluss- und Rohrverbindungsstücken aus Stahl“. Der Rest besteht aus Unternehmen der NACE-Kategorie 241 „Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen“ (14%) und 243 „Sonstige erste Bearbeitung von Eisen und Stahl“ (8%).

Alle Unternehmen wurden anhand ihrer Adresse geographisch verortet, um sie später mit den übrigen regionalen Informationen (wie etwa den Verladestellen oder den Emissionsdaten) in Verbindung setzen zu können. Abbildung 31 zeigt neben den Produktionswerten auch die geographische Verteilung der beobachteten Unternehmen in der Stichprobe. Die Unternehmen

²⁷ Vgl. <https://www.statistik.at/en/statistics/national-economy-and-public-finance/prices-and-price-indices/industrial-output-price-index>.

der Metallerzeugung und -bearbeitung liegen im Schnitt 6.954,9 Meter von der nächsten Autobahnauf- bzw. -abfahrt und 1.388,5 Meter von der nächsten Verladestation entfernt (siehe Übersicht 23).

Übersicht 23: **Unternehmen und Autobahnauf- bzw. -abfahrten und Logistikpunkte**

Aggregation	Variablen	#	Mittelwert	St.abw.	Min.	Max.
Unternehmen	Distanz zu nächsten Autobahnauf- bzw. -abfahrt	227	6.955	9.855	153	64.729
	Distanz zum nächsten Logistikpunkt	227	1.389	1.936	66	19.984

Quelle: ÖBB, WIFO.

4.1.4 Digitalisierungsindikatoren

Es werden in der Studie zwei verschiedene Digitalisierungsindikatoren einbezogen, um den Entwicklungsstand (I4.0, etc.) einer Region zu messen. Zum einen kann auf eine Sonderauswertung von Statistik Austria zu den IKT-Professionals auf Bundeslandebene zurückgegriffen werden. Übersicht 24 zeigt neben der Konzentration der in IKT spezialisierten Beschäftigten in Wien (immerhin 6,3% aller Beschäftigten) auch einen hohen Anteil der IKT-Beschäftigten an der Gesamtbeschäftigung von 4,2% in Niederösterreich und von 3,7% in Oberösterreich. Schlusslicht bildet mit 2,7% an der Gesamtbeschäftigung das Land Tirol. Leider war eine weitere Disaggregation auf NUTS3-Steller Ebene nicht möglich. Auch eine detailliertere Auswertung für die Branche Metallerzeugung und -bearbeitung (NACE Rev. 2 C24) konnte nicht durchgeführt werden. Aufgrund der sehr geringen Fallzahlen wurden nicht einmal die Werte der IKT-Beschäftigten in der Metallerzeugung und -bearbeitung für ganz Österreich ausgewiesen.

Zum anderen kann auf Basis der Firmendaten (siehe Kapitel 4.1.3) das intangible Kapital (d.h. die immateriellen Anlagewerte inkl. der Gründungskosten)²⁸ der im Datensatz erfassten Unternehmen der Metallerzeugung und -bearbeitung (NACE 24) in die Analyse einbezogen werden. Dieses umfasst aber nicht nur den Grad der Digitalisierung, sondern sämtliche immaterielle Investitionen. Immaterielle Anlagewerte sind Vermögenswerte, die keine physische Form haben, aber für ein Unternehmen aufgrund ihres Potenzials, künftige Einnahmen zu erzielen oder Wettbewerbsvorteile zu schaffen, wertvoll sind. Beispiele für immaterielles Anlagevermögen sind Patente, Urheberrechte, Warenzeichen, Software, Markennamen, Kundenlisten und Firmenwert.

²⁸ Das intangible Kapital der ORBIS-Unternehmensdatenbank spiegelt auch den Firmenwert wider. Somit können auch Übernahmen eines Unternehmens in diesem Kapital abgebildet sein.

Übersicht 24: **IKT-Spezialist:innen und ihr Anteil an der erwerbstätigen Bevölkerung nach Bundesländern (2016-2020)**

Bundesland	Variable	#	Mittelwert	St.abw.	Min.	Max.
Wien	IKT-SpezialistInnen (in Tsd.)	11	51,90	6,58	42,23	59,66
	Anteil Erwerbstätige (in %)	11	6,25	0,55	5,42	7,08
Vorarlberg	IKT-SpezialistInnen (in Tsd.)	11	6,97	1,23	5,08	8,78
	Anteil Erwerbstätige (in %)	11	3,54	0,51	2,76	4,35
Tirol	IKT-SpezialistInnen (in Tsd.)	11	10,25	1,54	7,73	12,70
	Anteil Erwerbstätige (in %)	11	2,73	0,36	2,16	3,33
Steiermark	IKT-SpezialistInnen (in Tsd.)	11	19,78	2,56	15,69	22,78
	Anteil Erwerbstätige (in %)	11	3,33	0,39	2,69	3,71
Salzburg	IKT-SpezialistInnen (in Tsd.)	11	9,36	1,38	6,49	11,05
	Anteil Erwerbstätige (in %)	11	3,37	0,44	2,41	3,91
Oberösterreich	IKT-SpezialistInnen (in Tsd.)	11	27,67	4,43	21,69	35,62
	Anteil Erwerbstätige (in %)	11	3,74	0,53	3,04	4,75
Niederösterreich	IKT-SpezialistInnen (in Tsd.)	11	33,65	3,34	28,42	39,36
	Anteil Erwerbstätige (in %)	11	4,18	0,35	3,59	4,80
Kärnten	IKT-SpezialistInnen (in Tsd.)	11	7,82	1,23	6,07	9,61
	Anteil Erwerbstätige (in %)	11	3,02	0,46	2,37	3,73
Burgenland	IKT-SpezialistInnen (in Tsd.)	11	4,40	0,53	3,70	5,15
	Anteil Erwerbstätige (in %)	11	3,26	0,40	2,76	3,86

Quelle: STAT.AT, WIFO. Die IKT-SpezialistInnen umfassen folgenden ISCO-08 4-Steller-Codes: 1330, 2152, 2153, 2166, 2356, 2434, 2511, 2512, 2513, 2514, 2519, 2521, 2522, 2523, 2529, 3114, 3511, 3512, 3513, 3514, 3521, 3522, 7421, 7422. Die drei Bundesländer mit den höchsten Anteilen an IKT-Spezialist:innen an der Gesamtbeschäftigung sind farblich markiert.

4.1.5 Treibhausgasemissionen

Die Datenbank „Emissions Database for Global Atmospheric Research“ (EDGAR) der Europäischen Kommission enthält umfassende Informationen zu Emissionen von Treibhausgasen und Luftschadstoffen verteilt über den Globus. EDGAR fasst mehrere internationale Datenquellen (wie z.B. von der Internationalen Energieagentur (IEA)) als Grundlage zusammen und erstellt daraus, mit Hilfe nationaler Treibhausgasinventare sowie sektorspezifischer und länderspezifischer Aktivitätsdaten, Emissionswerte der jeweiligen Treibhausgase. Diese sind dabei regional nach Rastern auf einer Fläche von 0,1 mal 0,1 Grad aufgeschlüsselt.

Der in der Studie verwendete Klimaindikator kumuliert die Emissionswerte der drei anteilig größten Treibhausgase Kohlenstoffdioxid (CO₂), Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) auf die NUTS3-Ebene. Um vergleichbare Werte zu erhalten, misst der Indikator die durchschnittliche Treibhausgasemission je Raster in einem Bezirk. Übersicht 25 bietet einen Überblick über die drei Treibhausgase in Tonnen im Durchschnitt pro NUTS3-Region. In Absolutbeträgen fällt die CO₂-Ausstoß hier mit Abstand am größten aus.

Übersicht 25: **Treibhausgasemissionen pro NUTS3-Region, in Tonnen (2016-2020)**

Aggregation	Variablen	#	Mittelwert	St.abw.	Min.	Max.
NUTS3	CH4	175	12.868,5	7.606,2	1.812	41.656,5
	CO ₂	175	2.319.889,0	2.099.939,0	190.050	10.800.000,0
	N2O	175	433,8	246,0	87	1.505,0

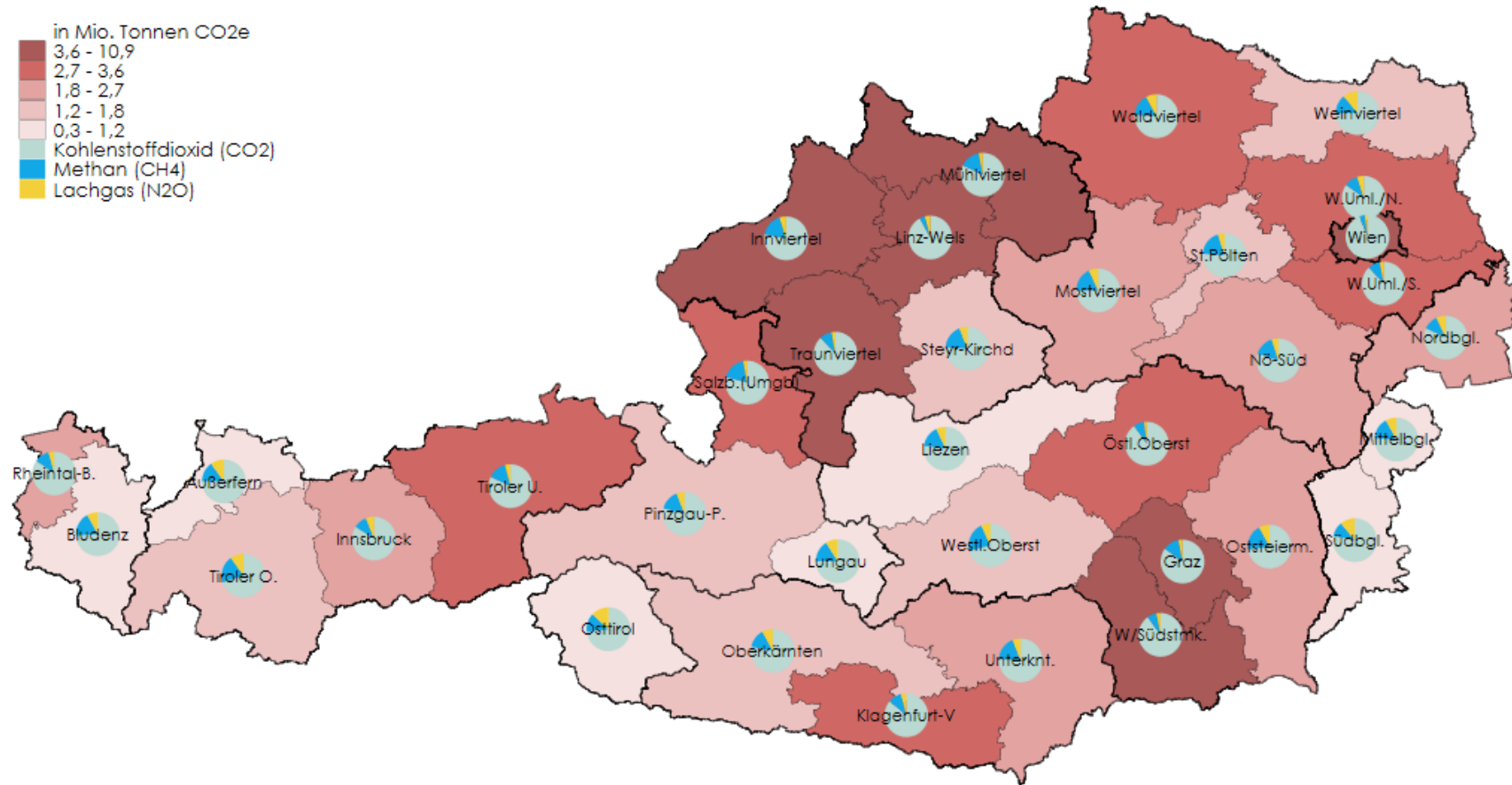
Quelle: EK – EDGAR, WIFO.

Um einen besseren Vergleich zwischen den 3 wichtigsten Treibhausgasen zu erhalten, wurde den UNFCCC-Berichterstattungsrichtlinien gefolgt und in Abbildung 33 keine Absolutwerte verwendet, sondern in CO₂-Äquivalente umgerechnet. Diese CO₂-Äquivalente werden auch als Globales Erwärmungspotenzial bezeichnet. Ziel ist es einen Vergleich anzustellen, wie stark ein Gas zum Treibhauseffekt beiträgt und damit die Klimawirkung eines Gases darzustellen. Dafür wurden Methan (CH₄) und Lachgas (N₂O) mit den vorgegebenen Koeffizienten des globalen Erwärmungspotenzials (GWP-100) multipliziert²⁹.

Im Allgemeinen zeigt sich ein Zusammenhang zwischen den industriestarken (und bevölkerungsreichen) Regionen Österreichs und einem erhöhten Emissionsaufkommen. Oberrösterreich und die Steiermark (Mur-Mürz-Furche) bilden etwa ein deutlich sichtbares Cluster, ebenso wie Wien und sein Umland. Während Linz-Wels und das Innviertel, beides Regionen mit hohen Produktionswerten der Metallerzeugung und -bearbeitung, einen relativ hohen Belastungsgrad aufweisen, zeigen sich etwa im Mostviertel, das ebenfalls mit einer hohen abgesetzten Produktion im Bereich der Metallerzeugung und -bearbeitung aufwarten kann, nur mittelmäßig hohe Emissionsausschüttungen. Dies ist wahrscheinlich teilweise auf die dichtere Besiedelung und die übrige ansässige Industrie rund um Linz und Wels zurückzuführen. In Linz-Wels und Wien ist der Anteil der Kohlenstoffemissionen besonders hoch, während im Inn-, Mühl-, Waldviertel wie auch in Salzburg der Anteil von Methangas an den totalen Emissionen im Vergleich eine größere Rolle spielt.

²⁹ In der letzten von der COP (2014) angenommenen Überarbeitung der UNFCCC-Berichterstattungsrichtlinien wurde beschlossen, für die Berichterstattung ab 2015 die Koeffizienten des globalen Erwärmungspotenzials (GWP-100) aus AR4 (IPCC, 2007) mit 25 für CH₄ und 298 für N₂O zu verwenden. Das bedeutet es wird angenommen, dass Methan 25 mal so stark wie CO₂ zur Erderwärmung beiträgt und Lachgas sogar 298 mal so viel.

Abbildung 33: Durchschnittliche Emissionen in CO₂-Äquivalenten (in Mio. Tonnen), Vergleich nach NUTS3-Ebenen (2016-2020)



Quelle: EK - EDGAR, WIFO.

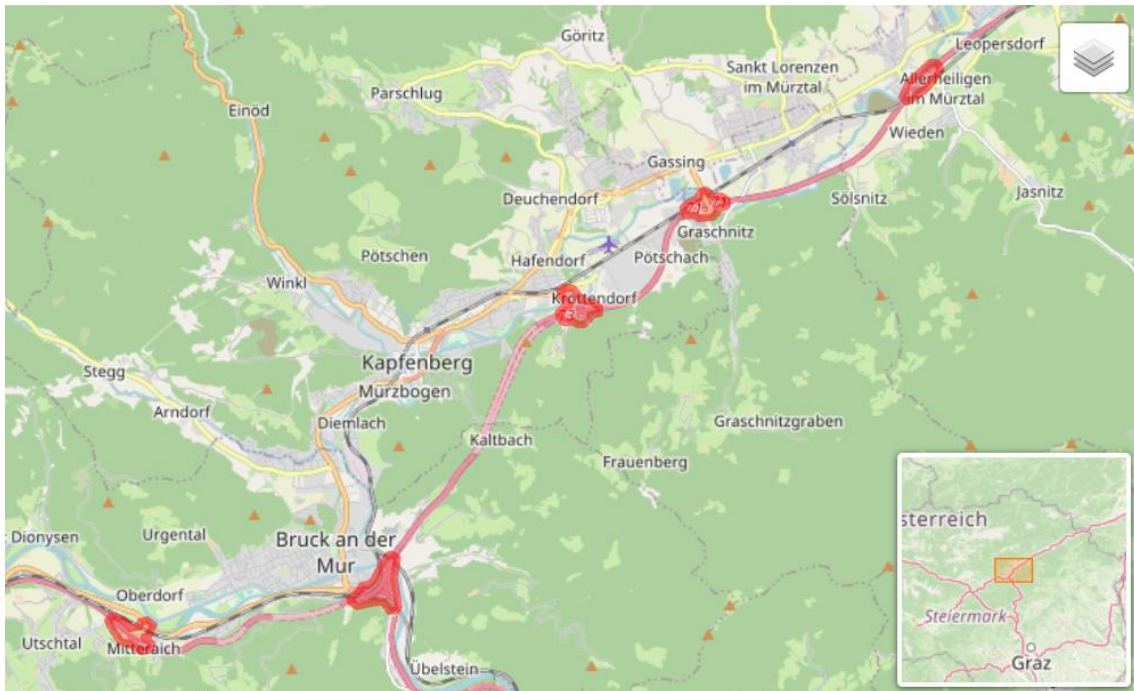
4.1.6 Autobahnauffahrten

Insgesamt befinden sich 452 Autobahnauf- und -abfahrten in unserer Stichprobe. Die Rohdaten für die räumliche Verortung aller Autobahnauf- und -abfahrten in Österreich werden vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen öffentlich und kostenlos zur Verfügung gestellt (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2023).

Für eine Verwertung und Verknüpfung der Daten mit unseren Firmendaten und den Logistikpunkten mussten einige Anpassungen vorgenommen werden. Zum einen wurden die dargestellten Linien, die jeweils zusammengehörige Autobahnauf- und -abfahrten nachzeichnen, mittels Clusterverfahren zu einem Verbund zusammengefasst. Abbildung 34 demonstriert das Ergebnis an einem Beispiel in der Mur/Mürz-Furche. Diesen Clustern wurden geographische Mittelpunkte zugewiesen, um in weiterer Folge Distanzen zu den Logistikpunkten und den Unternehmen in der Stichprobe zu berechnen.

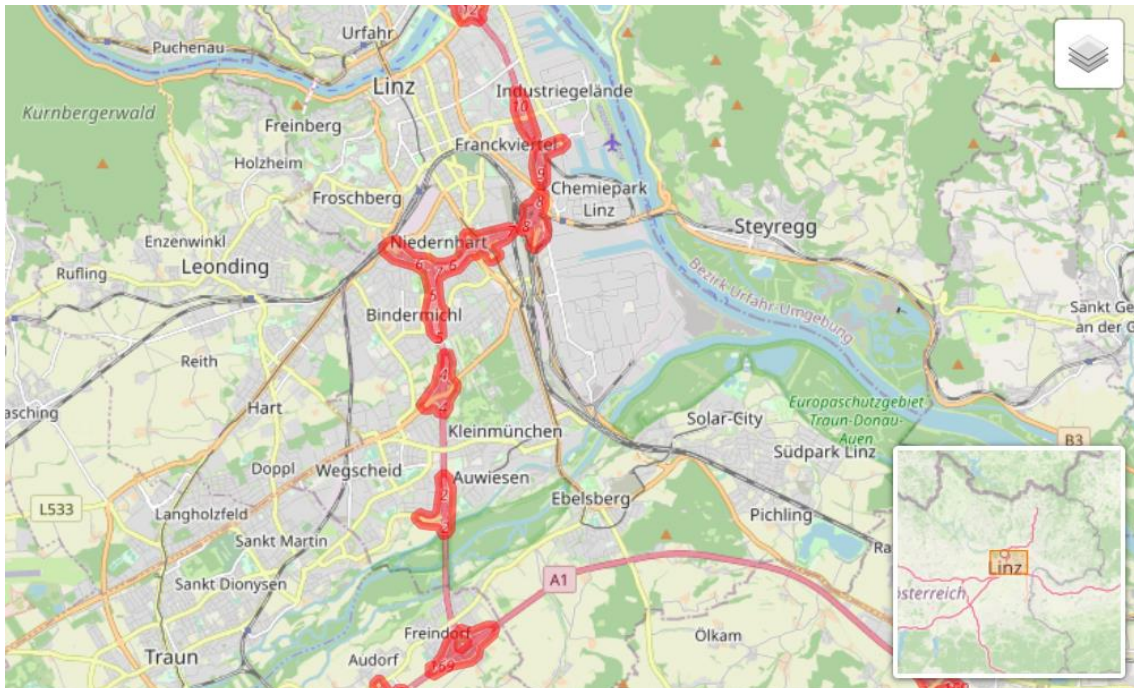
Eine besondere Herausforderung stellten dabei Autobahnknotenpunkte dar, die sich durch mehrere geographisch versetzte Auf- und Abfahrten auszeichnen. Dies wird in Abbildung 35 anhand des Beispiels der Mühlkreisautobahn in Linz erkennbar. Bei der Wahl der richtigen Clustergröße ist mit Umsicht vorzugehen. Einerseits möchte man einen Knotenpunkt nicht durch unzählig viele Cluster beschreiben. Andererseits sollen Verzerrungen durch zu großzügige Cluster v.a. in dicht besiedelten Regionen bzw. Regionen höherer Unternehmensdichte weitgehend ausgeschlossen werden.

Abbildung 34: **Beispiel der räumlichen Verortung von Autobahnauf- und -abfahrten**



Quelle: (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2023); WIFO.

Abbildung 35: **Beispiel der räumlichen Verortung von Autobahnknoten**



Quelle: (Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, 2023); WIFO.

Die durchschnittliche Distanz der Unternehmen in der Metallherzeugung und -bearbeitung (NACE 24) zur nächsten Autobahnauf- bzw. -abfahrt beträgt 6.954,9 Meter, der Medianwert liegt bei 3.054 Meter und ist somit deutlich niedriger. Der Mittelwert ist durch einige wenige Ausreißer in sehr ruralen und strukturschwachen Gebieten nach oben verzerrt. Die maximale Distanz zur nächsten Autobahnauf- bzw. -abfahrt beträgt 64.729 Meter. 90% der beobachteten Unternehmen befinden sich aber innerhalb eines 20 km-Radius zur nächsten Autobahnauf- bzw. -abfahrt.

4.2 Regressionsanalyse

Die aufbereiteten Daten wurden schließlich auf Ebene der Logistikpunkte (bzw. alternativ auf Ebene der Regionen) miteinander verschnitten. Sie bilden die Grundlage der folgenden empirischen Analysen.

4.2.1 Modellierung der Gütermengen

In einem ersten Schritt bildet die folgende Regressionsgleichung den Ausgangspunkt der Analyse:

$$Schiene_{ijt} = \beta_1 \#Firmen_{ijt} + \beta_2 Auto_{ijt} + \beta_3 X_{ijt} + \beta_4 IKT_{bt} + \varepsilon_{ijt},$$

wobei $Schiene_{ijt}$ für die an einer Verladestelle i zum Zeitpunkt t in der Industrie j insgesamt umgesetzten (Netto-)Menge, d.h. die Summe aus der (Netto-)Menge, die in einer Verladestation ankommt und die diese verlässt, steht.

$\#Firmen_{ijt}$ steht für die Anzahl der Unternehmen der NACE3-Steller Kategorie im Umkreis von 20km. Dieser Faktor soll das Marktvolumen in der jeweiligen Region im Bereich der Metallherzeugung und -bearbeitung aufzeigen und gibt einen ersten Anhaltspunkt, wie groß die potenzielle Nachfrage nach Schienengüterverkehr für eine spezifische Verladestation ist.

$Auto_{ijt}$ repräsentiert (1) entweder die Distanz der Verladestelle am nächsten gelegenen Unternehmens zur nächsten Autobahnauffahrt, oder (2) es wird die durchschnittliche Distanz aller Unternehmen im Umkreis von 20km zur nächsten Autobahnauf- bzw. -abfahrt verwendet.

X_{ijt} ist ein Platzhalter, der verschiedene unternehmensspezifische Variablen symbolisiert:

(1) Es werden Informationen der Verladestelle nächstgelegenen Unternehmens der Metallherzeugung und -bearbeitung in der Regression verwendet, wie etwa der Umsatz, die Beschäftigtenzahl und das intangible Kapital des geographisch nächstgelegenen Unternehmens. Oder auch der Produktionswert der abgesetzten Produktion, der dem nächsten Unternehmen im Datensatz zugeordnet werden kann.

(2) In einem zweiten Schritt werden die Informationen aller Unternehmen in der Stichprobe verwendet. In diesem Fall gehen die Unternehmensvariablen aber distanzgewichtet in die Regression ein, sodass Unternehmen, die weiter entfernt von einer Verladestelle positioniert sind, mit weniger Gewicht eingehen als Unternehmen, die nahe der Verladestelle liegen. Die Gewichtung wird auf Basis der inversen Distanz zwischen Unternehmen u und Verladestelle i in km

berechnet und durch die Gewichtungsmatrix W berücksichtigt, wobei ein Element von W gleich $1/Dist_{iu}$ ist, sodass sich die Schätzgleichung wie folgt schreiben lässt:

$$Schiene_{ijt} = \beta_1 \#Firms_{ijt} + \beta_2 Auto_{ijt} + \beta_3 WX_{ijt} + \beta_4 IKT_{bt} + \varepsilon_{ijt},$$

IKT_{bt} steht für den Anteil der IKT-SpezialistInnen an der erwerbstätigen Bevölkerung der NUTS2-Region (Bundesland), in der die Verladestelle lokalisiert wurde.

4.2.2 Deskriptive Regressionsanalyse der Treibhausgasemissionen

In einem letzten Schritt wird versucht, den Zusammenhang der über die Schiene bewegten Gütermenge in der Branche NACE 24 auf die regionalen Treibhausgasemissionen in einem ersten Schritt grob abzuschätzen.

$$Thg_{it} = \beta_1 Schiene_{it} + \beta_2 Auto_{it} + \beta_3 Prod_{it} + \beta_4 IKT_{it} + \varepsilon_{ijt}.$$

Thg_{ijt} kennzeichnet die durchschnittlichen Treibhausgasemissionen (N_2O , CO_2 und CH_4) einer NUTS3-Region ist, die einer Verladestation zugeordnet werden kann.

Diese Regression soll nur einen ersten Eindruck möglicher Korrelationen liefern. Um tatsächlich kausale Zusammenhänge des Schienentransportes mit Emissionen zu berechnen, wäre ein viel umfassenderes Model notwendig, das etwa auch Informationen zu Unternehmen aus sämtlichen Industriezweigen, sowie sehr genau Verkehrsdaten und Informationen zu gebietsansässigen Haushalten (z.B. Heizverhalten) berücksichtigt.

4.3 Ergebnisse

4.3.1 Die Gütermenge auf der Schiene und Firmen- & regionsspezifische Einflussfaktoren

Als erstes wurden Regressionen in Bezug auf das des jeweiligen Verladestation nächstgelegenen Unternehmens durchgeführt. Übersicht 26 zeigt die Ergebnisse. Alle Regressionen beinhalten Zeit-fixe Effekte, die jährliche Besonderheiten (wie etwa Nachfrage- oder Angebotschocks, etc.), die ganz Österreich betrafen, auffangen. Die Ergebnisse zeigen deutlich, dass die Zahl der Firmen im Umkreis von 20 km einen positiven Effekt auf die Menge der umgeschlagenen Güter in einer Verladestation hat. Dieser Effekt ist aber sehr klein.

Ausgeprägter ist der Zusammenhang mit Autobahnauf- und -abfahrten oder auch mit den Variablen, die die Größe des jeweiligen Unternehmens abbilden, wie etwa der Produktionswert oder die Beschäftigtenzahl. Die Koeffizienten des Produktionswertes, das dem nächsten Unternehmen zugerechnet wurde, oder der Beschäftigtenzahl sind, wie erwartet, positiv. Diese Variablen wurden logarithmiert und da auch die endogene Variable logarithmiert ist, können die Koeffizienten, wie Elastizitäten, interpretiert werden: Eine Erhöhung des Produktionswertes des nächstgelegenen Unternehmens um 1 Prozent ist mit einer Erhöhung der umgeschlagene (Netto-)Menge um 0,05 Prozent verbunden (siehe Spalte (1)-(3)). Eine Erhöhung der Beschäftigtenzahl des Unternehmens um 1 Prozent geht mit einer Erhöhung der umgeschlagenen (Netto-)Menge um rund 0,08 Prozent einher (siehe Spalte (4)).

Im ersten Moment überraschend ist hingegen der Koeffizient der logarithmierten Distanz des nächstgelegenen Unternehmens zur nächsten Autobahn. Wird die Distanz des Unternehmens zur Autobahn um ein Prozent erhöht, sinkt die in der Verladestation umgeschlagene (Netto-)Menge um 0,07 Prozent. Die Koeffizienten der Distanz zur nächsten Autobahn sind über verschiedene Regressionen hinweg robust und sehr stabil. Ursprünglich wurde davon ausgegangen, dass eine höhere Distanz zur nächsten Autobahn einen positiven Effekt auf die über die Schiene verladene Menge hätte, da die Straße als direkte Konkurrenz zur Schiene gesehen werden kann. Die Ergebnisse deuten hingegen auf Komplementaritäten zwischen Schienen- und Straßentransport hin. Dies würde auch in Einklang mit einigen Berichten der Interviewpartner aus Abschnitt 3.3 stehen: Oftmals divergiert der Liefermodus von Zulieferern von dem eigenen Modus des Transports zu Kund:innen, insbesondere wenn die produzierten Güter Spezialaufträge und daher von geringerem Volumen sind bzw. wenn es sich bei den Kund:innen um kleinere Unternehmen ohne eigenen Schienenanschluss handelt.

Abschließend sehen wir uns noch die Variablen an, die als Approximation des Digitalisierungsgrades dienen. Während der Anteil der IKT-Spezialist:innen an den Beschäftigten einer Region keinen statistisch signifikanten Einfluss auf die Menge der umgeschlagenen Waren einer Verladestation hat (Spalte (7)), steht das intangible Kapital der Verladestation nächstgelegenen Unternehmens der Metall- und Eisenindustrie in einem positiven Zusammenhang mit der dort umgeschlagenen (Netto-)Menge an Eisen- und Stahlprodukten (Spalte (6) und (7)). Unternehmen, die in immaterielle Anlagegüter (Patente, Urheberrechte, Warenzeichen, Software, Markennamen, Kundenlisten und Firmenwert) investieren, stehen in Zusammenhang mit vermehrtem Transport über die Schiene. Allerdings korreliert das immaterielle Anlagevermögen nicht ausschließlich mit dem Grad der Digitalisierung, sondern u.a. auch mit der Größe eines Unternehmens. Daher verliert der Koeffizient des Produktionswertes auch seine Signifikanz, sobald das intangible Kapital zur Regressionsgleichung hinzugefügt wird (ähnlich wie zuvor bei der Beschäftigtenzahl). Aufgrund dessen sollte dieser Zusammenhang mit Vorsicht interpretiert werden.

Übersicht A 3 im Appendix zeigt die Schätzergebnisse, wenn für regionale (zeit-invariante) Besonderheiten kontrolliert wird. Die Ergebnisse bleiben stabil, wenn zusätzlich regionale fixe Effekte hinzugefügt werden: sowohl die Größenordnung als auch die statistische Signifikanz aller Koeffizienten bleibt robust.

Im nächsten Schritt wurden Regressionen unter Berücksichtigung aller Unternehmen im Sample durchgeführt. Diese wurden aber distanzgewichtet, sodass Informationen naher Unternehmen mit hohem Gewicht und Informationen von Unternehmen, die weiter entfernt liegen, mit geringem Gewicht in die Regressionsgleichung eingehen. Übersicht 27 zeigt, dass die Ergebnisse sehr ähnlich sind zu jenem in Übersicht 26. Wir sehen abermals signifikante, negative Koeffizienten der Distanz eines Unternehmens zur nächsten Autobahn und positive Koeffizienten der Produktionswerte. Die Beschäftigtenzahl der Unternehmen als Maßzahl für die Größe ist ebenfalls positiv (Spalte (4)), verliert aber an Signifikanz, wenn sie zeitgleich mit dem Produktionswert einbezogen wird (Spalte (5)). Das immaterielle Vermögen der Unternehmen spielt in der Basisregression keine Rolle mehr (Spalte (6)).

In den Spalten (7) und (8) wurden auch Umsatzzahlen und die Wertschöpfung der Unternehmen als Größen-Proxys eingesetzt. Wie erwartet, sind auch hier die Koeffizienten positiv und signifikant. Je größer die (distanzgewichteten) Unternehmen in der Stichprobe, je mehr Güter werden über die Logistikpunkte verladen.

Bei Verwendung der Umsätze bzw. der Wertschöpfung der Unternehmen, statt der Produktionswerte, werden die Koeffizienten des immateriellen Anlagevermögens nun signifikant negativ. Auch der Koeffizient des Anteils der IKT-Spezialist:innen in einem Bundesland ist nun statistisch verschieden von Null und negativ. Dieser negative Zusammenhang zwischen dem Grad der Digitalisierung einer Region und den unternehmerischen Aufwendungen in immaterielles Anlagevermögen und der (Netto-)Menge an Gütern der Metallerzeugung und -bearbeitung, die über die Schiene verladen wird, verschwindet aber weitgehend, wenn zusätzlich für regionale (zeitinvariante) Besonderheiten, wie etwa der Urbanisierungsgrad oder die Besiedelungsdichte, kontrolliert wird (siehe Übersicht A 4 im Appendix). Die empirische Analyse liefert also keinen robusten und statistisch belastbaren Zusammenhang zwischen dem Grad der Digitalisierung einer Region bzw. der untersuchten Unternehmen und der Menge der umgesetzten Güter der Eisen- und Stahlindustrie an einem bestimmten Logistikpunkt.

Übersicht 26: **Regressionsergebnisse basierend auf Informationen zum nächsten Unternehmen, inkl. Zeit-fixen Effekten**

In(Nettomengen in Tonnen)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Exogene Variablen							
#Firms 20km	0,01** (0,001)	0,01** (0,001)	0,00** (0,001)	0,00** (0,001)	0,00** (0,001)	0,00** (0,001)	-0,00 (0,002)
In(Dist.Autobahn)			-0,07** (0,009)	-0,07** (0,009)	-0,07** (0,009)	-0,07** (0,009)	-0,09** (0,017)
In(Produktionswert)	0,05** (0,010)	0,05** (0,010)	0,05** (0,010)		0,02+ (0,012)	0,01 (0,009)	-0,01 (0,012)
In(# Beschäftigte)				0,08** (0,016)	0,05** (0,018)		
In(Intang. Kapital)						0,06** (0,011)	0,10** (0,018)
In(IKT)							-0,11 (0,116)
Konstante	-6,19** (0,068)	-6,19** (0,071)	-5,61** (0,106)	-5,37** (0,136)	-5,43** (0,128)	-5,45** (0,118)	-4,60** (0,217)
Beobachtungen	48.125	48.125	48.125	48.125	48.125	48.125	27.250
Zeit-FE	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
R ²	0,003	0,003	0,004	0,004	0,004	0,005	0,005

Quelle: WIFO.

Übersicht 27: **Regressionsergebnisse basierend auf distanzgewichteten Unternehmensinformationen, inkl. Zeit-fixen Effekten**

ln(Nettomengen in Tonnen)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
Exogene Variablen									
#Firms 20km	0,01+	0,01+	-0,00	-0,01	-0,00	-0,00	-0,00	-0,01	-0,05*
	(0,003)	(0,003)	(0,012)	(0,012)	(0,012)	(0,012)	(0,012)	(0,011)	(0,022)
ln(Ø Dist.Autobahn, Firmen 20km)			-0,14**	-0,13**	-0,14**	-0,14**	-0,13**	-0,13**	-0,17**
			(0,013)	(0,013)	(0,013)	(0,013)	(0,013)	(0,013)	(0,024)
ln(Produktionswert, gew.)	0,32**	0,32**	0,33**		0,31**	0,33**			0,57**
	(0,015)	(0,015)	(0,017)		(0,024)	(0,024)			(0,039)
ln(# Beschäftigte, gew.)				0,37**	0,03				
				(0,021)	(0,032)				
ln(Intang. Kapital, gew.)						0,00	-0,23**	-0,03*	-0,03
						(0,019)	(0,023)	(0,017)	(0,031)
ln(IKT)						-0,21*			
						(0,107)			
ln(Umsatz, gew.)							0,60**		
							(0,030)		
ln(Wertschöpfung, gew.)								0,41**	
								(0,023)	
Konstante	-9,61**	-9,63**	-8,61**	-4,32**	-8,27**	-8,61**	-10,20**	-8,81**	-9,77**
	(0,146)	(0,150)	(0,182)	(0,141)	(0,325)	(0,198)	(0,225)	(0,184)	(0,352)
Beobachtungen	48.125	48.125	41.150	41.150	41.150	41.150	41.150	40.983	23.950
Zeit-FE	Nein	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
R ²	0,020	0,020	0,022	0,019	0,022	0,022	0,031	0,027	0,035

Quelle: WIFO

4.3.2 Zusammenhänge mit Treibhausgasemissionen

Abschließen zeigt Übersicht 28 die Korrelation zwischen dem Vorkommen von Treibhausgasen in einer NUTS3-Region und des Produktionswerts auf NACE-3Steller Eben in einer Region, sowie des Durchschnitts der (Netto-)Menge der dort verladenen Güter der Metallerzeugung und Metallbearbeitung, der durchschnittlichen Distanz der angesiedelten Unternehmen zur nächsten Autobahn, des Durchschnitts ihres immateriellen Anlagevermögens und ihrer Wertschöpfung und des Anteils der IKT-Spezialist:innen des Bundeslandes, in der die jeweilige NUTS3-Region liegt. Alle Regressionen beinhalten Zeit-fixe Effekte, allerdings keine regionalen (zeitinvarianten) Effekte³⁰. Übersicht 29 spiegelt die Regressionen, die in Übersicht 28 dargestellt sind. Hier liegt das Interesse aber nicht auf den absoluten Treibhausgasemissionen in Tonnen, sondern auf den emittierten Tonnen an Treibhausgasen pro erwerbstätige Person in der jeweiligen NUTS3-Region.

Wir beobachten einen positiven und signifikanten Zusammenhang zwischen den regionalen Emissionen und der abgesetzten Produktion in den Teilbereichen der Metallerzeugung und Metallbearbeitung (Übersicht 28). Nachdem in Österreich durchaus räumliche Industriecluster

³⁰ Würden NUTS3-Dummies eingefügt, so wären sämtliche Koeffizienten, mit Ausnahme der durchschnittlichen Distanz zur nächsten Autobahn, insignifikant.

vorliegen, spiegelt dieser positive Koeffizient auch das Vorhandensein anderer (hier nicht direkt abgebildeter) Industrieunternehmen wider. Bereinigt man die Emissionen um die regionale Beschäftigung fällt der Zusammenhang dementsprechend geringer aus, der Koeffizient ist nur teilweise signifikant von Null verschieden (Spalte (5) in Übersicht **29**). Auch der zweite Proxy für die Unternehmensgröße – die durchschnittliche Wertschöpfung der Unternehmen der Metallherzeugung und -bearbeitung, die in einer Region erwirtschaftet wird – ist nicht signifikant (Spalten (6)).

Die durchschnittlich verladene (Netto-)Menge an Gütern, die der Metallherzeugung und -bearbeitung zugeordnet werden können, ist positiv mit den absoluten Emissionen in den Regionen korreliert, wenngleich auch nicht immer statistisch signifikant (Übersicht 28). Der Zusammenhang zu den pro-Kopf-Emissionen ist hingegen signifikant negativ (Übersicht **29**). Die Koeffizienten deuten darauf hin, dass eine 1-prozentige Erhöhung der durchschnittlich über die Schiene verladene Menge an Gütern der Metallherzeugung und -bearbeitung mit einer Reduktion der regionalen pro-Kopf Treibhausgase von 0,01 bis 0,02 Prozent korreliert ist.

Der Koeffizient der durchschnittlichen Distanz der Unternehmen zur nächsten Autobahnauf- bzw. -abfahrt in einer Region ist in sämtlichen Regressionen negativ (Übersicht 28 und Übersicht **29**). Das bedeutet, dass je größer die durchschnittliche Distanz eines Unternehmens der Metallherzeugung und -bearbeitung in der Region zur nächsten Autobahn ist, je niedriger sind die (pro-Kopf) Emissionsgrade. Dieses Ergebnis wird aber auch durch den Ausbaugrad der Infrastruktur einer Region getrieben und spiegelt daher u.U. die geringere Emissionsbelastung in sehr ruralen, agrarwirtschaftlich geprägten Gebieten wider.

In Übersicht 28 sind die Koeffizienten der Höhe des durchschnittlichen immateriellen Anlagevermögens der Unternehmen einer NUTS3-Region positiv, aber von geringer Größe und nur signifikant, sofern der Produktionswert durch die durchschnittliche Wertschöpfung ersetzt wird (Spalte (5) und (6)). Demnach liegt die Vermutung nahe, dass das positive Ergebnis eher einen Größeneffekt widerspiegelt. Etwas stabiler sind die Ergebnisse im Fall der beschäftigungsbereinigten Emissionen (Übersicht **29**). Die Koeffizienten sind negativ, d.h. je mehr immaterielles Kapital einem Unternehmen der Metallherzeugung und -bearbeitung durchschnittlich in einer Region zur Verfügung steht, desto geringer sind die regionalen pro-Kopf Emissionen (Spalten (5) und (6)).

In Übersicht 28 ist der Anteil der IKT-Spezialist:innen in einem Bundesland signifikant positiv mit den absoluten Treibhausgasemissionen einer Region korreliert (Spalte (7)). Nachdem der Anteil von wissensintensiven Dienstleistungen insbesondere in urbanen Gebieten am größten ist, könnte dies zum Teil den Urbanisierungsgrad der Regionen widerspiegeln und den Effekt von städtischen Rahmenbedingungen auf die Treibhausgasemissionen abbilden. Kontrolliert man für die Zahl der Beschäftigten einer Region, weisen die regionalen pro-Kopf Emissionen keinen statistisch signifikanten Zusammenhang mit der Zahl der IKT-Spezialist:innen auf (Übersicht **29**, Spalte (7)).

Übersicht 28: **Regressionsergebnisse Emissionen auf NUTS3-Ebene**

Endogene Variable: ln(THG in Tonnen)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Erklärende Variablen							
ln(Σ Produktionswert)	0,07** (0,006)	0,07** (0,006)	0,06** (0,006)	0,06** (0,006)	0,06** (0,007)		0,05** (0,006)
ln(\emptyset Menge Schiene)		0,01 (0,005)		0,01+ (0,005)	0,01+ (0,005)	0,01* (0,006)	0,00 (0,005)
ln(\emptyset Dist. nächste Autobahn)			-0,25** (0,035)	-0,25** (0,035)	-0,25** (0,035)	-0,32** (0,036)	-0,23** (0,033)
ln(\emptyset Wertschöpfung)						-0,01 (0,006)	
ln (\emptyset intangibles Kapital)					0,00 (0,005)	0,03** (0,008)	
ln(IKT)							1,87** (0,162)
Konstante	11,94** (0,070)	11,95** (0,070)	14,06** (0,304)	14,08** (0,304)	14,09** (0,305)	14,54** (0,314)	11,43** (0,365)
Beobachtungen	875	875	875	875	875	872	875
Zeit-FE	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Region-FE	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
R ²	0,153	0,155	0,200	0,203	0,203	0,125	0,309

Quelle: WIFO.

Übersicht 29: **Regressionsergebnisse Emissionen pro erwerbstätige Person auf NUTS3-Ebene**

Endogene Variable: ln(THG in Tonnen/Erwerbstätige Bev.)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Erklärende Variablen							
ln(Σ Produktionswert)	-0,00 (0,004)	0,00 (0,004)	-0,00 (0,004)	-0,00 (0,004)	0,01* (0,005)		-0,00 (0,004)
ln(\emptyset Menge Schiene)		-0,02** (0,004)		-0,02** (0,004)	-0,01** (0,004)	-0,01** (0,004)	-0,02** (0,004)
ln(\emptyset Dist. nächste Autobahn)			-0,11** (0,026)	-0,11** (0,026)	-0,09** (0,026)	-0,10** (0,025)	-0,11** (0,026)
ln(\emptyset Wertschöpfung)						0,01 (0,005)	
ln (\emptyset intangibles Kapital)					-0,02** (0,004)	-0,02** (0,006)	
ln(IKT)							-0,17 (0,130)
Konstante	0,55** (0,051)	0,53** (0,051)	1,46** (0,229)	1,43** (0,227)	1,33** (0,225)	1,39** (0,223)	1,68** (0,293)
Beobachtungen	875	875	875	875	875	872	875
Zeit-FE	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Region-FE	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
R ²	0,004	0,021	0,023	0,039	0,065	0,061	0,041

Quelle: WIFO.

4.4 Zusammenfassung

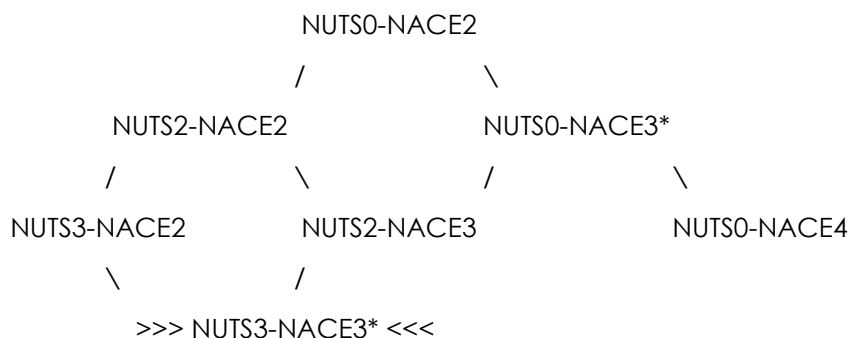
In diesem Kapitel wurden potenzielle Einflussfaktoren auf den Schienentransport von Gütern der Metallerzeugung und -bearbeitung untersucht. Dabei stützt sich die Analyse auf Daten der Österreichischen Bundesbahnen (ÖBB) zu den verladenen Gütermengen an verschiedenen Verladestellen Österreichs. Die Einflussfaktoren beinhalten sowohl unternehmensspezifische Merkmale (wie z.B. Beschäftigtenzahl), als auch regionale Charakteristika (wie z.B. der Anteil an IKT-Spezialist:innen). Außerdem wurden die Verladestationen und Unternehmen in der Stichprobe geokodiert, um Informationen über die Entfernung der Unternehmen zum nächstgelegenen Logistikpunkt sowie zur nächsten Autobahnauffahrt und -abfahrt zu nutzen.

Die durchgeführten Regressionen zeigen einen positiven, wenn auch geringen Einfluss der Anzahl der Unternehmen dieses Industriezweigs im Umkreis von 20 km um eine Verladestation auf die Menge der dort umgeschlagenen Güter. Der Zusammenhang mit Autobahnauf- und -abfahrten sowie der Größe des nächstgelegenen Unternehmens in Bezug auf den geschätzten Produktionswert oder die Beschäftigtenzahl ist deutlicher ausgeprägt. Überraschenderweise zeigt sich, dass eine größere Entfernung zwischen dem nächstgelegenen Unternehmen und einer Autobahn mit einer Reduzierung der auf der Schiene umgeschlagenen Menge korreliert. Dies deutet auf eine Komplementarität zwischen Schienen- und Straßentransport hin. In Bezug auf die Digitalisierung zeigt sich, dass das immaterielle Kapital des nächstgelegenen Unternehmens positiv mit der auf der Schiene umgeschlagenen Menge korreliert, während der Anteil der IKT-Spezialisten in einer Region keinen signifikanten Einfluss hat. In weiteren Regressionen, die sämtliche Unternehmen im Sample und ihre Distanz zu den Verladestationen berücksichtigen, wurde diese Korrelation allerdings nicht bestätigt. Ein statistisch belastbarer und robuster Zusammenhang zwischen dem Grad der Digitalisierung (einer Region oder auf Unternehmensebene) konnte nicht nachgewiesen werden.

Abschließend lässt eine Regression auf NUTS3-NACE3-Steller Ebene darauf schließen, dass es einen positiven Zusammenhang zwischen den regionalen Emissionen und der abgesetzten Produktion in der Metallerzeugung und -bearbeitung gibt. Es besteht eine negative Korrelation zwischen den Emissionen (absolut und pro-Kopf) und der durchschnittlichen Entfernung der Unternehmen der Metallerzeugung und -bearbeitung zur nächsten Autobahn, was auf eine geringere Emissionsbelastung in ländlichen Gebieten hinweisen könnte. Die auf der Schiene transportierte Gütermenge der Metallerzeugung und -bearbeitung weist hingegen keinen statistisch signifikanten Zusammenhang mit der absoluten Höhe der regionalen Treibhausgasemissionen auf, wohl aber einen negativen mit den regionalen pro-Kopf Emissionen.

Appendix

Abbildung A 1: **Datenverfügbarkeit nach Aggregationsebenen (NUTS-NACE)**



Quelle: WIFO. * ... nicht als Originaldatensatz verfügbar.

Übersicht A 1: **Datenvollständigkeit nach Aggregationsebenen (NUTS-NACE), 2008-2022**

Österreich (NUTS0)	
NACE 2-Steller	15/15 von 15 (100%/100%)
NACE 3-Steller	0/0 von 75 (0%/0%)
NACE 4-Steller	210/206 von 240 (88%/86%)
Bundesländer (NUTS2)	
NACE 2-Steller	67/64 von 120 (56%/23%)
NACE 3-Steller	370/370 von 600 (62%/62%)
Bezirksgruppen (NUTS3)	
NACE 2-Steller	302/308 von 450 (67%/68%)
NACE 3-Steller	0/0 von 2.250 (0%/0%)
Gesamt	964/063 von 1.500* (64%/64%) bzw. 3.750 (26%/26%)

Quelle: STAT.AT, WIFO.

Übersicht A 2: Relevante Klassifikationen

NUTS - Systematik der Gebietseinheiten für die Statistik

Hierarchische Ebene	Regionale Gliederung	Beispiel (Code und Bezeichnung)
NUTS0	1 Bundesstaat	AT: Österreich
NUTS1	3 Bundesländergruppen	AT1: Ostösterreich
NUTS2	9 Bundesländer	AT11: Burgenland
NUTS3	35 Gruppen von Bezirken oder Gemeinden	AT111: Mittelburgenland

NACE Rev. 2 - Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft

Hierarchische Ebene	Code	Bezeichnung
NACE2*	C24	Metallerzeugung und -bearbeitung
NACE3*	C24.1	Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen (1**)
NACE3*	C24.2	Herstellung von Stahlrohren, Rohrform-, Rohrverschluss- und Rohrverbindungsstücken aus Stahl (1**)
NACE3*	C24.3	Sonstige erste Bearbeitung von Eisen und Stahl (4**)
NACE3*	C24.4	Erzeugung und erste Bearbeitung von NE-Metallen (6**)
NACE3*	C24.5	Gießereien (4**)
NACE4*	C24.xx	16 Teilbranchen der Metallerzeugung und Bearbeitung

Quelle: WIFO. * ... Schreibweise dient der Identifikation der hierarchischen Ebene (z.B. 2-Steller-Ebene), nicht aber dem Hinweis auf die verwendete Version der Klassifikation (z.B. NACE Rev. 2). ** ... Anzahl an NACE-4-Stellern innerhalb des jeweiligen NACE-3-Stellers.

Box A 1: Randausgleichverfahren Methode zur Erstellung regionalisierter Produktionsstatistiken der österreichischen Metallerzeugung und -bearbeitung

Neben den österreichweiten (NUTS0: AT) Produktionsstatistiken der Metallindustrie (NACE2: C24) waren, wie in Abbildung A 1 im Appendix, als Ausgangspunkt Daten für die Metallindustrie insgesamt (C24) nach Bundesländern (NUTS2) und Bezirksgruppen (NUTS3), sowie NACE-3-Steller Subbranchen auf Bundesländerebene und österreichweite NACE-4-Steller Branchen verfügbar. Für die eigentliche Zielebene (NUTS3-NACE3) sowie die Zwischenebene österreichweiter NACE-3-Steller waren keine Daten verfügbar.

Zur Erstellung des regionalisierten Datensatzes (auf Ebene NUTS3-NACE3) wurde die statistische **RAS-Methode** („Randausgleichsverfahren“) angewandt, das für positive Matrizen die einzelnen Zellen innerhalb der Matrix an die jeweiligen Zeilen- und Spaltensummen anzugleichen versucht. Um diese Methode zur Erstellung des NUTS3-NACE3-Datensatzes anwenden zu können, ist einerseits die vollständige Verfügbarkeit der Randsummen erforderlich, andererseits bedarf es zusätzlich einer möglichst plausiblen ersten Schätzung für die inneren Zellen der Matrix, die dann in Folge an die Randsummen angeglichen werden können. Die gewählten Ausgangswerte können (insbesondere bei nicht eindeutigen oder nicht exakten Lösungen beim Versuch des Randsummenausgleichs) einen Einfluss auf das Resultat haben.

Vervollständigung der Randsummen – NUTS3-NACE2 und NUTS2-NACE3

Die Randsummen der NUTS3-NACE3-Zielmatrix bildeten die beiden hierarchischen Ebenen „Metallindustrie auf Bezirksgruppenebene“ (NUTS3-NACE2) und „Teilbranchen der Metallindustrie auf Bundesländerebene“ (NUTS2-NACE3). Diese waren allerdings unter anderem aufgrund von Geheimhaltungsvorgaben in den zur Verfügung stehenden Datenquellen nicht vollständig befüllt (siehe Übersicht A 1 Appendix). Unter Vernachlässigung jener Regionen, in denen die Metallindustrie gar nicht vertreten ist, sind auf NUTS3-NACE2-Ebene, für die beiden Variablen „Abgesetzte Produktion“ und „Technische Gesamtproduktion“ im Zeitraum 2008-2022, 302 (67 %) bzw. 308 (68 %) von jeweils 450 Kombinationen befüllt, auf NUTS2-NACE3-Ebene sind es jeweils 370 (62 %) von 600 Kombinationen.

Um die fehlenden Werte zu ergänzen, wurden die unterschiedlichen Ebenen in einem ersten Schritt hierarchisch miteinander abgeglichen. So wurden einerseits fehlende Aggregatswerte (einer übergeordneten Ebene) durch die Summe der zugehörigen NUTS-NACE-Kombinationen der untergeordneten Ebene (siehe Abbildung A 1 im Appendix) ergänzt, sofern alle dem Aggregat zuzuordnenden Kombinationen der untergeordneten Ebene vorhanden waren. Beispielsweise wird in der Aggregatsebene NUTS2-NACE2 ein Wert für die Metallindustrie C24 für ein Bundesland durch die Summe der fünf NACE-3-Steller Branchen in einem Jahr ergänzt, wenn für das Bundesland Werte für alle fünf Subbranchen vorhanden sind, der Aggregatswert aber fehlt. Durch diesen Schritt konnten unter anderem rund 86 % der Beobachtungen auf der zuvor vollständig fehlenden Aggregationsebene NUTS0-NACE3 ermittelt werden.

Andererseits wurden fehlende Kombinationen der untergeordneten NUTS-NACE-Kombinationen durch die Differenz zwischen hierarchisch übergeordnetem Aggregatswert und der Summe der vorhandenen, „benachbarten“ (d.h. innerhalb derselben NUTS-NACE-Ebene dem übergeordneten Aggregat zugeordneten) Kombinationen ergänzt, sofern sowohl der Aggregatswert als auch alle anderen Subkombinationen (mit Ausnahme der aufzufüllenden) vorhanden sind. Durch dieses Auffüllen durch Summen- und Differenzenbildung konnte der Anteil an befüllten Werten auf rund 79 % (exkl. NUTS3-NACE3) erhöht werden.

Um die Zahl der durch diese ersten beiden Schritte sicher korrekt aufgefüllten Werte (unter der Annahme, dass die vorliegenden Originalstatistiken zwischen den hierarchischen Ebenen konsistent sind) zu erhöhen, wurden davor alle NUTS-NACE-Kombinationen, in denen zumindest in einzelnen Jahren Nullen vorkommen (d.h. keine Produktion in einem Jahr), manuell geprüft und als sicher geltende Nullen manuell aufgefüllt. Dafür wurden diese Kombinationen auch mit Beschäftigtenzahlen der Abgestimmten Erwerbsstatistik der Statistik Austria geprüft. Diese manuellen Entscheidungen wurden durch den Summenabgleich der ersten beiden, oben beschriebenen Schritte sofort auf Plausibilität geprüft und vereinzelt revidiert, sofern der Summenabgleich darauf hingedeutet hat, dass anstelle der vermuteten Null doch ein positiver Produktionswert möglich wäre.

Alle weiteren zu diesem Zeitpunkt fehlenden Punkte mussten in weiterer Folge geschätzt werden, da sie mathematisch nicht zu ermitteln waren. Die Plausibilität der Schätzungen wurde dabei für jeden weiteren Schritt anhand der Kriterien „Summenkonsistenz“ und „Zeitreihenkonsistenz“ bewertet. Bei jedem Schritt, Werte zu schätzen, wurde jeweils geprüft bzw. sichergestellt, dass einerseits die Summe der geschätzten und original vorhandenen Werte einer NUTS-NACE-Ebene mit den zugehörigen Aggregatswerten der hierarchisch übergeordneten Ebenen übereinstimmt (Summenkonsistenz), andererseits die Schätzungen innerhalb einer NUTS-NACE-Kombination über die Zeit keine unplausiblen Sprünge verursachen (Zeitreihenkonsistenz). Zusätzlich wurde darauf geachtet, dass das Verhältnis der beiden vorhandenen Produktionsstatistiken der jeweiligen NUTS-NACE-Kombination in einem Jahr keine unrealistischen Werte annimmt.

Zur möglichst plausiblen Schätzung der fehlenden NUTS-NACE-Kombinationen, wurden wie zuvor beim Summenabgleich die anderen verfügbaren NUTS-NACE-Hierarchieebenen herangezogen. Die Grundidee des nächsten Schritts war, den Schätzfehler durch die Verwendung aller vorhandenen Informationen möglichst zu verringern. Da innerhalb der einzelnen hierarchischen Ebenen vereinzelt Werte existierten, die sich aber aufgrund von Lücken nicht zum übergeordneten Aggregat aufsummieren ließen, wurden zuerst diese Lücken geschätzt, dann die Summe aus diesen Schätzungen und den bereits verfügbaren Daten gebildet, um das Aggregat in der übergeordneten Ebene zu schätzen. Dadurch konnte der mögliche Schätzfehler je nach Verfügbarkeit der bereits vorhandenen Daten deutlich reduziert werden, wenn z.B. die geschätzten Werte nur 10 % des daraus gebildeten Aggregats ausmachen. Lägen diese geschätzten Subkombinationen beispielsweise um 20 % neben dem tatsächlichen Wert, würde der Fehler im geschätzten Aggregat 2 % betragen. Der Schätzfehler wäre in diesem Beispiel um den Faktor 10 kleiner, als wenn der Schätzfehler in derselben Größenordnung direkt im Aggregat durchschlagen würde.

Daher wurden die beiden Aggregationsebenen NUTS2-NACE2 und NUTS0-NACE3 mithilfe der beiden jeweils untergeordneten Ebenen (NUTS3-NACE2 und NUTS2-NACE3 bzw. NUTS2-NACE3 und NUTS0-NACE4) aufgefüllt. Dazu wurden wie eben beschrieben alle noch fehlenden NUTS-NACE-Kombinationen auf den unteren Aggregationsebenen (NUTS3-NACE2, NUTS2-NACE3 und NUTS0-NACE4) provisorisch geschätzt. Diese Schätzung erfolgte mittels Verwendung des durchschnittlichen Verhältnisses zwischen den beiden Produktionsstatistiken (Abgesetzte Produktion und Technische Gesamtproduktion), soweit zumindest eine der beiden in einem Jahr vorhanden war, die zweite aber jeweils nicht. Soweit möglich wurde dieses Verhältnis als Median innerhalb der jeweiligen NUTS-NACE-Kombination über alle verfügbaren Jahre ermittelt. Für jene Fälle, in denen kein einziges Jahr beide Produktionsstatistiken – die Grundvoraussetzung zur Ermittlung dieses Verhältnisses aufwies, wurde der Median über die gesamte Stichprobe herangezogen. Der jeweils fehlende Wert der beiden Produktionsstatistiken wurde dann durch Multiplikation des ermittelten Medians (des Verhältnisses) und dem vorhandenen Wert geschätzt.

Für alle anderen fehlenden Werte wurde der Anteil der jeweiligen NUTS-NACE-Kombination an der österreichischen (NUTS0) Metallindustrie (NACE-2-Steller C24) insgesamt in den Jahren ermittelt, in denen bereits Werte vorhanden waren. Diese Anteile wurden für die fehlenden Jahre (dieser NUTS-NACE-Kombination) durch Interpolation geschätzt. In jenen Fällen, in denen Werte am Ende oder am Anfang der Zeitreihe fehlten, wurde der Anteil des letzt- bzw. erstverfügbaren Jahres fortgeschrieben. Diese interpolierten Anteile wurden dann mit der Gesamtsumme der österreichischen Metallindustrie des jeweiligen Jahres multipliziert, um die provisorischen Schätzwerte zu errechnen.

Durch diese provisorischen Schätzungen (auf den unteren hierarchischen Ebenen) konnten nun die Aggregate der Zwischenebenen NUTS2-NACE2 bzw. NUTS0-NACE3 gebildet werden. Da für beide dieser Ebenen jeweils zwei Subebenen (NUTS3-NACE2 und NUTS2-NACE3 bzw. NUTS2-NACE3 und NUTS0-NACE4) existieren, wurden diese beiden Schätzungen nun gewichtet gemittelt. Als Gewicht wurde der Anteil der original verfügbaren Werte (der Subkombinationen) am jeweiligen Aggregat herangezogen, um jene Schätzungen höher zu gewichten, die auf einem höheren Anteil an ungeschätzten Werten basierten.

Zusätzlich wurde sichergestellt, dass das so ermittelte Aggregat nicht kleiner als die Summe der bereits vorhandenen Werte einer der beiden untergeordneten hierarchischen Ebenen (plus plausiblen Werten für die zusätzlich geschätzten Subkombinationen) ist. Ansonsten hätte in weiterer Folge mindestens eine der zu schätzenden Subkombinationen mit einem negativen Wert befüllt werden müssen, damit sich der Summenabgleich zwischen den hierarchischen Ebenen noch ausgeht. Um negative Werte zu vermeiden, wurde in diesen Fällen anstelle des oben beschriebenen gewichteten Durchschnitts eine untere Schranke definiert, damit fehlende Kombinationen (der untergeordneten Ebenen) nicht mit Werten kleiner als 50 % ihrer provisorischen Schätzung befüllt werden müssen.

Da die beschriebenen provisorisch geschätzten Werte auf den unteren Aggregationsebenen in diesem Stadium noch nicht mit den darüber angeordneten Ebenen abgestimmt waren, stimmten zu diesem Zeitpunkt die Summe aller geschätzten und original vorhandenen Werte aufgrund der Schätzfehler noch nicht mit der Gesamtsumme der österreichischen Metallindustrie überein. Daher wurden die ermittelten, teilweise auf Schätzungen basierenden Aggregate der Ebenen NUTS2-NACE2 und NUTS0-NACE3 nun neu skaliert, damit die Summen über alle NUTS-NACE-Kombinationen dieser Ebenen mit den österreichweiten Zahlen der Metallindustrie (NUTS0-NACE2) im jeweiligen Jahr übereinstimmen. Waren beispielsweise die Schätzungen für die Bundesländer (NUTS2) zu hoch, wurden diese Schätzungen (nicht aber die original verfügbaren Werte) so weit reduziert, dass die Summe über alle Bundesländer dem Gesamtwert Österreichs entspricht. Mit diesem Schritt konnten die Ebenen NUTS2-NACE2 und NUTS0-NACE3 mit der Gesamtsumme der österreichischen Metallindustrie konsistenten Werten, die für die hierarchisch untergeordneten NUTS-NACE-Ebenen plausible Schätzungen zulassen, vollständig befüllt und der Befüllungsgrad aller NUTS-NACE-Kombinationen auf 82 % (exkl. NUTS3-NACE3) erhöht werden.

An diese nun vollständig befüllten Aggregatswerte dieser beiden Zwischenebenen (NUTS2-NACE2 und NUTS0-NACE3) wurden nun die provisorischen Schätzungen der beiden untergeordneten Ebenen NUTS3-NACE2 und NUTS0-NACE4 mittels analoger Reskalierung angepasst, um wiederum Summenkonsistenz herzustellen, wodurch sich der Befüllungsgrad auf 90 % erhöht. Der Summenabgleich der Ebene NUTS2-NACE3 musste nun mit beiden übergeordneten Ebenen abgestimmt werden. Dieser Schritt erfolgte mittels RAS-Verfahren, um die provisorisch geschätzten, nicht aber die original verfügbaren Werte an die für diese Ebene nun vollständig befüllten Randsummen anzupassen. Durch diesen Schritt konnten alle NUTS-NACE-Ebenen (mit Ausnahme NUTS3-NACE3) vollständig (100 %) aufgefüllt werden.

Eine Überprüfung der Plausibilität der ermittelten Schätzwerte mittels der beiden Kriterien Summenkonsistenz und Zeitreihenkonsistenz lieferte keine augenscheinlichen Probleme. Die Schätzungen ermöglichten eine fast vollständige Konsistenz der Summen (zwischen den hierarchischen Ebenen). Lediglich für drei der 810 Kombinationen, in denen für die beiden Produktionsstatistiken ein Aggregatswert mit den zugehörigen NUTS-NACE-Kombinationen einer untergeordneten Hierarchieebene abzugleichen war, musste eine Abweichung im Zehntelprozentbereich (im Vergleich zum Aggregatswert) hingenommen werden. In allen anderen Fällen waren Abweichungen lediglich in der Größenordnung von Rundungsfehlern zu beobachten.

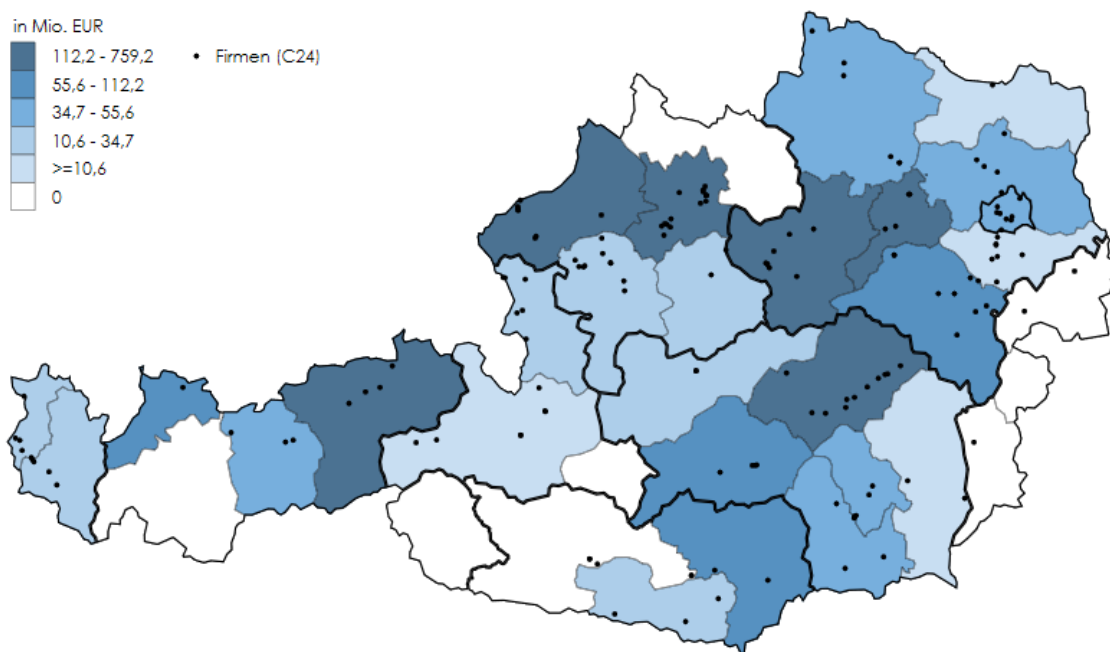
Schätzung NUTS3-NACE3 mittels RAS-Verfahren

Mit den zuvor beschriebenen Schritten konnten plausible Randsummen als Grundlage für die Anwendung des RAS-Verfahrens auf NUTS3-NACE3-Ebene ermittelt werden. Zur Anwendung des RAS-Verfahrens mussten lediglich noch ausreichend plausible Ausgangswerte für die einzelnen NUTS3-NACE3-Kombinationen ermittelt werden. Zu diesem Zweck wurden die auf dieser Ebene verfügbaren Beschäftigtenzahlen der Abgestimmten Erwerbsstatistik herangezogen. Diese Daten wurden von statistischen Artefakten (z.B. Strukturbrüche aufgrund von Reklassifikationen von Unternehmen) bereinigt. Für jede NUTS3-NACE3-Kombination wurde der Anteil an der österreichweiten Gesamtbeschäftigung in der Metallindustrie ermittelt und in weiterer Folge für den verfügbaren Zeitraum 2011-2022 gemittelt. Diese gemittelten Beschäftigungsanteile wurden dann mit den jährlichen österreichweiten Produktionsstatistiken in der Metallindustrie multipliziert, um die geschätzten Ausgangswerte für das RAS-Verfahren zu ermitteln.

Der Randsummenausgleich dieser Ausgangswerte an die zuvor ermittelten Randwerte (für die Ebenen NUTS3-NACE2 und NUTS2-NACE3) konnte bis auf sehr wenige Ausnahmen annähernd (bis auf Rundungsfehler) vollständig erreicht werden. Lediglich die Schätzungen für die Abgesetzte Produktion in Vorarlberg (in den Branchen C24.2 und C24.4) sowie der Steiermark (C24.4 und C24.5) ergaben Abweichungen zwischen den ermittelten Werten für NUTS3-NACE3-Kombinationen am Bundesländeraggregat der Teilbranche von > 1 %. Da sich diese Abweichungen bei zwei Jahren (Vorarlberg: 2013 und 2014) bzw. einem Jahr (Steiermark: 2013) auch stark in den Schätzungen der NUTS3-NACE3-Teilkombinationen niederschlugen, wurden entstandene Ausreißer eliminiert und durch Interpolation der plausibleren Schätzungen für die restlichen Jahre ersetzt.

Diese abschließenden manuellen Korrekturen waren notwendig, um die entstandenen Schätzfehler in den Randsummen auszugleichen, wobei vereinzelt auch Inkonsistenzen bei Kombinationen aufgetreten sind, wo aufgrund der Vollständigkeit der Originaldaten gar keine Schätzungen notwendig waren, diese aber bei der Aufteilung auf NUTS3-NACE3-Kombinationen Probleme machten. In Summe war es nur bei weniger als 2 % bzw. rund 1 % der für die NUTS3-NACE3-Kombinationen ermittelten Werte für Abgesetzte Produktion bzw. Technische Gesamtproduktion notwendig, manuell zu korrigieren. Da die Ergebnisse im Vergleich zu anderen Versuchen bzw. zu anderen angewandten Methoden deutlich geringere Schätzfehler und Inkonsistenzen – sofern dies entlang der beschränkten Möglichkeiten zur Plausibilitätsabschätzung via Summen- und Zeitreihenkonsistenz ohne Kenntnis der tatsächlichen realen Werte bewertbar ist – aufweisen, erscheinen sie für weitere wissenschaftliche Analysen geeignet.

Abbildung A 2: **Technische Gesamtproduktion (in EUR) nach NUTS3-Regionen (Ø 2016-2020) und Unternehmen der Metallerzeugung und -bearbeitung**



Quelle: STAT.AT, Orbis, WIFO.

Box A 2: **Vorgehensweise zur Schätzung der Produktionsmengen**

Anders als die Produktionswerte (in EUR) sind die von Statistik Austria zur Verfügung gestellten Daten zu den Produktionsmengen in der Metallherzeugung und -bearbeitung (NACE Rev. 2 C24) nicht konsistent zwischen den Aggregationsebenen. Der für die Produktionswerte gewählte Ansatz, die Produktionsmengen auf regionaler Ebene mithilfe eines Randsummenausgleichsverfahrens (RAS) zu schätzen, musste daher verworfen werden. Dieses Verfahren setzt Konsistenz zwischen den Randsummen voraus, um den Summenabgleich zwischen den Aggregationsebenen überhaupt zu ermöglichen. Versuche, dieses Verfahren anzuwenden, lieferten entweder instabile Zeitreihen, inkonsistente Summen und oder unplausible Extremwerte.

Die Schätzungen für die Produktionsmengen basieren daher neben den von Statistik Austria zur Verfügung gestellten Mengendaten primär auch auf den Schätzungen der Produktionswerte (in EUR). Ziel war es, sowohl für die Branche der Metallherzeugung und -bearbeitung insgesamt (NACE Rev. 2 C24) für alle Regionen (NUTS3), als auch für die NACE-3 Subbranchen (C24.1, C24.2, C24.3, C24.4 und C24.5) für alle Bundesländer (NUTS2) die Produktionsmengen für den Zeitraum 2008-2022 zu schätzen, um dann mithilfe der darauf aufbauend berechneten Preise (definiert als Produktionswerte in EUR dividiert durch die Produktionsmenge in Kilogramm) von den zuvor geschätzten Produktionswerten auf die Mengen auf NUTS3-NACE3-Ebene zu schließen.

Um dies zu erreichen wurden folgende Schritte gesetzt:

- 1) Manuelle Identifikation von fragwürdigen oder unplausiblen Werten in den von Statistik Austria zur Verfügung gestellten Produktionsmengen: Diese Werte wurden vorerst als nicht vorhanden betrachtet und im weiteren Verlauf durch Schätzungen ersetzt. Andernfalls hätten die offensichtlich fragwürdigen Werte Verzerrungen in der Bestimmung der Preise (pro Kilogramm) hervorgerufen.
- 2) Abgleich zwischen den einzelnen NUTS3-NACE3-Ebenen: dieser Schritt diene primär dazu, Werte zu ergänzen, wenn in den Originaldaten der Statistik Austria z.B. in einem Bundesland alle NACE3-Steller ausgewiesen wurden, nicht aber deren Summe, um die Summe nicht als fehlend betrachten zu müssen. Auf der anderen Seite wurden auch einzelne Teilbranchen aufgefüllt, wenn der Aggregatswert und alle anderen Teilbranchen in der jeweiligen NUTS-Region vorhanden waren. Anders als für die Produktionswerte wurde dieser Schritt aber im weiteren Verlauf (z.B. nach der Berechnung geschätzter Werte) nicht mehr wiederholt, da dies zu Inkonsistenzen führte. Der Schritt diene auch zur Identifikation von fragwürdigen Beobachtungen in den Daten sowie der Verifizierung der Entscheidungen, welche Datenpunkte als fragwürdig zu betrachten sind.

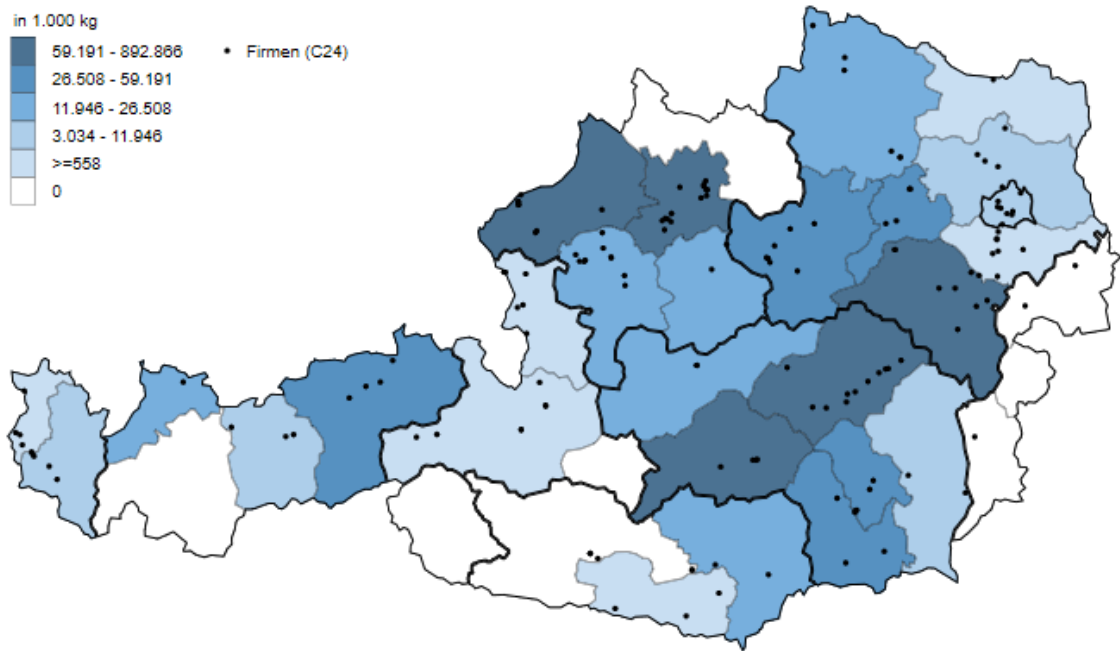
- 3) Schätzen fehlender Produktionsmengen: Beginnend mit den untersten Aggregationsebenen (NUTS3-NACE2 & NUTS2-NACE3) wurden mithilfe der bereits berechenbaren Preise (d.h. wenn sowohl Produktionsmengen als auch Produktionswerte bereits vorhanden waren) die Preise für fehlende Jahre aufgefüllt. Bis auf wenige Ausnahmen waren in fast allen NUTS-NACE-Kombinationen zumindest für ein (oder mehrere) Jahr(e) sowohl Produktionsmengen als auch -werte vorhanden, wodurch fehlende Jahre durch Inter- und Extrapolation annähernd geschätzt werden konnten. Für jene Fälle, in denen kein einziger Preis in der Zeitreihe berechnet werden konnte, wurde der Medianwert (über alle Beobachtungen) als Annäherung verwendet. Mithilfe dieser Preise wurde dann von den zuvor geschätzten Produktionswerten auf die Mengen rückgeschlossen, allerdings noch nicht für die eigentliche Zielebene NACE-3-Steller in NUTS3-Regionen.
- 4) Summenabgleich der einzelnen Aggregationsebenen: Um die Gefahr größerer Schätzfehler zu reduzieren, wurde in einem Zwischenschritt versucht, die Werte auf regionaler Ebene (NUTS3-Regionen) für die Metallerzeugung und -bearbeitung insgesamt (NACE Rev. 2 C24) bzw. auf Ebene der Teilbranchen (NACE-3-Steller C24.x) in den Bundesländern (NUTS2-Regionen) mit den Aggregatswerten (C24) für die Bundesländer abzugleichen. Aufgrund der zuvor angesprochenen Datenprobleme war es leider nicht möglich, vollständige Konsistenz zu erreichen. Der Versuch, die Daten auch mit nationalen Aggregaten für die Teilbranchen der Metallerzeugung und -bearbeitung abzugleichen, war nicht vollständig möglich, sondern führte nur zu weiteren Inkonsistenzen in den vorliegenden Daten. Daher musste darauf verzichtet werden. Diese Ebene diente allerdings sehr wohl als Anhaltspunkt, um die Schätzergebnisse in ihrer Größenordnung zu evaluieren und das Schätzverfahren zu verfeinern.
- 5) Schätzung von Mengenpreisen auf regionaler Ebene für NACE-3-Steller: Die vorigen Schritte lieferten eine vollständig befüllte Matrix an Mengendaten für einerseits NACE-3-Steller auf Bundesländerebene (NUTS2), andererseits für NACE-2-Steller auf Bezirks(gruppen)ebene. Zusammen mit den vorliegenden (bzw. bereits zuvor berechneten) Produktionswerten (in EUR) wurden nun Mengenpreise für alle NUTS-NACE-Kombinationen dieser beiden Aggregationsebenen berechnet. Mithilfe dieser Preise konnten nun regionale Mengenpreise auf NUTS3-NACE3-Steller geschätzt, in dem die Preise für NACE-3-Steller des jeweiligen Bundeslandes als Ausgangspunkt für alle NACE-3-Steller der Bezirksgruppen herangezogen wurden. Dieser Ausgangspunkt wurde nun mit den jeweiligen Mengenpreisen der Regionen (NUTS3-Regionen) des Bundeslandes reskaliert. Wies eine Region für die Metallerzeugung und -bearbeitung (C24) einen höheren Mengenpreis auf als das gesamte Bundesland, wurden die Mengenpreise für die NACE-3-Steller des Bundeslandes entsprechend nach oben korrigiert. Durchschnittlich niedrigere Mengenpreise in der Region führten zu einer Korrektur der NACE-3-Steller Mengenpreise nach unten. Die so geschätzten Mengenpreise wurden nun auf die zuvor auf NUTS3-NACE3-Ebene geschätzten Produktionswerte (in EUR) angewandt, um die Produktionsmengen auf dieser Ebene zu errechnen.

6) Manuelle Identifikation und Korrektur von fragwürdigen Schätzergebnissen: die somit errechneten Produktionsmengen wurden abschließend manuell überprüft. Generell ist eine exakte Prüfung auf Plausibilität nicht möglich, da die vorliegenden Mengendaten an sich nicht zulassen mit Sicherheit zu bewerten, welche Datenpunkte nun exakt sind und welche für die Inkonsistenz zwischen den Aggregationsebenen primär verantwortlich sind. Die manuelle Kontrolle fokussierte daher auf folgende drei Anhaltspunkte: 1) Brüche in der Zeitreihe, 2) starke Abweichungen zwischen den Ergebnissen für die Abgesetzte Produktion (AP) und die Technische Gesamtproduktion (TGP), sowie 3) Extremwerte bei den Mengenpreisen (EUR pro Kilogramm). Dabei wurden für folgende Regionen Korrekturen für einzelne Jahre vorgenommen: Wien (AT130: C24.3 & C24.4); Liezen (AT222: C24.4); West & Südsteiermark (AT225: C24.4); Außerfern (AT331, C24.4); Innsbruck (AT332: C24.2); Tiroler Unterland (AT335: C24.2). Die manuell durchgeführten Korrekturen betrafen dabei durchgängig Branchen mit geringem oder maximal mittelmäßigem Mengenaufkommen. Außerdem wurden einige Strukturbrüche durch Interpolation eliminiert, wenn das Schätzverfahren die Produktionsmenge in einem Jahr signifikant nach oben springen lässt, im nächsten Jahr dieser Sprung aber wieder durch einen ähnlichen Knick nach unten ausgeglichen wird.

Die Inkonsistenzen in den vorliegenden Ausgangsdaten erschwerten eine konsistente, zwischen den Aggregationsebenen abgestimmte Schätzung der regionalen Produktionsmengen beträchtlich. Die Schätzungen spiegeln aber mit Sicherheit die Größenordnung der Produktionsmengen der Metallverarbeitenden Industrie (NACE C24) auf regionaler Ebene (NUTS3) wider. Im Vergleich zu den geschätzten Produktionswerten (in EUR) fällt der Schätzfehler allerdings deutlich größer aus.

Eine Überschätzung der Mengen kann beispielsweise entstehen, wenn die zugrundeliegenden Daten auf zu geringe Preise pro Kilogramm in der jeweiligen Region schließen lassen. Beispielsweise fällt hier die Westliche Obersteiermark (AT226) in der Teilbranche „Erzeugung von Roheisen, Stahl und Ferrolegierungen“ (C24.1) mit auffallend niedrigen Preisen pro Kilogramm bei relativ hohen ermittelten Produktionsmengen auf, wobei diese Teilbranche von allen fünf Teilbranchen der Metallindustrie auch generell (in anderen Regionen) die geringsten Mengenpreise der fünf Branchen aufweist. Eine Unterschätzung der Produktionsmengen kann hingegen entstehen, wenn die vorliegenden Daten zu hohe Preise (pro Kilogramm) in der jeweiligen Region vermuten lassen. Die vorliegenden Ergebnisse zeigen dabei insbesondere für die Branchen „Sonstige erste Bearbeitung von Eisen und Stahl“ (C24.3) und „Erzeugung und erste Bearbeitung von NE-Metallen“ (C24.4) vergleichsweise hohe Werte bei den Mengenpreisen. In den Regionen, in denen die höchsten Mengenpreise zu finden sind, sind basierend auf den vorliegenden Schätzungen nur marginale Produktionsmengen zu erwarten. Auch für den Fall, dass diese Mengenpreise deutlich überschätzt sein sollten und deutlich niedriger anzusetzen wären, um die Realität exakt abzubilden, blieben die Produktionsmengen im Vergleich zu anderen Regionen (und ihren Teilbranchen) sehr gering. Der mögliche Schätzfehler durch ungenaue Preisbestimmung erscheint daher vernachlässigbar.

Abbildung A 3: Technische Gesamtproduktionsmenge nach NUTS3-Regionen (Ø 2016-2020) und Unternehmen der Metallerzeugung und -bearbeitung



Übersicht A 3: **Regressionsergebnisse basierend auf Informationen zum nächsten Unternehmen, inkl. Zeit- und Region-fixen Effekten**

Endogene Variable: ln(Nettomengen in Tonnen)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Exogene Variablen							
#Firms 20km	0,01** (0,001)	0,01** (0,002)	0,01** (0,002)	0,01** (0,002)	0,01** (0,002)	0,01** (0,002)	0,01** (0,003)
ln(Dist.Autobahn)			-0,06** (0,018)	-0,06** (0,018)	-0,06** (0,018)	-0,06** (0,018)	-0,08** (0,020)
ln(Produktionswert)	0,05** (0,010)	0,05** (0,011)	0,05** (0,011)		0,01 (0,016)	-0,01 (0,011)	-0,02 (0,012)
ln(# Beschäftigte)				0,09** (0,020)	0,07** (0,028)		
ln(Intang. Kapital)						0,09** (0,017)	0,10** (0,018)
ln(IKT)							-0,12 (0,303)
Konstante	-6,19** (0,068)	-6,59** (0,086)	-6,16** (0,153)	-5,97** (0,181)	-5,99** (0,176)	-5,92** (0,168)	-5,65** (0,404)
Beobachtungen	48.125	29.700	29.700	29.700	29.700	29.700	27.250
Zeit-FE	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Region-FE	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
R ²	0,003	0,010	0,010	0,010	0,010	0,012	0,013

Quelle: WIFO.

Übersicht A 4: **Regressionsergebnisse basierend auf distanzgewichteten Unternehmensinformationen, inkl. Zeit- und Region-fixen Effekten**

Endogene Variable: ln(Nettomengen in Tonnen)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
Exogene Variablen								
#Firms 20km	0,00 (0,009)	0,09** (0,025)	0,08** (0,025)	0,09** (0,025)	0,09** (0,025)	0,09** (0,025)	0,08** (0,025)	0,11** (0,030)
ln(Ø Dist.Autobahn, Firmen 20km)		-0,12** (0,029)	-0,11** (0,029)	-0,12** (0,029)	-0,12** (0,029)	-0,11** (0,029)	-0,11** (0,029)	-0,11** (0,032)
ln(Produktionswert, gew.)	0,54** (0,024)	0,53** (0,025)		0,57** (0,040)	0,53** (0,035)			0,58** (0,039)
ln(# Beschäftigte, gew.)			0,57** (0,030)	-0,06 (0,049)				
ln(Intang. Kapital, gew.)					0,00 (0,028)	-0,32** (0,033)	0,01 (0,025)	0,00 (0,031)
ln(IKT)								-0,03 (0,333)
ln(Umsatz, gew.)						0,86** (0,041)		
ln(Wertschöpfung, gew.)							0,56** (0,032)	
Konstante	-12,04** (0,238)	-11,15** (0,336)	-4,38** (0,259)	-11,79** (0,559)	-11,14** (0,351)	-12,97** (0,369)	-10,93** (0,322)	-11,61** (0,582)
Beobachtungen	29.700	26.200	26.200	26.200	26.200	26.200	26.063	23.950
Zeit-FE	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
Region-FE	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
R ²	0,038	0,039	0,034	0,039	0,039	0,050	0,044	0,042

Quelle: WIFO.

Literaturverzeichnis

- Altenburg, T., & Rodrik, D. (2017). Green industrial policy: Accelerating structural change towards wealthy green economies. *Green Industrial Policy*.
- Arens M, Worrell E. (2014) Diffusion of energy efficient technologies in the German steel industry and their impact on energy consumption. *Energy*, 73, S. 968–77.
- Bank Austria (2020) Branchenbericht Metallsektor, November 2020.
- Bender, O., Pindur, P., (2004) „Erzberg, Eisenwurzten und „Mur-Mürz-Furche“: Entwicklung einer historischen Eisen- und Stahlindustrieregion in den österreichischen Alpen“. *Geographische Rundschau*, 56, S. 16–23.
- Branca, T. A., Fomai, B, Colla, V, Murri, M., Streooa, E., Schröder, A. (2020) The Challenge of Digitalization in the Steel Sector. *Metals*, 10 (2), S. 288.
- Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen, Verkehr (2023) <https://www.bev.gv.at/Services/Produkte/Digitales-Landschaftsmodell/Verkehr.html>.
- Bundesministerium für Finanzen (2022) Österreichisches Montan-Handbuch, https://www.bmf.gv.at/dam/jcr:4abaabea-0c4b-4600-9415-939756f0a79a/MHB%202022_barrierefrei_V1.pdf.
- Butschek, F. (2011) *Osterreichische Wirtschaftsgeschichte*, Böhlau Verlag.
- Chaloupek, G., Lehner, D., Matis, H., Sandgrubber, R. (2003) *Österreichische Industriegeschichte, Bd. 1 1700 bis 1848 Die Vorhandene Chance*, Ueberreuter.
- Conejo, A.N., Birat, J-P., Dutta, A. (2020) A review of the current environmental challenges of the steel industry and its value chain. *Journal of Environmental Management*, 257.
- Copenhagen Economics (2023) *Impact of the Inflation Reduction Act: assessment of the impact of the US Inflation Reduction Act on EU compentiveness*, Stdy for the Confederation of Swedish Enterprises.
- Daehn, K.E., Serrenho, A.C., Allwood, J. (2019) Finding the most efficient way to remove residual copper from steel scrap. *Metall. Mater. Trans. A*. <https://doi.org/10.1007/s11663-019-01537-9>.
- Dworak, S., Fellner, J., Beerman, M., Häuselmann, M., Schenk, J., Michelic, S., Cejka, J., Sakic, A., Mayer, J., Steininger, K. (2023) Stahlrecycling – Potenziale und Herausforderung für innovatives und nachhaltiges Receycling, *Österreichische Wasser- und abfallwirtschaft*, 75, S. 97-107.
- ECORYS, Öko-Institut, Cambridge Econometrics, TNO (2013) *Carbon leakage evidence project factsheets for selected sectors*, Studie für die Europäische Kommission, GD Climate Action, https://climate.ec.europa.eu/system/files/2016-11/cl_evidence_factsheets_en.pdf.
- Eurofer (2019) *Map of EU steel production sites*, https://www.eurofer.eu/assets/Uploads/Map-20191113_Eurofer_Steel-Industry_Rev3-has-stainless.pdf.
- Eurofer (2022) *European Steel in Figures*, The European Steel Association, <https://www.eurofer.eu/assets/publications/brochures-booklets-and-factsheets/european-steel-in-figures-2022/European-Steel-in-Figures-2022-v2.pdf>.
- Eurofer (2023) *European Steel in Figures*, The European Steel Association, https://www.eurofer.eu/assets/publications/brochures-booklets-and-factsheets/european-steel-in-figures-2023/FINAL_EUROFER_Steel-in-Figures_2023.pdf.
- Eurofer (2023) *What is steel and how is steel made?*, <https://www.eurofer.eu/about-steel/learn-about-steel/what-is-steel-and-how-is-steel-made/>.
- Europäische Kommission (EK), (2019), COMMISSION DELEGATED DECISION (EU) 2019/708, supplementing Directive 2003/87/EC of the European Parliament and of the Council concerning the determination of sectors and subsectors deemed at risk of carbon leakage for the period 2021 to 2030, of 15 February 2019.
- European Commission, Joint Research Centre (2013) Best available techniques (BAT) Reference Document for Iron and Steel Production. European IPPC Bureau, Sevilla
- Felbermayr, G., Bierbrauer, F., Ockenfels, A., Schmidt, K., & Südekum, J. (2021). *Ein CO₂-Grenzausgleich als Baustein eines Klimaclubs*. Gutachten des Wissenschaftlichen Beirats beim Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi). Eigenverlag, Berlin.

- Fritsch, M., Neligan, A., Schaefer, T., Zink, B. (2022) *Wertschöpfungskette Stahl. Nachhaltigkeit im internationalen Vergleich*, Studie im Auftrag der Wirtschaftsvereinigung Stahl, Institut der deutschen Wirtschaft Köln, <https://www.iwkoeln.de/studien/manuel-fritsch-adriana-neligan-thilo-schaefer-benita-zink-nachhaltigkeit-im-internationalen-vergleich.html>.
- Gardner, L. (2023) Metal additive manufacturing in structural engineering – review, advances, opportunities and outlook, *Structures*, 47, S. 2.178-2193
- Gebhardt, H. (1990) *Industrie im Alpenraum: alpine Wirtschaftsentwicklung zwischen Außenorientierung und endogenem Potential*, Franz Steiner Verlag.
- GeoSphere Austria (2023) Kalke, <https://www.geologie.ac.at/forschung-entwicklung/kartierung-landesaufnahme/rohstoffe/kalke>.
- Hasanbeigi A, Arens M, Cardenas JCR, Price L, Triolo R (2016) Comparison of carbon dioxide emissions intensity of steel production in China, Germany, Mexico, and the United States. *Resources, Conservation and Recycling*, 113, S. 127–139.
- Hözl, W., Friesenbichler, K. S., Kügler, A., Peneder, M., & Reinstaller, A. (2017). Österreich 2025–Wettbewerbsfähigkeit, Standortfaktoren, Markt- und Produktstrategien österreichischer Unternehmen und die Positionierung in der internationalen Wertschöpfungskette. *WIFO Monatsberichte (monthly reports)*, 90(3), 219-228.
- Hözl, W., Kaniovski, S., Meinhardt, B., Sinabell, F., Streicher, G., (2023) *Wettbewerbsfähigkeit der österreichischen Industrie bei weiterhin hohen Energiepreise*, WIFO Studie im Auftrag der Wirtschaftskammer Österreich.
- International Energy Agency (2022) *Global crude steel production by process route and scenario, 2019-2050*, <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/global-crude-steel-production-by-process-route-and-scenario-2019-2050>.
- Jetschgo, J., Lacina, F., Prammer, M., Sandgrubber, R. (2003) *Österreichische Industriegeschichte, Bd. 2 1848 bis 1955 Die Verpasste Chance*, Ueberreuter.
- John, N., Wesseling, J., Worrell, E., Hekkert, M. (2022) How key-enabling technologies regimes influence sociotechnical transitions: The impact of artificial intelligence on decarbonization in the steel industry, *Journal of Cleaner Production*, 370.
- John, N., Wesseling, J., Worrell, E., Hekkert, M. (2022) How key-enabling technologies regimes influence sociotechnical transitions: The impact of artificial intelligence on decarbonization in the steel industry, *Journal of Cleaner Production*, 370.
- Kazmi, B., Taquvi, S., Juchelkova, D. (2023) State-of-art review on the the stell decarbonization technologies based on process system engineering perspective, *Fuel*, 347.
- Kim, J., Sovacool, B., Bazilian, M., Griffiths, S., Lee, J., Yang, M., Lee, J. (2022) Decarbonizing the iron and steel industry: A systematic review of sociotechnical systems, technological innovations and policy options, *Energy Research & Social Science*, 89.
- Klien, M., Böheim, M., Firgo, M., Reinstaller, A., Wolfmayr, Y., Reschenhofer, P. (2021) *Stärkung der Unabhängigkeit des Wirtschaftsstandortes Österreich bei kritischen Produkten*, WIFO - Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung.
- Kügler, A., Friesenbichler, K. S., Hözl, W., & Reinstaller, A. (2020). Herausforderungen und Bestimmungsfaktoren der Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Industrieunternehmen. Ergebnisse der WIFO-Industriebefragung 2019. *WIFO Monatsberichte (monthly reports)*, 93(3), 207-215.
- Küster Simic, A., Knigge, M., ; Schönfeldt, J. (2020) *Struktur, Entwicklung und Zukunft der deutschen Stahlindustrie*, Hans Böckler Stiftung, *Forschungsförderung Working Paper*.
- Lichtenberger, E. (1997) *Österreich. Geographie, Geschichte, Wirtschaft, Politik*, Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Lopez, G., Glimova, T., Fasihi, ;, Bogdanov, D., Breyer, C. (2023) Towards defossilised steel: Supply chain options fro a green European steel industry, *Energy*, 273.
- Luchetta, G., Mustilli, F., Schrefler, L., Simonelli, F. (2013) "Steel There? *The European Steel Industry after the Great Recession*".
- Muslemani H, Liang X, Kaesehage K, Ascui F, Wilson J. (2021) Opportunities and challenges for decarbonizing steel I production by creating markets for 'green steel' products. *Journal of Cleaner Production*, 315

- Nordhaus, W. (2015). Climate Clubs: Overcoming Free-riding in International Climate Policy. *American Economic Review*, 105(4), S. 1.339–1370.
- OECD (2022a) *Steel Market Developments Q4 2022*, Organisation for Economic Co-operation and Development, <https://www.oecd.org/industry/ind/steel-market-developments-Q4-2022.pdf>.
- OECD (2022b), *Steel trade and trade policy developments 2021-22*, Organisation for Economic Co-operation and Development, [https://one.oecd.org/document/DSTI/SC\(2022\)13/FINAL/en/pdf](https://one.oecd.org/document/DSTI/SC(2022)13/FINAL/en/pdf).
- Oesterreichs Energie (2022) *Österreichs Weg in eine klimaneutrale Energiezukunft*, Österreichs E-Wirtschaft, Wien, https://oesterreichsenergie.at/fileadmin/user_upload/Oesterreichs_Energie/Publikationsdatenbank/Diverses/2022/Stromstrategie_2040_29092022.pdf
- Reinstaller, A., Friesenbichler, K., Hölzl, W., & Kügler, A. (2022). Herausforderungen und Bestimmungsfaktoren der Wettbewerbsfähigkeit österreichischer Industrieunternehmen. Ergebnisse der WIFO-Industriebefragung 2022. *WIFO Monatsberichte (monthly reports)*, 95(7), 467-476.
- Rübelke, Vögele, S., Grajewski, M., Zobel, L. (2022) Hydrogen-based steel production and global climate protection: An empirical analysis of the potential role of a European cross border adjustment mechanism, *Journal of Cleaner Production*, 380.
- Steicher, G., Reinstaller, A. (2020) *Die Auswirkung der Digitalisierung in der Industrie auf den Gütertransport in Österreich*, WIFO Studie im Auftrag der ÖBB-Infrastruktur Bau AG.
- The Boston Consulting Group/Steel Institute VDEh (2013) *Steel's contribution to a low carbon Europe 2050*, BCG.
- Voestalpine (2012) *Die Geschichte des Linz-Donawitz-Verfahrens*, <https://www.voestalpine.com/group/static/sites/group/.downloads/de/presse/2012-11-29-broschuere-ld-60.pdf>.
- Voestalpine (2023a) *Die nächste Generation der Stahlerzeugung*, <https://www.voestalpine.com/stahldonawitz/de/qualitaet-und-umwelt/greentec-steel/>.
- Voestalpine (2023b) *Historie - voestalpine, Unsere Geschichte*, <https://www.voestalpine.com/group/de/konzern/ueberblick/historie/>.
- Vögele, S., Rübelke, D., Govorukha, K., Grajewski, M. (2019) Socio-technical scenarios for energy-intensive industries: the future of steel production in Germany, *Climatic Change* 162, S. 1763–1778
- Vögele, S., Grajewski, M., Govorukha, K. und Rübelke, D. (2020) Challenges for the European steel industry: Analysis, possible consequences and impacts on sustainable development, *Applied Energy*, 264, S. 1-19.
- Wifo (1957) "Österreichs Ausfuhr von Eisen und Stahl", 10, S. 356–358.
- World Steel Association (2021) *Energy use in the steel industry*, World Steel Association, <https://worldsteel.org/wp-content/uploads/Fact-sheet-Energy-use-in-the-steel-industry.pdf>.
- World Steel Association (2022) *World Steel in Figures*, <https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/world-steel-in-figures-2022/>.
- World Steel Association (2023), *World Steel in Figures*, <https://worldsteel.org/steel-topics/statistics/world-steel-in-figures-2023/>.
- Yang, Y., Tong, L., Yin, S., Liu Y., Wang, L., Qui, Y., Ding, Y. (2022) Status and challenges of applications and industry chain technologies in the context of carbon neutrality, *Journal of Cleaner Production*, 376.
- Zottler, M. (2023) "Voestalpine liefert Zeltweger Weichen für britische Hochgeschwindigkeitsbahn", *Kleine Zeitung*, https://www.kleinezeitung.at/wirtschaft/6260971/237MillionenEuroAuftrag_Voestalpine-liefert-Zeltweger-Weichen.
- OECD (2023) *Steel Market Developments Q2 2023*, Organisation for Economic Co-operation and Development, <https://www.oecd.org/industry/ind/steel-market-developments-Q2-2023.pdf>